

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИЗВЕСТИЯ
ГЛАВНОЙ
АСТРОНОМИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ
В ПУЛКОВЕ**

№ 219

Выпуск 1

Санкт-Петербург
2009

Редакционная коллегия:

Доктор физ.-мат. наук **А.В. Степанов** (ответственный редактор)

член-корреспондент РАН **В.К. Абалакин**
доктор физ.-мат. наук **А.Т. Байкова**
кандидат физ.-мат. наук **Т.П. Борисевич** (ответственный секретарь)
доктор физ.-мат. наук **Ю.Н. Гнедин**
кандидат физ.-мат. наук **А.В. Девяткин**
доктор физ.-мат. наук **Р.Н. Ихсанов**
доктор физ.-мат. наук **Ю.А. Наговицын**
доктор физ.-мат. наук **А.А. Соловьев**
доктор физ.-мат. наук **Е.В. Хруцкая**

Зав. редакцией **Е.Л. Терёхина**

Редколлегия благодарит всех рецензентов этого сборника
за проделанную работу

Издание осуществлено с оригинала, подготовленного к печати
Главной (Пулковской) астрономической обсерваторией РАН

ИЗВЕСТИЯ ГЛАВНОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ В ПУЛКОВЕ № 219 Выпуск 1

Утверждено к печати
Главной (Пулковской) астрономической обсерваторией РАН

Компьютерная верстка оригинал-макета Е.Л. Терёхиной

ISBN 978-5-9651-0390-4

© Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, 2009

ИЗВЕСТИЯ

Главной астрономической обсерватории в Пулкове

Выпуск 1

СОДЕРЖАНИЕ

Алешкина Е.Ю.

Наблюдения покрытий Луной радиоисточников. I. LORS – каталог избранных радиоисточников, доступных для лунных покрытий..... 7

Алешкина Е.Ю., Девяткин А.В., Горшанов Д.Л.

Фотометрические и астрометрические наблюдения Фебы (С9) в 2007–2008 гг. 19

Антонов В.А., Кондратьев Б.П.

Принципы квантовой механики с точки зрения астрономии..... 29

Бережной А.А.

Учет влияния параметров ориентации системы ICRF/UCAC2 относительно динамических систем DE200 и DE405 на величины (О-С), полученные из наблюдений астероидов..... 43

Бобылев В.В., Байкова А.Т.

Рассеянные скопления IC 4665, Cr 359 и вероятное место рождения пульсара PSR B1929+10..... 51

Бобылев В.В., Заченюк А.А.

Кинематическая эволюция звездных скоплений в Скорпионе-Центавре и Орионе 67

Верещагина И.А., Девяткин А.В., Горшанов Д.Л.

Модели двойных астероидов (137170) 1999 HF1 и 2006 VV2, сближающихся с Землей..... 75

Гасанализаде А.Г.

Отождествление и классификация линий поглощения Fe II в области 3827-3873 Å спектра Солнца..... 87

Горшков В.Л., Миллер Н.О.

Прогнозирование параметров вращения Земли с помощью сингулярного спектрального анализа..... 91

Девяткин А.В., Алешкина Е.Ю., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Бехтева А.С., Батурина Г.Д., Ибрагимов Ф.М., Верещагина И.А., Кракосевич О.В., Баршевич К.В.

Астрометрические наблюдения спутников Сатурна, полученные на зеркальном астрографе ЗА-320М в 2006-2008 гг. 101

Девяткин А.В., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Алешкина Е.Ю., Бехтева А.С., Батурина Г.Д., Ибрагимов Ф.М., Верещагина И.А., Кракосевич О.В., Баршевич К.В., Павловский С.Е., Павловский К.С.

Астрометрические наблюдения малых тел Солнечной системы на зеркальном астрографе ЗА-320М в 2006-2008 гг. 107

<i>Девяткин А.В., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Алешкина Е.Ю., Бехтева А.С., Батурина Г.Д., Ибрагимов Ф.М., Верецагина И.А., Кракосевич О.В., Павловский С.Е., Баршевич К.В.</i> Астрометрические наблюдения Урана на зеркальном астрографе ЗА-320М в 2007 г.	119
<i>Девяткин А.В., Львов В.Н., Цекмейстер С.Д.</i> Перспективы наземных оптических наблюдений потенциально опасного для Земли астероида Аporphis.....	126
<i>Ермаков Б.К., Гусева И.С.</i> Компильтивный каталог Плеяд и его анализ.....	129
<i>Ефремов В.И., Парфиненко Л.Д., Соловьев А.А.</i> Анализ долгопериодических колебаний солнечных пятен по наземным наблюдениям (Пулково) и по данным SOHO (MDI).....	140
<i>Киселев А.А., Романенко Л.Г., Горыня Н.А.</i> Тройная иерархическая звезда ADS 10288. Предварительные орбиты.....	150
<i>Киселева Т.П., Измайлов И.С.</i> Результаты ПЗС-наблюдений главных спутников Сатурна с камерой ST-6 на 26-дюймовом рефракторе Пулковской обсерватории в 1995-2007 гг.	158
<i>Киселева Т.П., Измайлов И.С., Кияева О.В., Романенко Л.Г., Грошева Е.А., Калининченко О.А., Можяев М.А., Хруцкая Е.В., Бережной А.А., Дементьева А.А., Нарижная Н.В., Бобылев В.В., Лебедева С.В., Ховричев М.Ю.</i> Результаты астрометрических ПЗС-наблюдений главных спутников Сатурна и Урана на 26-дюймовом рефракторе и Нормальном астрографе Пулковской обсерватории в период 2004-2007 гг.	165
<i>Киселева Т.П., Калининченко О.А., Васильева Т.А.</i> Результаты фотографических наблюдений Сатурна и его спутников на 26-дюймовом рефракторе Пулковской обсерватории в 2005-2007 гг.	172
<i>Кияева О.В., Калининченко О.А.</i> Возможный невидимый спутник в системе визуально-двойной звезды ADS 7446, обнаруженный по фотографическим наблюдениям на 26-дюймовом рефракторе 1962-1999 гг. в Пулкове.....	184
<i>Кулиш А.П., Девяткин А.В., Рафальский В.Б., Ибрагимов Ф.М., Куприянов В.В., Верецагина И.А., Шумахер А.В.</i> Автоматизация комплекса телескопа МТМ-500М.....	192
<i>Медведев М.Ю.</i> Влияние космогенной эмиссии инфразвука на динамику стратосферного аэрозоля	219
<i>Миллер Н.О., Прудникова Е.Я.</i> Сопоставление изменений широты Пулкова с международными наблюдениями за 1904-2006 годы.....	223
<i>Молотов И.Е., Агапов В.М., Куприянов В.В., Титенко В.В., Хуторовский З.Н., Гусева И.С., Румянцев В.В., Бирюков В.В., Литвиненко Е.А., Борисов Г.В., Суханов С.А., Бурцев Ю.В., Корниенко Г.И., Бахтигараев Н.С., Русаков О.П., Щелков П.О., Ерофеева А.В., Круглый Ю.Н., Иващенко Ю.Н., Борисова Н.Н.,</i>	

<i>Ирсамбетова Т.Р., Сальес Р., Гребецкая О.Н., Выхристенко А.М., Алиев А., Минукулов Н.Х., Гулямов М.И., Инасаридзе Р.Я., Ибрагимов М.А., Ерофеев Д.В., Лоскутников В.С., Ерофеев А.Д., Губин Е.Г., Дорохов Н.И., Цыбизов О.Ю., Лих Ю.С., Чекалин О.Н., Рыбак А.Л., Абдуллоев С.Х., Ермаков Б.К., Юрков В.В., Матреницкий Д.В., Семенчук С.А.</i>	
Научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений.....	233
<i>Панас Н.М., Маньшина Т.В.</i>	
Изучение эффективности Санкт-Петербургской сейсмической сети.....	249
<i>Полякова Г.Д.</i>	
Морфология родительских галактик сверхновых типа Ibc.....	260
<i>Прудникова Е.Я.</i>	
О случайных ошибках астрооптических наблюдений и их неслучайных изменениях.....	274
<i>Соколов В.Г.</i>	
Об аномалиях, предложенных М.Ф. Субботиным.....	281
<i>Степанищев А.С.</i>	
Оценка К-эффекта по радиальным скоростям рассеянных звёздных скоплений.....	289
<i>Толчельникова С.А.</i>	
Влияние ошибок значения базиса и измерений углов на точность определения расстояний в Солнечной системе.....	296
<i>Хруцкая Е.В., Калинин С.И., Канаева Н.Г.</i>	
База данных фотографических пластинок Пулковской обсерватории.....	305
<i>Хруцкая Е.В., Ховричев М.Ю.</i>	
Астрометрия малых тел Солнечной системы с Пулковским Нормальным астрографом.....	310
Список авторов.....	318

НАБЛЮДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ЛУНОЙ РАДИОИСТОЧНИКОВ. I. LORS – КАТАЛОГ ИЗБРАННЫХ РАДИОИСТОЧНИКОВ, ДОСТУПНЫХ ДЛЯ ЛУННЫХ ПОКРЫТИЙ

Алешкина Е.Ю.

В работе представлен каталог LORS 267 ярких радиоисточников, доступных для лунных покрытий. Критерием отбора являлись величины потоков не менее 1 Ян в одной из длин волн: 6 см, 11 см, 15 см, 21 см, 92 см. Точность положений источников составляет от 0.01" до 0.001".

1. Введение

Лунные покрытия представляют собой классический тип позиционных наблюдений. На протяжении столетий покрытия Луной различных объектов – планет, звезд, Солнца – использовались как для уточнения орбитально-вращательного движения Луны, исследования лунного рельефа, в частности, краевой зоны Луны, так и для установления связи динамической и оптической систем координат.

Точность современных теорий движения Луны позволяет в настоящее время использовать лунные покрытия для уточнения селенодезических характеристик и взаимосвязи различных координатных систем. В 60-х годах впервые были рассмотрена теоретическая возможность проведения и анализа лунных покрытий в радиодиапазоне [3] и проведены первые эксперименты в обсерватории Jodrell Bank (Великобритания) [2]. Наблюдения покрытий Луной радиозвезд позволили получить угловые, а при известных расстояниях до объектов и линейные их размеры. В 70-х годах активные наблюдения покрытий Луной различных радиоисточников проводились на телескопе в Ооти (Индия). Подробное описание телескопа в Индии и результатов наблюдения радиопокрытий на нем содержатся в [5-7]. В дальнейшем проводились исследования и повторный анализ проведенных наблюдений с использованием уточненных положений источников и лунных эфемерид [4].

В процессе подготовки к проведению наблюдений покрытий Луной радиоисточников в обсерваториях ИПА РАН "Светлое" и "Зеленчукская" [1] возникла проблема недостаточной информации о конкретных объектах, включенных в наблюдательную программу. Для решения этого вопроса было проведено объединение путем кросс-идентификации восьми различных каталогов разнородных сведений об интересных радиоисточниках для простоты их поиска. Полученный объединенный каталог содержит значения потоков источников для тех диапазонов, для которых есть приемники в обсерваториях ИПА и других учреждениях страны, и представляет практический интерес.

2. Каталог избранных ярких радиоисточников LORS

Наличие большого числа разнообразных радиокаталогов, как правило, составленных по наблюдениям в одной или двух полосах, обусловило необходимость сбора и систематизации информации относительно избранных для конкретной наблюдательной задачи источников в целях сокращения времени предварительных расчетов и объединения данных, полученных в различных длинах волн, и физических характеристик источников. Первоначально были отобраны точечные источники с угловыми размерами не более 1". В дальнейшем в каталог были добавлены и протяженные источники, наблюдения которых или могут иметь значительный интерес для астрофизики, или уже проводились в прошлом, и результаты их исследований доступны, а также радиозвезды.

Предлагаемый каталог избранных ярких радиоисточников LORS (Lunar Occultation Radio Sources) содержит 267 объектов, большая часть которых принадлежит международной опорной системе координат ICRF. Критериями отбора источников для составления сводного каталога были следующие параметры:

- склонения в полосе $|\delta| < 30^\circ$, т.е. объекты, попадающие в область перемещения по небу Луны;
- величина потока источника 1 Ян и больше хотя бы в одной из длин волн 6 см, 11 см, 15 см, 21 см, 92 см.

В каталоге отражены следующие данные:

- 1 – Номер источника в каталоге LORS
- 2 – Прямое восхождение (*hhmmss.ss*)
- 3 – Склонение (*ddmms.ss*)
- 4 – Равноденствие каталога
- 5, 6, 7, 8, 9 – Потоки на длинах волн 6, 11, 15, 21, 92 см соответственно (*Ян*)
- 10 – Видимая звездная величина
- 11 – Красное смещение
- 12 – Обозначение по ICRF
- 13 – Альтернативные названия
- 14 – Ссылки на использованные каталоги

Каталог LORS составлен на основе кросс-идентификации 8 каталогов радиоисточников, при этом точность положений источников различна и составляет от 0.01" (в первую очередь для протяженных источников) до 0.001" для точечных источников опорной системы ICRF.

Список исходных каталогов:

1. *Ленг К.* Астрофизические формулы, 1978, М.: Мир, ч.1, 252–260.
2. *Douglas J.N., Bash F.N., Bozyan F.A., Torrence G.W., Wolfe C.* The Texas survey of radio sources covering $-35.5^\circ < \delta < 71.5^\circ$ at 365 MHz, *Astron. J.*, 1996, 111, 1945D.
3. *Gregory P.C., Scott W.K., Douglas K., Condon J.J.* The GB6 catalog of radio sources, *Astrophys. J. Supp. ser.*, 1996, 103, 427G.
4. *Hewitt A., Burbidge G.* A Revised and Updated Catalog of Quasi-Stellar Objects, *Astrophys. J. Supp. ser.*, 1993, 87, 451.
5. *Ma, C., Arias, E.F., Eubanks, T.M., Fey, A.L., Gontier, A.-M., Jacobs, C.S., Sovers, O.J., Archinal, B.A., Charlot, P.* The International Celestial Reference Frame realized by VLBI, 1997, IERS Technical Note 23, Part II, C. Ma and M. Feissel (eds.), Observatoire de Paris.
6. *Subrahmanya C.R., Gopal-Krishna.* Ooty occultations of 100 radio sources at 327 MHz, *Mem.astr.Soc.India*, 1979, 1, 2–13.
7. *Veron-Cetty M.P., Veron P.* Quasars and Active Galactic Nuclei (10th Ed.), 2001, ESO Scientific Report 19.
8. *White R.L., Becker R.H., Helfand D.J., Gregg M.D.* The FIRST Survey Catalog of 1.4GHz radio sources, *Astrophys. J.*, 1997, 475, 479W.

Литература

1. *Алешкина Е.Ю.* Предварительная программа наблюдений покрытий Луной квазаров, Тезисы конф. "Проблемы современной радиоастрономии", 1997, СПб, т.2, 270.
2. *Hazard C. et all.* Accurate radio and optical positions of 3C 273B, *Nature Physical Science*, 1971, 233, 89–91.
3. *Scheuer P.A.G.* On the use of lunar occultations for investigating the angular structure of radio sources, *Austral. J. Phys.*, 1962, 15, 333–343.

4. *Soma M., Miyamoto M., Aoki Sh.* Occultation of radio sources for the linkage of radio and stellar reference frames, Proc.of the 141 IAU Symposium "Inertial coordinate system on the sky", Eds. J.H. Lieske, V.K. Abalakin, 1989, Leningrad, 503–511.
5. *Subrahmanya C.R., Gopal-Krishna.* Ooty occultations of 100 radio sources at 327 MHz, Mem. astr. Soc. India, 1979, 1, 2–13.
6. *Swarup G. et all.,* Large Steerable Radio Telescope at Ootacamund, India, Nature Physical Science, 1971, 230, 185–188.
7. *Swarup G. et all.,* Lunar occultation observations of 25 Radio Sources made with the Ooty radio telescope. List I., Astroph. Lett., 1971, 9, 53–59.

**OBSERVATIONS OF RADIOOCCULTATIONS BY THE MOON.
I. LORS – CATALOGUE OF SELECTED RADIOSOURCES AVAILABLE
FOR LUNAR OCCULTATIONS**

Aleshkina E.Yu.

Summary

The catalogue LORS of 267 bright radiosources available for lunar occultations is presented. Search criteria were flux no less than 1 Jy in one of wavelengths 6 cm, 11 cm, 15 cm, 21 cm, 92 cm. Position accuracy is 0.01" – 0.001".

Приложение. Каталог LORS избранных радиосточников, доступных для наблюдения в технике покрытий Луной.

NN	R.A.	Dec.	equinox	6 см	11 см	15 см	21 см	92 см	m	z	IERS	Alt. name	Ссылка
1	348.82	-2106.50	B1950.0				3.83		19.35	1.037		3C2	1
2	613.89	-62335.33	J2000.0	1.58		1.69		2.165	19.70	0.347	0003-066		2,5
3	1033.99	172418.76	J2000.0	1.19	0.90			0.685	17.33	1.601	0007+171	4C05.03	2,3,5,7
4	1127.40	52830.60	B1950.0					4.200					6
5	1611.09	-1512.44	J2000.0	0.79	0.82		1.05	0.934	20.30	1.574	0013-005		2,5,8
6	1749.94	152416.21	B1950.0				2.19	9.503	18.21	2.012		3C9	1,2
7	2232.44	60804.27	J2000.0	0.54	0.48			8.446	19.50		0019+058		2,5
8	3816.77	83757.50	B1950.0					3.500				4C08.05	6
9	4204.55	232001.06	J2000.0	1.60				0.434			0039+230		2,3,5
10	5041.32	-92905.21	J2000.0	1.92		1.30	1.00	1.328	17.40		0048-097		2,5,8
11	5905.51	651.62	J2000.0	1.41	1.86	2.20	2.60	4.225	17.33	0.717	0056-001	PHL923	1,2,5,7
12	10838.77	13500.32	J2000.0	3.67		3.90	1.40	3.308	18.39	2.107	0106+013	PKS0106+01	1,2,5
13	11517.10	-12704.58	J2000.0	1.16	1.38		1.11	0.973	17.70	1.365	0112-017		2,5,8
14	11543.74	24220.50	B1950.0				1.50	6.936	17.50	0.672		PKS0115+02	1,2
15	11612.52	-113615.43	J2000.0	1.88	1.78			2.588	18.50	0.672	0113-118		2,5
16	11955.90	-43707.00	B1950.0				1.30	3.267	16.88	1.955		PKS0119-04	1,2
17	12141.60	114950.41	J2000.0	1.00		1.80		1.700	19.00	0.570	0119+115		2,5
18	12156.86	42224.73	J2000.0	1.67		0.90		0.897	19.50	0.637	0119+041		2,5
19	12255.20	-2130.70	B1950.0				1.50	1.112	16.70	1.070		PKS0122-00	1,2
20	12642.79	255901.30	J2000.0	0.97		0.90		1.646	17.5	2.353	0123+257		2,5
21	13738.35	-243053.88	J2000.0	1.65		1.49		2.449	17.3	0.831	0135-247		2,5
22	14922.37	55553.57	J2000.0	1.17	0.73			0.885	20.0	2.345	0146+056		2,5
23	15127.15	274441.79	J2000.0			0.70		1.162	20.0	1.260	0148+274		2,5
24	15218.06	220707.70	J2000.0	1.08		1.40		2.814	18.0	1.320	0149+218		2,5
25	15513.10	-105816.60	B1950.0				1.90	6.352	17.09	0.616		PKS0155-10	1,2
26	15930.32	-114658.40	B1950.0				3.20	6.076	16.4	0.680		3C57	1,2
27	20457.67	-170119.84	J2000.0	1.60		1.20	1.20	1.288	18.0	1.740	0202-172	PKS0202-17	1,2,5
28	20346.66	113445.41	J2000.0	1.20		1.30		0.314	19.5	3.560	0201+113		2,5

NIN	R.A.	Dec.	equinox	6 cm	11 cm	15 cm	21 cm	92 cm	m	z	IERS	Alt. name	Ссылка
29	20450.41	151411.04	J2000.0			3.20		5.713	21.9	0.833	0202+149		2,5
30	21748.95	14449.70	J2000.0	0.36	0.36			1.055	18.8	1.715	0215+015		2,5
31	22428.43	65923.34	J2000.0	0.77		1.40		1.301	19.0	0.511	0221+067		2,5
32	23145.89	132254.72	J2000.0	1.01		2.00	1.20	2.175	17.7	2.065	0229+131	PKS0229+13	1,2,5
33	23236.60	-41505.00	B1950.0				1.50		16.5	1.434		PHL 1377	1
34	23752.41	284808.99	J2000.0	1.45	1.24			1.703	18.5	1.207	0234+285		2,5
35	23752.62	-232206.00	B1950.0	3.16	5.34		7.20	2.956	16.6	2.225	0237-233	PKS0237-23	1,2
36	23826.40	83157.00	B1950.0				1.20	0.641	14.8	0.022		4C08.11	1,2
37	23838.93	163659.28	J2000.0	2.79		2.00		1.031	15.5	0.940	0235+164		2,5
38	23951.26	41621.41	J2000.0	0.75		0.80		4.035	18.5	0.978	0237+040		2,5
39	24007.09	-1330.70	B1950.0				4.90		8.9	0.003		3C71.0	1
40	24229.17	110100.73	J2000.0			1.80		1.388	20.0		0239+108		2,5
41	25927.08	74739.64	J2000.0	0.98		0.70		0.934	18.0	0.893	0256+075		2,5
42	30903.62	102916.34	J2000.0	0.70		1.30		0.442	18.4	0.863	0306+102		2,5
43	31609.10	161740.00	B1950.0					7.546				CTA-21	2,?? j
44	32153.10	122113.95	J2000.0	1.05		1.40		2.733	19.0	2.670	0319+121		2,5
45	32701.37	240629.20	B1950.0					1.800				4C24.07	6
46	32807.75	244834.10	B1950.0					1.400				4C24.08	6
47	32957.67	275615.50	J2000.0	0.64	0.84			0.931	17.5	1.533	0326+277		2,5
48	33930.94	-14635.80	J2000.0	2.59		2.70	1.50	1.314	18.4	0.852	0336-019	CTA26	1,2,5
49	34035.61	-211931.17	J2000.0	0.93	0.82			0.990	17.50	0.048	0338-214		2,5
50	34146.36	251108.20	B1950.0					1.500				4C25.13	6
51	35005.41	-71957.20	B1950.0				2.90	10.965	16.49	0.962		3C94.0	1,2
52	40305.59	260001.50	J2000.0	1.79		1.40		1.302	18.00	2.109	0400+258		2,5
53	40313.98	-131617.95	B1950.0				4.000	7.621	17.170	0.571	0406-127	PKS0403-13	1,2
54	40905.77	-123848.14	J2000.0	1.62	1.16			0.642	20.20	1.020	0406+121		2,5
55	40922.01	121739.85	J2000.0	0.77		1.00		0.503	18.50	1.536	0414-189		2,5
56	41636.54	-185108.34	J2000.0	1.58		1.00		0.778	17.00	0.915	0420-014		2,5
57	42315.80	-12033.06	J2000.0	1.60		0.80		1.281	17.00		0422+004		2,5
58	43031.61	51500.19	B1950.0	5.09		6.40	4.100	4.798	15.000	0.033	0430+052	3C120.0	1,2,5
59	43701.48	-184448.61	J2000.0	1.09		1.30			19.00	2.702	0434-188		5
60	44238.66	-1743.42	J2000.0	2.39	3.53			1.541	19.20	0.844	0440-003		2,5

NIN	R.A.	Dec.	equinox	6 cm	11 cm	15 cm	21 cm	92 cm	m	z	IERS	Alt. name	Ссылка
61	44907.67	112128.60	J2000.0			1.80		0.930	20.00		0446+112		2,5
62	45314.65	-280737.33	J2000.0	2.17		2.30		2.403	18.20	2.560	0451-282		2,5
63	45703.18	-232452.02	J2000.0	1.86	1.76			1.398	18.50	1.003	0454-234		2,5
64	45952.05	22931.18	J2000.0	1.21		1.30		0.435	18.50	2.384	0457+024		2,5
65	50112.81	-15914.26	J2000.0	1.65		2.00		2.502	19.50	2.286	0458-020		2,5
66	50321.20	20304.68	J2000.0			2.00		0.628		0.583	0500+019		2,5
67	50927.46	101144.60	J2000.0			4.10		0.494	19.50		0506+101		2,5
68	51349.11	-215916.09	J2000.0	0.87		1.30		0.583	19.50	1.296	0511-220		2,5
69	51625.23	274053.50	B1950.0					4.400				4C27.15	6
70	52109.89	163822.05	J2000.0				9.640	17.088	18.840	0.759	0518+165	3C138.0	1,2,5
71	53007.96	-250329.90	J2000.0	0.85	1.32				17.30	2.765	0528-250		5
72	53056.42	133155.15	J2000.0	4.37	2.69			1.016	20.00	2.070	0528+134		2,5
73	53932.01	-155030.32	J2000.0	0.44	0.63			0.965	18.00	0.947	0537-158		2,5
74	53954.28	-283955.95	J2000.0	1.23		1.00		0.774	20.00	3.104	0537-286		2,5
75	54138.08	-54149.43	J2000.0	1.51	1.28			0.959	20.40	0.839	0539-057		2,5
76	60759.70	-83449.98	J2000.0	2.73	3.05			2.701	18.50	0.872	0605-085		2,5
77	60940.95	-154240.67	J2000.0	3.13		1.00		2.680	18.0	0.324	0607-157		2,5
78	61932.72	263744.00	B1950.0					1.900				4C26.21	6
79	64228.53	263802.50	B1950.0					1.400				4C26.24	6
80	64524.10	212151.20	J2000.0			1.80		7.551	19.5	0.245	0642+214		2,5
81	64833.81	261949.90	B1950.0					2.300				4C26.25	6
82	65827.10	231745.00	B1950.0				1.200		15.700	0.090		4C23.18	1
83	71041.28	254313.60	B1950.0					1.400				4C25.20	6
84	72231.07	-93403.00	B1950.0				1.400	6.274	13.000	0.007		3C178.0	1,2
85	72516.81	142513.75	J2000.0			5.30		1.047			0722+145		2,5
86	72520.35	144346.30	B1950.0				2.370	7.624	18.920	1.382		3C181.0	1,2
87	72550.64	-5456.54	J2000.0	2.25		2.10		3.100	18.00	0.127	0723-008		2,5
88	73918.03	13704.62	J2000.0	1.92		2.90	2.470	2.526	17.470	0.191	0736+017	PKS0736+01	1,2,5
89	73019.11	-114112.60	J2000.0					1.923			0727-115		2,5
90	73545.81	-173548.50	J2000.0			3.10		1.807			0733-174		2,5
91	73807.39	174219.00	J2000.0	1.99		2.00	1.101	2.176	16.200	0.424	0735+178		2,5,8
92	74533.06	101112.69	J2000.0			3.90		1.561			0742+103		2,5

NIN	R.A.	Dec.	equinox	6 cm	11 cm	15 cm	21 cm	92 cm	m	z	IERS	Alt. name	Ссылка
93	74554.08	-4417.54	J2000.0	1.31	1.01			0.536	17.10	0.996	0743-006		2,5
94	74836.11	240024.11	J2000.0	0.84	0.74		0.862	1.131	19.00	0.409	0745+241		2,5,8
95	75052.05	123104.83	J2000.0	2.22		2.00		1.446	18.0	0.889	0748+126		2,5
96	75706.64	95634.85	J2000.0	1.48	1.04			0.737	15.00	0.660	0754+100		2,5
97	80203.76	102357.60	B1950.0				1.700	7.485	18.400	1.952		3C191.0	1,2
98	80558.14	223055.50	B1950.0					1.500				4C22.19	6
99	80815.54	-75109.89	J2000.0	1.01		1.10		2.601	18.40	1.837	0805-077		2,5
100	81438.06	224649.00	B1950.0					2.500				4C22.20	6
101	82550.35	30924.52	J2000.0	1.43		1.42	1.178	1.128	16.80	0.506	0823+033		2,5,8
102	82601.58	-223027.20	J2000.0	0.78	1.03			0.810	16.20	0.910	0823-223		2,5
103	83052.09	241059.82	J2000.0	0.94		1.30	0.885	0.711	17.30	0.941	0827+243		2,5,8
104	83639.22	-201659.50	J2000.0	3.42		3.30			19.40	2.752	0834-201		5
105	83801.84	132306.10	B1950.0				2.590	8.922	18.15	0.681		3C207	1,2
106	84205.09	183540.99	J2000.0	1.20		2.20		0.997	16.40	1.272	0839+187		2,5
107	84845.66	180736.50	B1950.0					1.000				4C18.26	6
108	85022.99	140418.90	B1950.0				2.260	10.332	17.42	1.110		3C208.0	1,2
109	85448.88	200630.64	J2000.0	2.61	3.38		1.182	1.134	15.40	0.306	0851+202		2,5,8
110	85604.05	170304.30	B1950.0					2.300				4C17.46	6
111	85735.14	170612.50	B1950.0					2.300				4C17.47	6
112	90216.84	-141530.87	J2000.0	2.25		2.90	3.100	4.431	17.80	1.327	0859-140	PKS0859-14	1,2,5
113	90910.09	12135.62	J2000.0	1.01		0.76	0.571	1.524	17.80	1.018	0906+015		2,5,8
114	91116.39	172816.90	B1950.0					5.000				4C17.48	6
115	92751.82	-203451.23	J2000.0	0.69	0.81			1.434	16.40	0.348	0925-203		2,5
116	95456.83	174331.22	J2000.0	0.74		1.00		1.727	17.20	1.478	0952+179		2,5
117	95649.89	251516.05	J2000.0	1.79		1.30	1.070	0.531	17.20	0.712	0953+254		2,5,8
118	95848.28	112215.30	B1950.0					1.400				4C11.33	6
119	100741.50	135629.60	J2000.0	0.74		0.81		1.350	19.00	2.707	1004+141		2,5
120	101447.08	230116.57	J2000.0	0.81	0.74		0.783	1.999	17.50	0.565	1012+232		2,5,8
121	102327.63	75055.10	B1950.0					1.900				4C07.31	6
122	102429.59	-5255.50	J2000.0	0.75		0.92	1.033	0.468	18.50	2.552	1021-006		2,5,8
123	102444.82	191220.42	J2000.0	0.60		1.04		1.435	17.50	0.828	1022+194		2,5
124	102449.17	74913.50	B1950.0					1.500				4CP07.31	6

NIN	R.A.	Dec.	equinox	6 cm	11 cm	15 cm	21 cm	92 cm	m	z	IERS	Alt. name	Ссылка
125	103502.17	-201134.36	J2000.0	1.02	1.10			1.447	19.00	2.198	1032-199		2,5
126	103716.09	-293402.81	J2000.0	1.51		1.30		1.037	16.50	0.312	1034-293		2,5
127	104104.19	55257.80	B1950.0					1.800				4C05.45	6
128	104117.16	61016.92	J2000.0	1.32		1.64		1.594	16.70	1.265	1038+064		2,5
129	104244.61	120331.26	J2000.0	1.39		2.38	3.170	9.449	17.30	1.028	1040+123	3C245.0	1,2,5
130	105148.79	211952.31	J2000.0	1.25		1.70	1.471	1.843	18.50	1.300	1049+215		2,5,8
131	105736.18	50006.20	B1950.0					1.900				4C05.47	6
132	105829.61	13358.82	J2000.0	3.38		2.87	3.354	4.275	18.30	0.888	1055+018		2,5,8
133	110440.55	54919.30	B1950.0					2.000				4C05.48	6
134	111353.70	293144.00	B1950.0				2.000	3.164	14.00	0.048		4C29.41	1,2
135	111652.62	-24644.00	B1950.0				1.600	9.251	15.50	0.024		3C255.0	1,2
136	111857.31	123441.72	J2000.0	1.48		1.74	2.420	3.770	19.30	2.118	1116+128	PKS1116+12	1,2,5
137	112553.71	261019.98	J2000.0	0.83		0.70	0.924	0.616	18.00	2.341	1123+264		2,5,8
138	112704.39	-185717.44	J2000.0			0.60		1.471	18.50	1.050	1124-186		2,5
139	113007.05	-144927.39	J2000.0	7.31	6.43		6.200	5.379	16.90	1.187	1127-145	PKS1127-14	1,2,5
140	113740.40	175948.00	B1950.0				1.500		13.30	0.010		4C17.52	1
141	114608.11	-244732.90	J2000.0	1.49		1.10		0.353	18.00	1.950	1143-245		2,5
142	114751.56	-72441.14	J2000.0	1.21		0.97		0.796	18.00	1.342	1145-071		2,5
143	115043.88	-2354.20	J2000.0	1.90		2.51	2.900	4.433	17.60	1.980	1148-001	PKS1148-00	1,2,5
144	115825.80	245017.96	J2000.0			1.06	1.001	0.913	17.50		1155+251		2,5,8
145	115912.71	-94052.05	J2000.0			0.87		1.769	17.50		1156-094		2,5
146	115931.84	291443.83	J2000.0	0.89		1.30	1.952	3.106	14.40	0.729	1156+295		2,5,8
147	122131.69	281358.50	J2000.0	0.72		1.47	0.922	1.548	16.10	0.102	1219+285		2,5,8
148	122222.56	41315.78	J2000.0	0.93		0.65		1.124	18.00	0.965	1219+044		2,5
149	122223.48	213960.00	B1950.0				1.500	3.475	17.50	0.435		4C21.35	1,2
150	122452.42	33050.29	J2000.0	0.86		0.96	1.349	0.519	18.80	0.960	1222+037		2,5,8
151	122906.70	20308.60	J2000.0	43.41	41.44		36.98		12.900	0.158	1226+023	3C273B	1,5,8
152	122925.88	-20731.00	B1950.0				1.700	4.124	16.75	0.388		PKS1229-02	1,2
153	123049.42	122328.04	J2000.0	71.90					12.900	0.004	1228+126		5
154	123259.40	-245546.00	B1950.0				2.300	6.799	17.200	0.355		PKS1233-24	1,2
155	124604.23	-73046.57	J2000.0	0.90		0.72		0.948	19.000	1.286	1243-072		2,5
156	124646.80	-254749.29	J2000.0	2.32		1.36		1.237	17.400	0.638	1244-255		2,5

NIN	R.A.	Dec.	equinox	6 cm	11 cm	15 cm	21 cm	92 cm	m	z	IERS	Alt. name	Ссылка
157	125438.26	114105.90	J2000.0	1.00		1.80	1.200	1.024	16.640	0.870	1252+119	PKS1252+11	1,2,5
158	125611.17	-54721.52	J2000.0	15.34		11.80	11.20	15.461	17.750	0.536	1253-055	3C279	1,2,5
159	130533.01	-103319.43	J2000.0	0.77		1.03		0.433	15.200	0.286	1302-102		2,5
160	131704.50	-3421.00	B1950.0				1.800	3.749	17.320	0.890		PKS1317-00	1,2
161	132700.86	221050.16	J2000.0				1.227	0.694		1.400	1324+224		2,5,8
162	132815.92	252437.70	B1950.0				7.310	14.959	17.670	1.055		3C287.0	1,2
163	133531.30	-61157.00	B1950.0				3.200	9.912	17.680	0.625		MSH13-011	1,2
164	133739.78	-125724.69	J2000.0	2.84		1.94		1.908	18.500	0.539	1334-127		2,5
165	134012.42	51938.80	B1950.0				1.800	3.681	18.000	0.133		PKS1340+05	1,2
166	135406.90	-20603.19	J2000.0	0.82		0.84	0.719	0.371	9.300	3.707	1351-018		2,5,8
167	135704.44	191907.37	J2000.0	1.46		1.80		5.290	16.000	0.719	1354+195		2,5
168	135711.24	-152728.79	J2000.0	0.84		1.17		0.545	18.500	1.890	1354-152		2,5
169	140501.12	41535.82	J2000.0	0.71		0.65		1.235	19.000	3.211	1402+044		2,5
170	140700.39	282714.69	J2000.0	2.90		1.70	0.829	0.179	15.400	0.077	1404+286		2,5,8
171	140856.48	-75226.67	J2000.0	0.82		1.30		0.941	20.000	1.493	1406-076		2,5
172	141558.82	132023.71	J2000.0	1.20		0.90		2.735	20.500	0.247	1413+135		2,5
173	141701.78	-191460.00	B1950.0				1.700	4.638	17.500	0.119		PKS1417-19	1,2
174	141908.18	62834.81	J2000.0	1.46		3.41	5.960	29.025	16.790	1.439	1416+067	3C298.0	1,2,5
175	142237.00	201349.00	B1950.0				1.800	5.544	17.860	0.871		4C20.33	1,2
176	142518.00	264600.00	B1950.0				3.200	3.366	15.680	0.366		Ton 202	1,2
177	143257.69	-180135.25	J2000.0	0.85		1.19		1.268	19.500	2.331	1430-178		
178	144516.47	95836.07	J2000.0	1.15		2.01	2.420	1.799	17.800	3.530	1442+101	OQ 172	1,2,5
179	144815.05	-162024.55	J2000.0	0.80		1.01		2.494	18.900	2.417	1445-161		2,5
180	145402.68	-60545.00	B1950.0				1.200	3.285	18.000	1.249		PKS1454-06	1,2
181	150200.18	104121.30	B1950.0				1.200			0.572		OR 103	1
182	150424.98	102939.20	J2000.0	2.53		2.03		1.388	18.600	1.833	1502+106		2,5
183	150506.48	32630.81	J2000.0	0.62		0.29	0.380	3.070	18.600	0.413	1502+036		2,5,8
184	150704.79	-165230.27	J2000.0	2.84		2.20		2.024	18.500	0.876	1504-166		2,5
185	150814.95	-53149.10	B1950.0				3.900	7.409	17.000	1.191		PKS1508-05	1,2
186	151250.53	-90559.83	J2000.0	4.36		3.14	3.950	2.649	16.520	0.361	1510-089		1,2,5
187	151344.89	-101200.26	J2000.0	1.22		0.88		0.965	18.500	1.513	1511-100		2,5
188	151406.19	2601.00	B1950.0				2.500	1.267	16.500	0.053		4C00.56	1,2

NIN	R.A.	Dec.	equinox	6 cm	11 cm	15 cm	21 cm	92 cm	m	z	IERS	Alt. name	Ссылка
189	151741.81	-242219.48	J2000.0	1.94		1.90		1.792	14.800	0.048	1514-241		2,5
190	152237.68	-273010.78	J2000.0	1.84		0.99		0.725	17.700		1519-273		2,5
191	153452.45	13104.21	J2000.0	0.92		1.19	1.283	1.138	18.000	1.435	1532+016		2,5,8
192	154049.49	144745.88	J2000.0	1.95		1.50		2.792	17.300	0.605	1538+149		2,5
193	154929.44	23701.16	J2000.0	1.41		0.79	1.157	0.863	17.800	0.412	1546+027		2,5,8
194	155035.27	52710.45	J2000.0	2.18		2.28		2.668	19.500	1.422	1548+056		2,5
195	155751.43	-150.41	J2000.0	2.18		0.58	0.858	1.045	19.000	1.772	1555+001		2,5,8
196	160846.20	102907.78	J2000.0	1.05		1.00			18.000	1.226	1606+106		5
197	160913.32	264129.04	J2000.0			3.10	4.845	2.529	19.000	0.473	1607+268		2,5,8
198	161903.69	61302.24	J2000.0	0.89		1.10		1.191	19.000	2.086	1616+063		2,5
199	162606.02	-295126.97	J2000.0	1.86		2.20		3.753	17.000	0.815	1622-297		2,5
200	162924.44	-262555.15	J2000.0									α Sco	
201	165039.54	-294346.95	J2000.0			1.80		0.643			1647-296		2,5
202	165809.01	74127.54	J2000.0	1.60		1.63		2.051	20.000	0.621	1655+077		2,5
203	165833.45	51516.44	J2000.0	2.10		1.61		2.464	16.500	0.887	1656+053		2,5
204	170053.15	-261051.72	J2000.0			1.10		0.428			1657-261		2,5
205	171913.05	174506.44	J2000.0	0.94		1.00		0.346	19.100		1717+178		2,5
206	172824.95	42704.91	J2000.0	1.21		0.84		0.537	17.000	0.293	1725+044		2,5
207	173302.71	-130449.55	J2000.0	4.22	4.90			8.436	18.500	0.902	1730-130		2,5
208	174358.86	-35004.62	J2000.0	2.30		5.60		1.361	18.600	1.057	1741-038		2,5
209	174535.21	172001.42	J2000.0	0.94		0.90		1.207	19.500	1.702	1743+173		2,5
210	175132.82	93900.73	J2000.0	1.89		1.07		0.598	16.800	0.320	1749+096		2,5
211	175342.47	284804.94	J2000.0			1.10		0.404	20.000		1751+288		2,5
212	180144.00	10118.00	B1950.0				1.300	1.005	19.000	1.522		PKS1801+01	1
213	182402.86	104423.77	J2000.0	1.05	0.95			0.544	17.300	1.364	1821+107		2,5
214	183250.19	283335.96	J2000.0	1.07		1.30		4.250	17.200	0.594	1830+285		2,5
215	183431.20	193912.00	B1950.0				1.700		14.000	0.017		PKS1834+19	1
216	185004.80	332145.65	J2000.0									β Lir	
217	191109.65	-200655.11	J2000.0			2.30		2.695			1908-201		2,5
218	192332.19	-210433.33	J2000.0					1.347			1920-211		2,5
219	192451.06	-291430.12	J2000.0	10.00	4.60			5.636	18.200	0.352	1921-293		2,5
220	192559.61	210626.16	J2000.0					1.198			1923+210		2,5

NIN	R.A.	Dec.	equinox	6 cm	11 cm	15 cm	21 cm	92 cm	m	z	IERS	Alt. name	Ссылка
221	193926.66	-152543.06	J2000.0	0.80		1.30		0.674	19.400	1.657	1936-155		2,5
222	193957.26	-100241.52	J2000.0	0.75		0.90		1.011	17.000	3.787	1937-101		2,5
223	200057.09	-174857.67	J2000.0	2.70		1.12		0.543	18.200	0.650	1958-179		2,5
224	201114.22	-64403.56	J2000.0			2.10		1.348			2008-068		2,5
225	201115.71	-154640.25	J2000.0	0.95		0.60		0.730	18.300	1.180	2008-159		2,5
226	203154.99	121941.34	J2000.0	1.29		1.10		1.167	20.300	1.215	2029+121		2,5
227	205856.70	-133038.00	B1950.0				1.300		15.200	0.030		PKS2058-13	1
228	210138.83	34131.32	J2000.0	0.77		0.57			17.800	1.015	2059+034		5
229	211529.41	293338.37	J2000.0	1.45		1.12		0.681	19.500	1.514	2113+293		2,5
230	212912.18	-153841.04	J2000.0	1.19		0.90			17.000	3.266	2126-158		5
231	213135.26	-120704.80	J2000.0	1.99		1.69	1.800	1.414	15.990	0.501	2128-123	PKS2128-12	1,2,5
232	213638.50	4154.70	J2000.0	11.49		6.50	10.00	1.096	16.800	1.930	2134+004	PKS2134+00	1,2,5
233	213410.31	-15317.24	J2000.0	2.06		2.20	1.620	2.215	18.700	0.557	2131-021		2,5,8
234	213901.31	142335.99	J2000.0	1.11		1.19		0.719	18.900	2.427	2136+141		2,5
235	214417.70	-175405.00	B1950.0				1.400	3.301	19.500	0.684		PKS2144-17	1,2
236	214622.98	-152543.88	J2000.0	0.51		1.00		0.582	17.300	0.700	2143-156		2,5
237	214710.16	92946.67	J2000.0	1.01		0.78		1.118	18.500	1.113	2144+092		2,5
238	214805.46	65738.60	J2000.0	4.41		3.10	3.000	3.578	16.470	0.999	2145+067	PKS2145+06	1,2,5
239	215137.88	55212.95	J2000.0	1.04		1.06		0.295	19.500	0.740	2149+056		2,5
240	215224.82	173437.79	J2000.0	1.02		1.10		1.056	17.900		2150+173		2,5
241	215806.28	-150109.33	J2000.0	1.72		1.80		2.121	19.400	0.672	2155-152		2,5
242	221852.04	-33536.88	J2000.0	1.63		1.62		1.832	16.400	0.901	2216-038		2,5
243	222547.26	-45701.39	J2000.0	4.07		5.20	5.850	20.231	18.390	1.404	2223-052	3C446.0	1,2,5
244	222940.08	-83254.43	J2000.0	1.41		1.30	0.972	1.407	17.500	1.562	2227-088		2,5,8
245	223236.41	114350.90	J2000.0	3.65	4.93		6.780	8.217	17.330	1.037	2230+114	CTA 102	1,2,5
246	223325.70	-185017.00	B1950.0					10.413				2203-188	2,5
247	223622.47	282857.41	J2000.0	1.06		0.91		0.470	19.000	0.795	2234+282		2,5
248	223634.09	-143322.19	J2000.0	0.60	0.50			0.922	19.000	0.325	2233-148		2,5
249	224618.23	-120651.28	J2000.0	2.66	2.74			1.367	16.500	0.630	2243-123		2,5
250	224907.65	183243.70	B1950.0				2.100	6.485	18.400	1.757		3C454.0	1,2
251	225129.52	155254.36	B1950.0	10.03		10.50	10.80	14.382	16.100	0.859	2251+158	3C454.3	1,2
252	225140.60	112039.00	B1950.0				1.600	4.387	15.820	0.323		PKS2251+11	1,2

NIN	R.A.	Dec.	equinox	6 cm	11 cm	15 cm	21 cm	92 cm	m	z	IERS	Alt. name	Ссылка
253	225234.48	125733.30	B1950.0				3.000	9.179	14.000	0.033		3C455.0	1,2
254	225721.55	-44804.60	B1950.0					1.500				4C-04.86	6
255	225805.96	-275821.26	J2000.0	2.13	1.38			0.972	16.800	0.926	2255-282		2,5
256	230022.80	-185749.00	B1950.0				1.700	1.075	18.300	0.129		PKS2300-18	1,2
257	230800.00	71500.00	B1950.0				1.600		13.900	0.045		4C07.61	1
258	230956.60	90310.20	B1950.0				2.400	7.993	18.540	0.234		3C456.0	1,2
259	232159.86	273246.44	J2000.0	1.07		1.10		1.983	19.000	1.253	2319+272		2,5
260	233040.85	110018.71	J2000.0	0.96		1.05		0.947	18.100	1.489	2328+107		2,5
261	233355.24	-234340.66	J2000.0	0.91		0.90		0.750	16.500	0.048	2331-240		2,5
262	234636.84	93045.52	J2000.0	1.38		1.90	2.100	2.462	15.970	0.673	2344+092	PKS2344+09	1,2,5
263	234802.61	-163112.02	J2000.0	3.48	4.08		1.200	2.748	18.400	0.576	2345-167	PKS2345-16	1,2,5
264	234922.50	-12604.00	B1950.0				1.600	4.404	17.500	0.174		PKS2349-01	1,2
265	235430.20	-151311.21	J2000.0	0.97	1.08			1.212	18.800	2.675	2351-154		2,5
266	235444.70	142926.00	B1950.0				1.400	3.420	18.180	1.810		PKS2354+14	1,2
267	235810.88	-102008.61	J2000.0	1.62	0.47		0.770	0.331	18.500	1.622	2355-106		2,5,8

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ И АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ФЕБЫ (С9) В 2007–2008 гг.

Алешкина Е.Ю., Девяткин А.В., Горшанов Д.Л.

Представлены результаты астрометрических и фотометрических наблюдений девятого спутника Сатурна Фебы ($\sim 16^m.5$), проведенных на зеркальном астрографе ЗА-320 Пулковской обсерватории в 2007–2008 гг.

Фотометрические наблюдения выполнены в интегральной полосе телескопа и в фильтрах BVR системы Джонсона. Используются каталоги USNO-A2.0 (для фильтра R и интегральных наблюдений) и TYCHO-2 (для фильтра V и B). Представлены кривые блеска, полученные на коротких интервалах (2–8 часов) в течение нескольких ночей. Точность фотометрических измерений в произвольной части неба $0^m.1$, и точность оценки изменений яркости с теми же самыми опорными звездами $0^m.05$ – $0^m.07$. Астрометрические положения 2007–2008 гг. получены в системе каталога UCAC-2. Положения Фебы топоцентрические J2000. Проведено сравнение всех имеющихся астрометрических наблюдений 1999–2008 гг. с численными эфемеридами (Jacobson R.A., 1996; Erelуанов N.V., 2007). Стандартная ошибка астрометрических наблюдений — $0''.3$.

1. Введение

Феба — единственный нерегулярный спутник с известными инерционными параметрами и быстрым несинхронным вращением. Её наклонная орбита с большим эксцентриситетом и обратное орбитальное движение указывают на то, что Феба, вероятно, является телом, захваченным Сатурном с гелиоцентрической орбиты, и динамическая эволюция её вращения еще не завершена.

Поскольку Феба имеет достаточно надежно определенное быстрое несинхронное вращение, дальнейшие наблюдения представляются актуальными для выявления вероятных изменений характера её вращения.

2. Феба — 9-й спутник Сатурна

Предполагается, что Феба состоит из льда, покрытого тонким слоем темного материала, поэтому у нее очень низкое альbedo. На рис. 1 представлена мозаика из двух изображений Фебы, полученных во время полета КА «Кассини» 11 июня 2004 с расстояния 32500 километров; угол между Солнцем, Фебой и КА составляет 84 градуса.

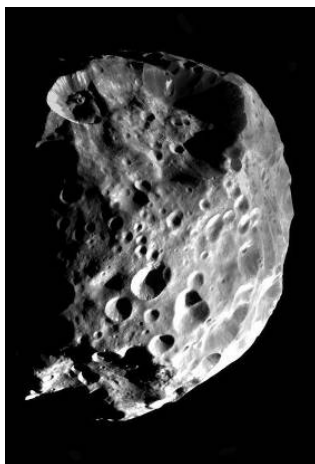


Рис. 1. Феба (фото NASA/JPL/Space Science Institute — <http://saturn.jpl.nasa.gov/multimedia/images/image-details.cfm?imageID=899>)

Согласно данным, полученным в течение полета КА «Кассини», масса и плотность Фебы составляют $Gm = 0.5531 \pm 0.0006 \text{ км}^3/\text{с}^2$ (Jacobson et al., 2005) и $1.633 \pm 0.049 \text{ г/см}^3$ соответственно. Поскольку предполагается, что Феба была захвачена с гелиоцентрической орбиты, ее состав и строение может указывать на место ее происхождения в солнечной туманности. В таблицах 1–2 представлены орбитальные, инерционные и физические характеристики Фебы.

Таблица 1. Орбитальные параметры Фебы согласно (Jacobson, 2006)

$r, 10^3 \text{ км}$	12947.780
e	0.1635
n (град/сут)	0.6541824
$T_{orb}, \text{ сут}$	550.31

Таблица 2. Инерционные и физические параметры Фебы

$P_{rot}, \text{ ч}$	9.2735 ± 0.0006	(Bauer J.M. et al, 2004)
$R, 10^5 \text{ см}$	106.6 ± 1.1	http://ssd.jpl.nasa.gov/?sat_phys_par#ref81
$Gm, \text{ км}^3/\text{с}^2$	0.5531 ± 0.0006	(Jacobson, R. A. et al., 2005)
$\rho, \text{ г/см}^3$	1.633 ± 0.049	http://ssd.jpl.nasa.gov/?sat_phys_par#ref81
$a_e/b_e/c_e, \text{ км}$	115/110/105	(P.K. Seidelmann (chair) et al., 2002)
$Albedo$	0.081 ± 0.002	(Simonelli D. P. et al., 1999)
m	16.4	(Morrison D. et al., 1984)
A/C	0.9131	*
B/C	0.9576	*
$g, \text{ см/с}^2$	4.87	*
$\mu, \text{ дин/см}^2$	10^{11}	*
k_2	0.03	*
Q	100	*

* Динамические параметры A/C , B/C , представленные в таблице 2, вычислены из соотношений $A/C = (b_e^2 + c_e^2)/(a_e^2 + b_e^2)$, $B/C = (a_e^2 + c_e^2)/(a_e^2 + b_e^2)$ для трехосного эллипсоида однородной плотности (Хаббард, 1987) на основании значений полуосей эллипсоидов a_e , b_e , c_e . В таблице P_{rot} , R , Gm , k_2 , ρ — период осевого вращения, средний радиус, гравитационная постоянная, число Лява Фебы и её средняя плотность соответственно. Величина ускорения свободного падения g вычислена по формуле $g = Gm/R^2$. Значения жесткости μ для спутников планет практически неизвестны, теория дает величины $\mu \approx 5 \times 10^{11} \text{ дин/см}^2$ для скальных пород с $\rho \approx 2 \text{ г/см}^3$ и $\mu \approx 3.5 \times 10^{10} \text{ дин/см}^2$ для льда $\rho \approx 1 \text{ г/см}^3$ (Dobrovolskis, 1995). Согласно (Голдрайх, Сопер, 1975), для спутников планет-гигантов, как и для планет земной группы, диссипативная функция Q лежит в пределах от 100 до 500, для Япета $Q \approx 150$, а для Тритона верхний предел $Q \leq 200$. Теоретическое значение Q для планеты без океанов порядка 100 (Zharkov, Trubitsyn, 1978).

3. Наблюдения и их редукция

Наблюдательная программа выполнена на автоматическом зеркальном астрографе ЗА-320 Пулковской обсерватории (Канаев и др., 2002; Девяткин и др., 2004). Телескоп имеет следующие характеристики:

- Диаметр зеркала $D = 320 \text{ мм}$
- Фокусное расстояние $F = 3200 \text{ мм}$
- $M = 65''/\text{мм}$
- Предельная звездная величина 19^m

Использована ПЗС-камера FLI (1024×1024 пиксела, 28'×28'). Телескоп оборудован набором фильтров *BVRI* фотометрической системы Джонсона. Обработка наблюдений выполнена с помощью автоматической программной системы обработки наблюдений АПЕКС-2 (Девяткин и др., 2000). Фотометрические наблюдения выполнены в интегральной полосе телескопа (300–900 нм) и в полосах *V*, *R* системы Джонсона. Использованы каталоги USNO-A2.0 (для фильтра *R* и интегральных наблюдений) и Тiсhо-2 (для *V* фильтра).

4. Фотометрические наблюдения Фебы

В 2007–2008 было получено около 250 наблюдений Фебы. В работе представлены результаты дифференциальной фотометрии на коротких интервалах времени 2–8 часов, полученные в течение 10 наблюдательных ночей. Точность фотометрических измерений в произвольной части неба — $0^m.1$, и точность оценки изменений яркости с теми же самыми опорными звездами — $0^m.05$ в фильтре *R* и $0^m.07$ в интегральной полосе телескопа. Большая часть наблюдений получена с экспозициями 120^s , в течение трех ночей — с экспозициями 180^s . Наши результаты показали, что для получения возможных колебаний яркости необходимо использовать более длительные экспозиции.

Таблица 3. Статистика фотометрических наблюдений Фебы 2007–2008 гг.

Дата	Интервал времени (ч)	Число экспозиций			
		Int.	<i>R</i>	<i>V</i>	<i>B</i>
2007-03-26	5.25	20	-	-	-
2007-03-30	3	-	16	5	-
2007-03-31	1.5	-	5	-	-
2007-04-01	3.5	22	-	-	-
2007-04-16	3.5	18	-	-	-
2008-01-28	1.5	1	5	1	1
2008-02-25	2	5	6	6	6
2008-03-21	5	1	2	5	-
2008-03-24	8	18	21	18	-
2008-03-28	2	8	7	-	-
2008-03-31	6.5	29	13	-	-

Яркость звезд в интегральной полосе инструмента рассчитывалась с использованием значений звездных величин в фильтрах *B* и *R* для этих звезд из каталога USNO-A 2.0. Это единственный каталог, содержащий как астрометрическую, так и фотометрическую информацию для звезд, попадающих в поле инструмента, хотя он имеет невысокую точность ($0^m.15$) фотометрических данных. Значительное число опорных звезд (в среднем 30–50) на кадрах позволило немного компенсировать низкую точность каталога. Яркость звезд в фильтре *V* взята из каталога ТУСНО-2.

Результаты наблюдений представлены в таблицах 4–6 и на рисунках 2–7. Внутренняя точность, представленная для каждого значения на рисунках, это стандартное отклонение, полученное усреднением яркости Фебы относительно каждой из опорных звезд кадра. Средние значения точности равны $0^m.07$, $0^m.05$ и $0^m.3$ для интегральной полосы инструмента, фильтров *R* и *V* соответственно. Наблюдаемые кривые блеска Фебы не противоречат регулярному характеру её очень быстрого вращения с периодом в 0.4 суток.

Получено следующее среднее значение цветового индекса (в инструментальной системе) Фебы для плотного ряда наблюдений 2008-03-24:

$$\langle R - V \rangle = 1.6$$

Таблица 4. Фотометрические наблюдения Фебы 2007-2008 гг.
(в интегральной полосе телескопа)

Дата	Момент (h)	m	Дата	Момент (h)	m
20070326	18.672	16.268	20080225	20.560	15.980
20070326	18.880	16.399	20080225	20.597	16.015
20070326	19.145	16.312	20080225	21.003	16.086
20070326	19.388	16.360	20080225	21.204	15.984
20070326	19.624	16.420	20080225	21.388	16.011
20070326	19.870	16.275	20080321	21.553	16.598
20070326	20.055	16.334	20080324	17.757	16.085
20070326	20.296	16.288	20080324	17.880	16.086
20070326	20.576	16.283	20080324	18.385	16.161
20070326	20.871	16.355	20080324	18.513	16.072
20070326	21.195	16.311	20080324	18.801	16.116
20070326	21.471	16.315	20080324	18.927	16.162
20070326	21.790	16.295	20080324	22.317	16.208
20070326	21.962	16.379	20080324	22.455	16.120
20070326	22.354	16.372	20080324	22.591	16.080
20070326	22.726	16.317	20080324	22.900	16.144
20070326	22.982	16.282	20080324	23.061	16.261
20070326	23.320	16.284	20080324	23.226	16.072
20070326	23.603	16.369	20080324	23.563	16.182
20070326	23.946	16.350	20080324	23.688	16.229
20070401	18.345	16.588	20080324	23.835	16.249
20070401	18.428	16.433	20080324	23.957	16.260
20070401	18.465	16.454	20080325	0.108	16.192
20070401	18.501	16.485	20080325	0.251	16.164
20070401	18.740	16.509	20080328	18.056	16.307
20070401	18.788	16.521	20080328	19.502	16.266
20070401	18.824	16.299	20080328	19.522	16.351
20070401	18.861	16.442	20080328	19.568	16.246
20070401	19.093	16.361	20080328	20.026	16.292
20070401	19.129	16.570	20080328	20.486	16.311
20070401	19.166	16.470	20080328	20.926	16.233
20070401	21.414	16.179	20080328	21.342	16.279
20070401	21.450	16.458	20080331	17.924	16.484
20070401	21.487	16.377	20080331	18.539	16.324
20070401	21.533	16.235	20080331	18.710	16.434
20070401	21.570	16.236	20080331	19.397	16.371
20070401	21.651	16.300	20080331	19.532	16.710
20070401	21.687	16.420	20080331	20.057	16.342
20070401	21.724	16.208	20080331	20.175	16.360
20070401	21.765	16.107	20080331	20.212	16.347

Дата	Момент (h)	m	Дата	Момент (h)	m
20070401	21.802	16.331	20080331	20.248	16.430
20070401	21.838	16.337	20080331	20.285	16.452
20070416	21.382	16.342	20080331	20.322	16.485
20070416	21.418	16.443	20080331	20.359	16.384
20070416	21.456	16.659	20080331	20.395	16.375
20070416	21.907	16.655	20080331	20.664	16.508
20070416	21.944	16.564	20080331	21.059	16.391
20070416	21.981	16.580	20080331	21.287	16.415
20070416	22.199	16.609	20080331	21.373	16.510
20070416	22.236	16.684	20080331	21.457	16.243
20070416	22.273	16.714	20080331	21.778	16.496
20070416	22.541	16.491	20080331	21.866	16.333
20070416	22.578	16.695	20080331	22.281	16.426
20070416	22.615	16.690	20080331	22.371	16.513
20070416	22.925	16.666	20080331	22.600	16.450
20070416	22.962	16.619	20080331	22.686	16.380
20070416	22.999	16.673	20080331	23.194	16.703
20070416	23.448	16.553	20080331	23.285	16.543
20070416	23.485	16.800	20080331	23.531	16.500
20070416	23.522	16.679	20080331	23.618	16.389
20080128	21.501	16.370	20080401	24.151	16.691

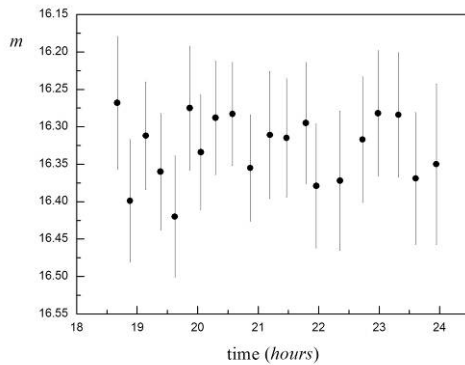
Таблица 5. Фотометрические наблюдения Фебы 2007-2008 гг. (фильтр R).

Дата	Момент (h)	m	Дата	Момент (h)	m
20070330	18.465	16.276	20080324	18.883	15.806
20070330	18.519	16.205	20080324	19.008	15.833
20070330	18.573	16.487	20080324	21.955	15.795
20070330	18.672	16.529	20080324	22.412	15.660
20070330	18.781	16.005	20080324	22.537	15.902
20070330	19.208	16.318	20080324	22.681	15.908
20070330	19.289	16.173	20080324	23.010	15.546
20070330	19.343	16.096	20080324	23.185	15.952
20070330	19.682	16.707	20080324	23.331	15.868
20070330	19.852	16.499	20080324	23.647	15.778
20070330	19.906	16.284	20080324	23.790	15.881
20070330	20.164	16.031	20080324	23.917	15.736
20070330	20.402	16.469	20080325	0.067	15.721
20070330	20.525	16.432	20080325	0.210	15.942
20070330	20.578	16.683	20080325	0.344	15.838
20070330	20.632	16.595	20080325	0.438	15.298
20070331	18.640	16.689	20080325	0.522	15.669
20070331	18.832	15.839	20080328	19.022	16.055
20070331	18.887	16.054	20080328	19.663	15.939
20070331	19.201	15.912	20080328	20.131	15.876
20070331	19.489	16.330	20080328	20.583	16.086

Дата	Момент (h)	m	Дата	Момент (h)	m
20080128	21.561	15.828	20080328	21.029	16.003
20080128	21.615	16.161	20080328	21.443	15.902
20080128	21.810	15.913	20080328	22.083	15.974
20080128	21.884	16.384	20080331	18.039	16.353
20080128	22.122	16.303	20080331	18.629	16.154
20080225	20.018	15.816	20080331	18.814	16.010
20080225	20.055	15.719	20080331	19.491	16.038
20080225	20.270	15.713	20080331	19.630	16.376
20080225	20.308	15.811	20080331	20.768	16.352
20080225	21.046	15.721	20080331	21.330	16.386
20080225	21.251	15.693	20080331	21.416	16.255
20080321	19.275	15.726	20080331	21.824	15.986
20080321	21.186	15.724	20080331	22.327	16.097
20080324	17.840	15.668	20080331	22.645	16.272
20080324	17.960	15.618	20080331	23.239	15.429
20080324	18.471	15.693	20080331	23.575	15.908
20080324	18.594	15.714			

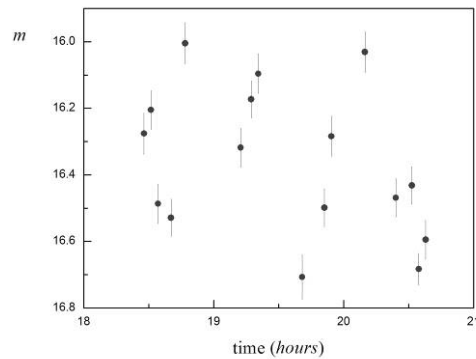
Таблица 6. Фотометрические наблюдения Фебы 2007-2008 гг. (фильтр V).

Дата	Момент (h)	m	Дата	Момент (h)	m
20080324	17.799	14.141	20080324	22.640	14.158
20080324	17.920	14.301	20080324	22.951	13.820
20080324	18.427	14.246	20080324	23.124	14.083
20080324	18.553	14.128	20080324	23.289	14.185
20080324	18.841	14.793	20080324	23.604	13.875
20080324	18.968	15.005	20080324	23.740	13.929
20080324	21.787	14.075	20080324	23.875	13.943
20080324	21.915	14.206	20080324	23.997	13.826
20080324	22.497	14.021	20080325	0.169	14.050



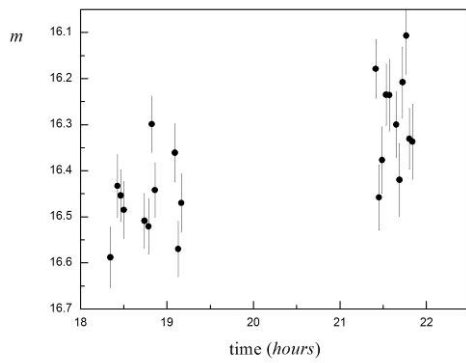
26.03.2007

Рис. 2.



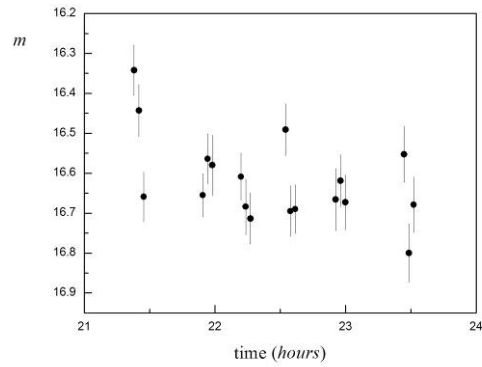
30.03.2007 (фильтр R)

Рис. 3.



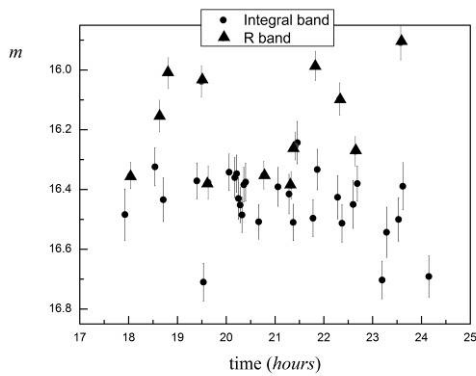
01.04.2007

Рис. 4.



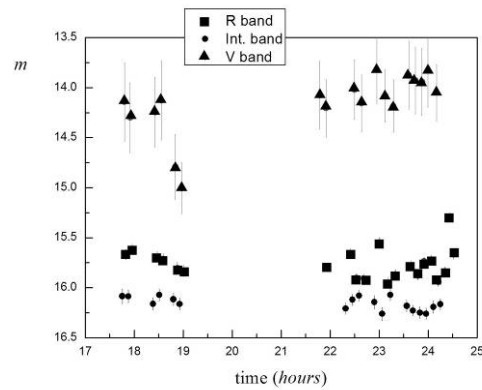
16.04.2007

Рис. 5.



31.03.2008

Рис. 6.



24.03.2008

Рис. 7.

Рис. 2–7. Кривые блеска Фебы на коротких интервалах времени в интегральной полосе и фильтрах R и V .

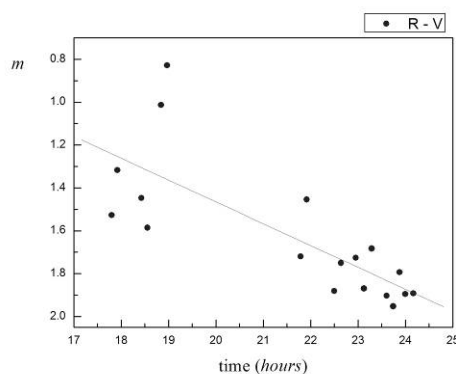


Рис. 8. Цветовой индекс ($R - V$) Фебы (в инструментальной системе) 24.03.2008.

5. Астрометрические наблюдения Фебы

В 2007–2008 гг. были получены около 150 астрометрических положений Фебы (Девяткин и др., 2008). В настоящей работе представлен результат обработки астрометрических наблюдений Фебы 1999–2006 гг. (Девяткин и др., 2004; Девяткин и др., 2006) и 2007–2008 гг. Редукция астрометрических наблюдений производилась с ис-

пользованием опорного каталога UCAC-2 методом 8 постоянных. Этот метод не требует знания координат оптического центра, определение которых для телескопов-рефлекторов является непростой задачей. Проведено сравнение полученных положений с вычисленными значениями по двум численным теориям движения Фебы (Jacobson, 1996; Emelyanov, 2007) с использованием эфемериды Сатурна DE405, невязки в прямом восхождении $(O-C)_{\alpha} \cos \delta$ и склонении $(O-C)_{\delta}$ представлены на рис. 9–10. Среднеквадратическая ошибка невязок $(O-C)$, вычисленных по обеим теориям, $0''.3$. В распределении невязок по склонению $(O-C)_{\delta}$ присутствует линейный сдвиг $\sim 0''.2$, что, вероятно, связано с ошибками использованного каталога.

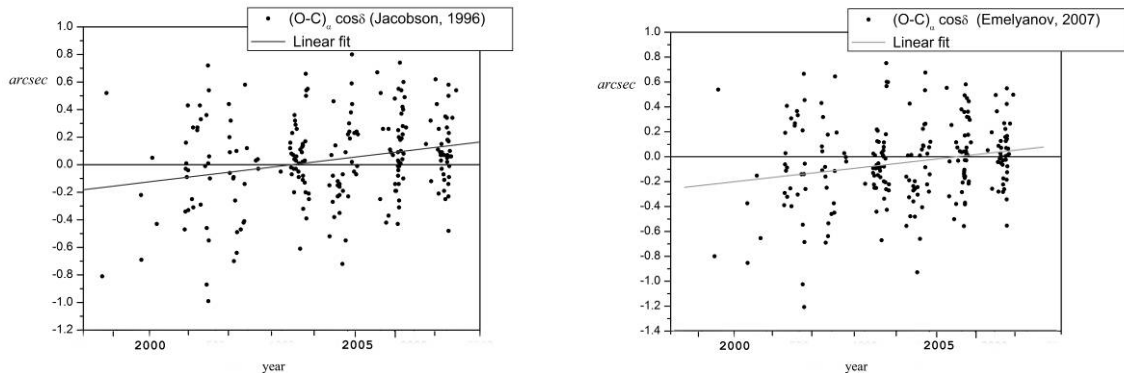


Рис. 9. Невязки в прямом восхождении Фебы.

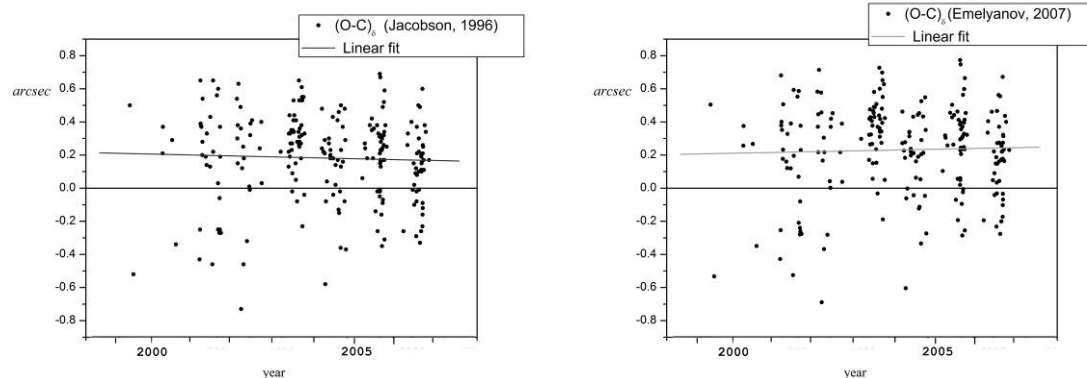


Рис. 10. Невязки в склонении Фебы.

6. Заключение

В 2007–2008 на зеркальном астрографе ЗА-320 Пулковской обсерватории было получено около 250 фотометрических наблюдений Фебы в интегральной полосе телескопа и в фильтрах BVR системы Джонсона с экспозициями 120^s и 180^s . Результаты дифференциальной фотометрии на коротких интервалах времени 2–8 часов, полученные в течение 10 наблюдательных ночей, не противоречат регулярному характеру быстрого вращения Фебы с периодом в 0.4 суток.

Проведена обработка астрометрических наблюдений Фебы 1999–2008 гг. и сравнение их с двумя численными теориями движения Фебы. Полученные невязки имеют среднеквадратическую ошибку $0''.3$. В распределении невязок по склонению $(O-C)_{\delta}$ присутствует линейный сдвиг $\sim 0''.2$, обусловленный, вероятно, ошибками каталога. По данным плотного ряда наблюдений 2008-03-24 получено среднее значение цветового индекса (в инструментальной системе) Фебы $\langle R - V \rangle = 1.6$.

Авторы выражают благодарность О. Кракосевичу и С. Павловскому за помощь в проведении наблюдений.

Литература

- Голдрайх П., Пил С. Динамика вращения планет // Приливы и резонансы в Солнечной системе / Ред. В.Н. Жарков. М.: Мир. 1975. С. 130–167.
- Голдрайх П., Сотер С., 1975, “Q в Солнечной системе”, в сб. «Приливы и резонансы в Солнечной системе», М.: Мир, 248–272.
- Девяткин А.В., Алешкина Е.Ю., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Бехтева А.С., Батурина Г.Д., Ибрагимов Ф.М., Верещагина И.А., Кракосевич О.В., Баршев К.В. Астрометрические наблюдения спутников Юпитера и Сатурна, полученные на зеркальном астрографе ЗА-320 в 2004-2006 гг. // Изв. ГАО, 2006, N 218, с.194-214.
- Девяткин А.В., Алешкина Е.Ю., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Бехтева А.С., Батурина Г.Д., Ибрагимов Ф.М., Верещагина И.А., Кракосевич О.В., Баршев К.В. Астрометрические наблюдения спутников Сатурна, полученные на зеркальном астрографе ЗА-320 в 2006-2008 гг. // Изв. ГАО, 2009, N 219.
- Девяткин А.В., Алешкина Е.Ю., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Бехтева А.С., Батурина Г.Д., Сидоров М.Ю. Астрометрические наблюдения спутников Юпитера и Сатурна, полученные на зеркальном астрографе ЗА-320 в 1999-2004 гг. // Изв. ГАО, 2004, N 217, с.194-214.
- Девяткин А.В., Грищук А.Н., Горшанов Д.Л., Корнилов Э.В. АПЕКС — программная система для обработки ПЗС-изображений в астрономии // Изв. ГАО, 2000, №214, с.455–468.
- Девяткин А.В., Канаев И.И., Кулиш А.П., Рафальский В.Б., Шумахер А.В., Куприянов В.В., Бехтева А.С. Автоматизация астрономических наблюдений на зеркальном астрографе ЗА-320. II. // Изв. ГАО, 2004, №217.
- Канаев И.И., Девяткин А.В., Кулиш А.П., Рафальский В.Б., Виноградов В.С., Куприянов В.В., Корнилов Э.В. Автоматизация астрономических наблюдений на зеркальном астрографе ЗА-320 // Изв. ГАО, 2002, №216, с.128-156.
- Хаббард У., Внутреннее строение планет, М.: Мир, 1987, с.105, с.99.
- Bauer J.M. et al., Recovering the Rotational Light Curve of Phoebe, 2004, *Astrophys. J.*, 610, 1, pp. L57-L60.
- Dobrovolskis A.R., 1995, Chaotic rotation of Nereid?, *Icarus*, 118, 181-198.
- Emelyanov N. V., 2007, Updated ephemeris of Phoebe, ninth satellite of Saturn, *A&A* 473, 343-346.
- Jacobson R.A., 1996. Update of the Ephemeris for Phoebe. JPL Interoffice Memorandum 312.1-96-024 (JPL internal document).
- Jacobson, R. A. et al., 2005, The gravity field of the Saturnian system and the orbits of the major Saturnian satellites, *BAAS* 37, 729.
- Jacobson, R.A., 2006, SAT252 - JPL satellite ephemeris
- Kouprianov V.V., Shevchenko I.I. Rotational dynamics of planetary satellites: a survey of regular and chaotic behavior, *Icarus*, 2005, 176, p. 224-234.
- Morrison D. et al., 1984, Satellites of Saturn: Geological Perspective, in “Saturn” (T. Gehrels and M. S. Matthews Eds.), Univ. of Arizona Press, Tucson, p. 609-639.
- Peale S.J. Rotation histories of the natural satellites // *Planetary satellites* / Ed. Burns J.A.: Univ. Arizona Press, Tucson, 1977, p. 87-112.
- Seidelmann P.K.(chair) et al., Report of the IAU / IAG Working Group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites: 2000, *Cel. Mech.*, 2002, 82(1), 83-111.
- Simonelli D.P. et al., Phoebe: Albedo Map and Photometric Properties, 1999, *Icarus*, 138, 249-258.
- Zharkov, V.N., Trubitsyn, V.P., 1978, *Physics of Planetary Interiors*, Pachart Publishing House, Arizona.

ASTROMETRIC AND PHOTOMETRIC OBSERVATIONS OF PHOEBE (S9) IN 2007-2008

Aleshkina E.Yu, Devyatkin A.V., Gorshanov D.L.

Summary

Results of astrometric and photometric CCD observations of Phoebe, 9th satellite of Saturn (visual magnitude of about 16.5) with an 0.32-meter mirror astrograph ZA-320M at Pulkovo observatoryшт 2007-2008 are presented. Photometric observations are performed both in the integral band of the telescope and in bands *BVR* of Johnson system. Reference catalogues USNO-A2.0 (for *R*-filter and integral observations) and Ticho-2 (for *V* and *B* filters) were used. Rotational light-curve data for Phoebe taken over short time span (2 - 8 hours) for several nights are presented. The accuracy of photometric measurements in arbitrary part of the sky is about 0.1^m and the accuracy of estimation of brightness changes with the same reference stars is about $0.05^m - 0.07^m$. Reference catalogue UCAC-2 for astrometric reduction were used. The positions of Phoebe are topocentric J2000. A comparison of all our astrometric observations 1999–2008 to numerical ephemerides (*Jacobson R.A.*, 1996; *Emelyanov N.V.*, 2007) was carried out. Standard error of astrometric observations is $0''.3$.

ПРИНЦИПЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ АСТРОНОМИИ*

Антонов В.А.¹, Кондратьев Б.П.²

¹Главная астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

Изучается проблема смыкания микромира с макромиром и предлагается нелинейная теория квантовой механики. Впервые построена нелинейная модель уравнения Шредингера, обеспечивающая расцепление со временем первоначально «зацепленных» квантовых подсистем. Дан анализ нелинейных эффектов, накладывающихся на эволюцию волновой функции в промежуточной зоне. Установлено, что уравнения нелинейной квантовой механики не являются лоренц-инвариантными, так как описывают необратимый процесс. Уточняется трактовка принципа дополнительности Бора. Теория допускает передачу сигнала со сверхсветовой скоростью, однако принцип причинности не нарушается. Предсказано существование во Вселенной фона из неизвестных элементарных частиц, обуславливающих нелинейность уравнения Шредингера. Намечена связь с кругом идей Н.А. Козырева. Особое внимание уделено астрономическим приложениям.

1. Введение

Астрономам и физикам хорошо известно, что Космос представляет собой грандиозный полигон для изучения свойств материи в необычных состояниях, трудно или вообще пока не достижимых в земных условиях. (Впрочем, это мнение землян, а с Вселенской точки зрения как раз земные условия редки и нетипичны.) При этом надо понимать, что распространение знаний о каком-то физическом процессе или явлении с ограниченных земных условий на более общие, космические, никогда не бывает легким делом, а, напротив, проходит через всякие недоразумения, ошибки и разочарования, пока в данной области не устанавливается правильный способ рассуждений. В самом деле, если бы действия и помыслы человечества были ограничены привычным земным мирком, закон тяготения так и остался бы законом постоянного ускорения падающих тел, как его сформулировал Галилей, разве только с небольшими поправками применительно к переносу часов с маятником с севера на юг и обратно. Однако же понадобилось прозрение Ньютона, чтобы заявить и обосновать общий закон тяготения, господствующий во Вселенной, и это дало начало целой большой науке – небесной механике, задачи и методы которой значительно шире и глубже, чем можно себе представить, глядя на одни лишь земные предметы. Напомним и то, как в XIX веке необоснованное распространение законов термодинамики на масштабы всей Вселенной привело к тупику, известному как «тепловая смерть Вселенной». Актуален круг вопросов, связанных с плазмой: ее космические проявления по разнообразию встречающихся волновых и турбулентных движений, равно как и по диапазону значений фигурирующих параметров, определенно оставляют позади то, что удастся создать и наблюдать в лабораторных условиях [1]. Обратим ещё внимание на теорию переноса излучения в рассеивающих средах, которая развивалась именно как обслуживающая астрофизические приложения [2].

Есть основания полагать, что и в квантовой механике не может пройти так уж гладко переход от экспериментов в лаборатории к той картине ближнего и дальнего космоса, которая открывается астроному-исследователю. С принципиальной точки зрения наиболее загадочной в квантово-механической картине Вселенной является зона

* *Примечание редколлегии:* статья публикуется в дискуссионном порядке

между микромиром и макромиром, зона, являющаяся ареной для процессов нелинейной эволюции волновых функций. Эту среднюю зону полностью игнорировали апологеты копенгагенской интерпретации квантовой механики. Как на нее смотрел Бор? В [3], в конце гл. 2 говорится: «... Бор не пытался перебросить мост через пропасть между классической и квантовой физикой, а с самого начала своей деятельности искал такую схему квантовых концепций, которая по эту сторону пропасти могла бы образовать систему, столь же целостную, как и система классических понятий по ту сторону пропасти». Сказано четко и ясно! И нобелевский лауреат С. Вайнберг ([4], с. 61) в словах «Суть копенгагенской интерпретации состоит в резком отделении самой квантовой системы от тех приборов, которые используются для измерения её конфигурации» также подчеркивает отсутствие последовательного применения линейной квантовой механики к теории измерений. На этот конфуз квантовой теории в 1935 г. обратил внимание и Шредингер, сформулировав его как известный парадокс живой и мертвой кошки.

Итак, ключевое слово – «пропасть». Или, может быть, что также похоже, это окошечко для разных передач заключенным? Так или иначе, физиков в эпоху становления квантовой механики подобная разобщенность между микро- и макромиром не тревожила. Но вряд ли такое положение может удовлетворить исследователей сейчас, когда широко развилась макрофизика квантовых явлений (см., например, [5]) и само представление об опыте со времен Бора сильно изменилось. Вместо однократного эксперимента, когда прибор устанавливается, запускается и результат фиксируется только однажды, все более распространяется непрерывное наблюдение за квантовым объектом, подчас за одной единственной частицей [6].

Подчеркнём, что с астрономической же точки зрения вообще нет разделения на объект – субъект в том смысле, как это понимали Бор, Гейзенберг и другие основатели квантовой механики. Вселенная прекрасно может обойтись и без человека-наблюдателя, да и наблюдение зачастую отделено миллионами и миллиардами лет от самого физического процесса, как это имеет место в случае приёма излучения отдаленных галактик. К тому же в астрономии не проходит обычная ссылка физиков-позитивистов на неконтролируемое воздействие макроприбора на объект наблюдения: далековато до звезд, и не исключено, что наблюдаемая сейчас конкретная звезда или галактика на самом деле давно уже и не существуют. Тем более это верно в отношении Вселенной, которую в целом никто не наблюдает и которая существовала задолго до появления земных жителей.

Тем самым убедительно выясняется, что между микромиром и макромиром нет ни пропасти, ни стены. В настоящее время в физике назрела (см. [7]) насущная потребность «перебросить мост» между макро- и микромиром, представив закономерности по обе стороны как единое целое. Но выясняется, что уловить и понять основные закономерности в промежуточной зоне между макромиром и микромиром – чрезвычайно сложная задача. С одной стороны, внутри самой квантовой механики очень высока точность согласования *расчётов* с измерениями на уровне атомов и молекул (но только для сравнительно простых систем; для сложных же молекул точность расчетов невысока [8]). С другой стороны, для процессов в макромире, особенно чисто механической природы, благодаря усилиям выдающихся учёных прошлого также выявлены ведущие уравнения, которые с хорошей точностью, с привлечением феноменологических констант, описывают реальность самого *макромира*. Посередине же, между микромиром и макромиром простирается область, пока почти не поддающаяся изучению. Хотя, конечно, и на неё обращают внимание в последние десятилетия, но лишь с точки зрения примитивного эмпиризма (создание кластеров, наноструктур), но точность и надёжность расчётов здесь очень часто весьма далеки от практических потребностей, а единой теоретической концепции пока не существует.

По нашему мнению, ключ к созданию теории мезомира – в описании нелинейности протекающих там процессов. Первый вариант нелинейной квантовой механики был создан в [7]. В этой работе мы излагаем краткие соображения, основанные на предложенной точке зрения.

2. Независимость взаимно изолированных процессов

Относительно того, как ведет себя волновая функция квантовой системы, разделенной на две или более взаимно изолированные подсистемы, сомнений, видимо, не возникает: полная волновая функция ψ системы в целом должна представляться произведением волновых функций $\psi_1 \dots \psi_n$ отдельных подсистем. В противном случае, так или иначе, обнаружится какое-то взаимовлияние даже в отсутствие объединяющих сил в обычном смысле слова. Мы отвлекаемся от необходимой симметризации по параметрам тождественных частиц, вряд ли меняющей суть дела.

С точки зрения формального удобства выкладок упомянутая мультипликативная структура (ψ_j – функции разных координат X_j)

$$\psi = \psi_1 \dots \psi_n \quad (1)$$

представляет очевидное преимущество в виде разделения переменных. Но возникает другой вопрос, уже натурфилософского порядка. Если, как мы подчеркивали во Введении, рассматривать эволюцию Вселенной как непрерывную последовательность состояний, без искусственного деления на пары опыт – наблюдение, то мы вправе спросить, как условие (1) достигается? Иначе говоря, как стираются следы взаимодействия, если таковое было в прошлом? Вопрос вызывает в памяти проблему соотношения между, с одной стороны, взаимосвязью и взаимообусловленностью всего в мире и, с другой стороны, существованием в мире относительно самостоятельных вещей. С подобным диалектическим противоречием столкнулся в свое время Кант и ранее, по-видимому, еще Эмпедокл.

На этот вопрос *линейная* квантовая механика не в состоянии дать нужный ответ. Действительно, если мы выключим взаимодействие, точнее, отбросим соответствующий член в гамильтониане, то произведение типа (1) никак не может при эволюции согласно *линейному уравнению Шредингера* превратиться, например, в суперпозицию двух не пропорциональных друг другу произведений, равно как и обратно.

Итак, необходима нелинейность. Простейшее, казалось бы, решение – это искусственно заставить стремиться волновую функцию к мультипликативной форме, что, в несколько упрощенном варианте выглядит как задание уравнения

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = -c(\psi - \psi_1 \psi_2 \dots \psi_n), \quad c > 0. \quad (2)$$

Примерно такая идея, действительно, встречается время от времени [9]. Но ее простота иллюзорна. Заметим, что уравнение (2) и ему аналогичные «псевдолинейны»: нелинейность в них проникает через определение подходящих множителей $\psi_1, \psi_2 \dots \psi_n$ по заданной полной ψ посредством, например, соотношений

$$\psi_j = \frac{\int \dots \int \psi \prod_{v \neq j} (\psi_v^* dX_v)}{\prod_{v \neq j} \int |\psi_v|^2 dX_v}, \quad (3)$$

где, как и далее, звездочка означает комплексное сопряжение, а интегрирование проводится по всем значениям X_v . Определение n функций ψ_j согласно (3), однако, выглядит сложным, неявным, и его корректность в общем случае сомнительна. Физически это легко было предвидеть. Например, если в начальный момент

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_1 \dots \psi_n + \tilde{\psi}_1 \dots \tilde{\psi}_n), \quad (4)$$

где функции ψ_j и $\tilde{\psi}_j$ различны, ортогональны друг другу, притом одинаково нормированы, то брать ли в качестве первого приближения для представления (1) набор ψ_j или $\tilde{\psi}_j$? Или, может быть, аппроксимировать правую часть (4) произведением с осреднен-

ным множителем $\frac{\psi_j + \tilde{\psi}_j}{\sqrt{2}}$, по крайней мере, для вещественных функций? Таким обра-

зом, можно надеяться в лучшем случае на использование (2) применительно к избранным конкретным ситуациям, заранее, в сущности, предполагая из эмпирических соображений то, что требовалось бы вывести из общих принципов. *В точном естествознании, и астрофизических проблемах в частности, подобный метод ad hoc решения задач совершенно неприемлем.*

Предметом более тонкого вопроса является именно *необратимость*. Мы уже упоминали, что она необходима для эволюции от функций ψ общего вида к функциям подкласса мультипликативных. Но в (2) она подана уж слишком грубо, нарочито, и не мешало бы задуматься, почему по отношению к ряду параметров эксперимент не обнаруживает систематического дрейфа, который напрашивается при взгляде на уравнение (2).

Выраженные несколько более точным языком, эти «эстетические» соображения означают, что надо предусмотреть а) отсутствие, по возможности, побочных эффектов; б) автоматическое установление функций $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n$, не известных заранее.

3. Постановка задачи и лагранжиан

Довольно естественно эти условия наводят на мысль использовать какие-то подобия коэффициентов корреляции, но в терминах волновых функций [7], а не вероятностей, и ввести специальные управляющие параметры, обнаруживающие себя именно в связи с этими корреляциями. Кроме того, основа уравнений, хотя и нелинейных, должна оставаться *обратимой*; необратимости мы отведем достаточно узкую «точку приложения». Для получения же обратимых уравнений эволюции существует испытанный прием задания варьируемого функционала, что, как известно [10], связано с выделением пар канонических переменных. У нас ниже таковыми служат ψ и ψ^* (звездочка – знак комплексного сопряжения). Подчеркнем, кстати, их вторичный характер, то есть отсутствие прямой связи с классическими q и p . Кроме того, вводится пара управляющих переменных λ и λ^* .

Ограничимся простейшим вариантом с разделением системы на две подсистемы, каждая из которых может находиться только в двух независимых состояниях, причем предполагается, что энергетическая связь между подсистемами уже исчезла. Тогда ψ представляется набором четырех комплексных величин $\psi_{11}, \psi_{12}, \psi_{21}, \psi_{22}$, зависящих только от t . Два индекса нужны, чтобы отмечать состояния с номером 1 или 2 сначала первой, затем второй подсистемы.

Вышеприведенные соображения в совокупности подсказывают и вид лагранжиана. Именно, варьируется следующий интеграл:

$$\begin{aligned}
 L = i\hbar \int & \left(\psi_{11} \frac{\partial \psi_{11}^*}{\partial t} + \psi_{12} \frac{\partial \psi_{12}^*}{\partial t} + \psi_{21} \frac{\partial \psi_{21}^*}{\partial t} + \psi_{22} \frac{\partial \psi_{22}^*}{\partial t} \right) dt + \\
 & + \int \left[(\varepsilon_1 + \mu_1) |\psi_{11}|^2 + (\varepsilon_1 + \mu_2) |\psi_{12}|^2 + (\varepsilon_2 + \mu_1) |\psi_{21}|^2 + (\varepsilon_2 + \mu_2) |\psi_{22}|^2 \right] dt + \\
 & + \int \left[\lambda^* (\psi_{11} \psi_{22} - \psi_{12} \psi_{21}) + \lambda (\psi_{11}^* \psi_{22}^* - \psi_{12}^* \psi_{21}^*) \right] dt + \\
 & + \frac{i\rho}{2} \int \left(\lambda \frac{d\lambda^*}{dt} - \lambda^* \frac{d\lambda}{dt} \right) (|\psi_{11}|^2 + |\psi_{12}|^2 + |\psi_{21}|^2 + |\psi_{22}|^2) dt.
 \end{aligned} \tag{5}$$

В (5) вещественные параметры $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ отмечают уровни энергии первого и второго состояния первой подсистемы, а μ_1, μ_2 – то же для второй подсистемы. Кроме того, введено управляющее воздействие $\lambda(t)$, которое и создает *нелинейность*. Последний член в (5) построен как аналог кинетической энергии для управления $\lambda(t)$, причем второй сомножитель под знаком интеграла нужен для соблюдения однородности получаемых уравнений по совокупности ψ_{jk} и ψ_{jk}^* , иначе нам грозят осложнения с поддержанием нормировки волновой функции. При этом ρ – положительная постоянная. Для выкладок вводим следующие сокращения: суммарная энергия

$$\theta = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \mu_1 + \mu_2, \tag{6}$$

нормировочная сумма

$$\Phi = |\psi_{11}|^2 + |\psi_{12}|^2 + |\psi_{21}|^2 + |\psi_{22}|^2 \tag{7}$$

и мера зацепленности (корреляции) состояний

$$\tau = \psi_{11} \psi_{22} - \psi_{12} \psi_{21}. \tag{8}$$

4. Нелинейное уравнение эволюции

Используем обычные правила вариационного исчисления, считая основными переменными λ, λ^* и компоненты ψ_{jk}, ψ_{jk}^* . Отделяя затем друг от друга соотношения для производных от всех этих переменных, после некоторых выкладок с использованием сокращений (6)-(8), получаем уравнения эволюции для компонент волновой функции:

$$\begin{aligned}
 i\hbar \frac{d\psi_{11}}{dt} &= (\varepsilon_1 + \mu_1) \psi_{11} + \lambda \psi_{22}^* - \frac{\lambda^* \tau + \lambda \tau^*}{2\Phi} \psi_{11} \\
 i\hbar \frac{d\psi_{12}}{dt} &= (\varepsilon_1 + \mu_2) \psi_{12} - \lambda \psi_{21}^* - \frac{\lambda^* \tau + \lambda \tau^*}{2\Phi} \psi_{12} \\
 i\hbar \frac{d\psi_{21}}{dt} &= (\varepsilon_2 + \mu_1) \psi_{21} - \lambda \psi_{21}^* - \frac{\lambda^* \tau + \lambda \tau^*}{2\Phi} \psi_{21} \\
 i\hbar \frac{d\psi_{22}}{dt} &= (\varepsilon_2 + \mu_2) \psi_{22} + \lambda \psi_{11}^* - \frac{\lambda^* \tau + \lambda \tau^*}{2\Phi} \psi_{22},
 \end{aligned} \tag{9}$$

причем попутно оказывается

$$i\hbar \frac{d\Phi}{dt} = 2(\lambda\tau^* - \lambda^*\tau), \quad (10)$$

а для эволюции λ находим уравнение:

$$i\rho \frac{d\lambda}{dt} = \frac{1}{\Phi} \left[\tau + \frac{\rho\lambda}{\hbar} (\lambda^*\tau - \lambda\tau^*) \right]. \quad (11)$$

Следствием (9) также является:

$$i\hbar \frac{d\tau}{dt} = \theta\tau + \left(\Phi - \frac{|\tau|^2}{\Phi} \right) \lambda - \frac{\lambda^*\tau^2}{\Phi}. \quad (12)$$

5. Введение необратимости

Анализировать поведение решений системы (9)-(12) или укороченной системы (12) на всей вещественной оси t нет даже особой надобности – заранее ясно, что у такой системы в силу ее происхождения решения обладают свойством обратимости во времени. Для получения желаемой *необратимости* нужны какие-то искусственные задержки или сбои, разрывающие ось t на относительно самостоятельные интервалы. Одним из простейших приемов такого рассечения является *зануление* величины $\lambda(t)$ (без изменения остальных переменных) в случайно заданные моменты времени $t = t_1, t_2, \dots$, после которых процесс продолжается заново с $\lambda(t_\nu) = 0, \nu = 1, 2$. Зануление управляющего параметра $\lambda(t)$ в моменты t_1, t_2, \dots происходит в результате взаимодействия квантового объекта с внешним миром, причем это взаимодействие может быть как дискретным, так и непрерывным. Механизм такого взаимодействия аналогичен известному явлению в молекулярной физике газов, где внешним элементом для пробной молекулы становится любая встречная молекула. В рассматриваемом случае, как и в теории газов, указанные случайные взаимодействия приводят в итоге к уничтожению корреляции τ между характеристиками квантового объекта (или между исходным и итоговым состоянием молекулы).

Рассмотрим случай достаточно частых актов зануления, между которыми величина λ не успевает существенно вырасти. Точнее, ниже предполагаем достаточно хорошую представимость основных переменных разложениями до $\sim (t - t_0)^2$ включительно. Очевидно, пока достаточно отождествить очередное t_ν с 0. Значения переменных в этой точке будем отмечать индексом "0" внизу. Из (11) следует, прежде всего,

$$\lambda(t) = -\frac{i\tau_0}{\rho\Phi_0} t + o(t^2) \quad (t \geq 0) \quad (13)$$

Подстановка (13) в (10) дает

$$\Phi(t) = \Phi_0 - \frac{2|\tau_0|^2}{\rho\hbar\Phi_0} t^2 + o(t^3). \quad (14)$$

В (12) удобней вначале перейти к видоизмененной функции

$$\hat{\tau}(t) = \tau(t) e^{\frac{i\theta t}{\hbar}},$$

для которой

$$i\hbar \frac{d\hat{\tau}}{dt} = e^{\frac{i\theta t}{\hbar}} \left[\left(\Phi - \frac{|\tau|^2}{\Phi} \right) \lambda - \frac{\lambda^* \tau^2}{\Phi} \right] = -\frac{i\tau_0}{\rho} t + o(t^2),$$

так что

$$i\hbar \hat{\tau} = i\hbar \tau_0 - \frac{i\tau_0}{2\rho} t^2 + o(t^3). \quad (15)$$

Перейдя в (15) к модулям, находим:

$$|\tau(t)| = |\tilde{\tau}(t)| = |\tau_0| \left(1 - \frac{t^2}{2\hbar\rho} + o(t^3) \right) \quad (16)$$

Поскольку в силу (10) или (14) нормировка в процессе эволюции меняется, следует пользоваться относительной мерой зацепленности

$$\xi = \frac{\tau}{\Phi}, \quad (17)$$

принадлежащей, как показано ниже, отрезку $\left[-\frac{1}{2}, +\frac{1}{2} \right]$. Для нее из (14) и (16) получаем с точностью до отбрасываемых членов порядка t^3 :

$$|\xi(t)| = |\xi(0)| \left[1 + \left(\frac{4|\tau_0|^2}{\Phi_0^2} - 1 \right) \frac{t^2}{2\hbar\rho} \right] + \dots \quad (18)$$

Оценим, в какую сторону выражение в квадратных скобках в (18) отклоняется от 1. Элементарно сравниваем средние геометрические и средние арифметические:

$$\begin{aligned} |\psi_{11}| \cdot |\psi_{22}| &\leq \frac{1}{2} (|\psi_{11}|^2 + |\psi_{22}|^2) \\ |\psi_{12}| \cdot |\psi_{21}| &\leq (|\psi_{12}|^2 + |\psi_{21}|^2). \end{aligned}$$

В результате

$$|\tau| \leq |\psi_{11}\psi_{22}| + |\psi_{12}\psi_{21}| \leq \frac{1}{2}\Phi,$$

то есть

$$|\xi| \leq \frac{1}{2}. \quad (19)$$

Из (18) и (19) сразу следует:

$$|\xi(t)| \leq |\xi(0)| \quad (t \geq 0), \quad (20)$$

и зацепленность в нашей схеме стремится исчезнуть. Точнее, она стремится шаг за шагом к нулю, кроме, по-видимому, малоинтересного случая, когда (20) превращается в точное равенство, что имеет место в случае матричного тождества

$$\begin{pmatrix} \psi_{11} & \psi_{12} \\ \psi_{21} & \psi_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta^* & \alpha^* \end{pmatrix}.$$

6. Эволюция всей системы

Постараемся рассмотреть теперь эволюцию системы в целом. Сначала ограничимся случаем, когда зануление λ происходит регулярно через равные малые промежутки времени l . Предварительно удобней перейти к переменным

$$\varphi_{jk} = e^{i\chi - \frac{i(\varepsilon_j + \mu_k)t}{\hbar}} \psi_{jk}, \Lambda = \lambda e^{i\chi - \frac{i\theta t}{\hbar}}, \hat{\tau} = \tau e^{i\chi - \frac{i\theta t}{\hbar}} \quad (21)$$

(постоянную χ подберем позже).

Для них, как легко проверить, система (9) упрощается за счет исчезновения первых членов правых частей:

$$\begin{aligned} i\hbar \frac{d\varphi_{11}}{dt} &= \Lambda \varphi_{22}^* - q\varphi_{11}, & i\hbar \frac{d\varphi_{12}}{dt} &= -\Lambda \varphi_{21}^* - q\varphi_{12}; \\ i\hbar \frac{d\varphi_{21}}{dt} &= -\Lambda \varphi_{12}^* - q\varphi_{21}, & i\hbar \frac{d\varphi_{22}}{dt} &= \Lambda \varphi_{11}^* - q\varphi_{22}; \end{aligned} \quad (22)$$

$$q = \frac{\Lambda^* \hat{\tau} + \Lambda \hat{\tau}^*}{2\Phi}.$$

причем формально сохраняется определение меры корреляции состояний, см. также (8),

$$\hat{\tau} = \varphi_{11}\varphi_{22} - \varphi_{12}\varphi_{21} \quad (23)$$

и нормировочной суммы

$$\Phi = |\varphi_{11}|^2 + |\varphi_{12}|^2 + |\varphi_{21}|^2 + |\varphi_{22}|^2. \quad (24)$$

Для $\Lambda(t)$ и $\hat{\tau}(t)$ в том же приближении сохраняют силу формулы (13) и (15), именно:

$$\Lambda(t) = -\frac{i\hat{\tau}_0}{\rho\Phi_0}t + \dots \quad (25)$$

Формулу (15) записываем через приращение:

$$\Delta\hat{\tau} = -\frac{\hat{\tau}_0}{2\hbar\rho}t^2 \quad (26)$$

с точностью до $o(t^3)$. Из (22) аналогично получаем после интегрирования с учетом $q = 0$ в нашем приближении:

$$\Delta\varphi_{11} = -\frac{\hat{\tau}_0}{2\rho\hbar\Phi_0}\varphi_{22}^*t^2, \Delta\varphi_{12} = \frac{\hat{\tau}_0}{2\rho\hbar\Phi_0}\varphi_{21}^*t^2, \Delta\varphi_{21} = \frac{\hat{\tau}_0}{2\rho\hbar\Phi_0}\varphi_{12}^*t^2, \Delta\varphi_{22} = -\frac{\hat{\tau}_0}{2\rho\hbar\Phi_0}\varphi_{11}^*t^2. \quad (27)$$

и как следствие

$$\Delta\Phi = -\frac{2|\hat{\tau}_0|^2}{\rho\hbar\Phi_0}t^2. \quad (28)$$

Но при большом числе следующих друг за другом малых приращений на интервалах $(0, l), (l, 2l), (l, 3l)...$ мы имеем право сгладить процесс, заменив сложение приращений интегральной операцией. Такой переход *от дискретного к непрерывному* и обратно типичен для многих задач математической физики [11]. Из (26)-(28) выводим дифференциальные уравнения:

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi_{11}}{dt} &= -\frac{\hat{\tau}l}{2\rho\hbar\Phi}\varphi_{22}^*, \quad \frac{d\varphi_{12}}{dt} = \frac{\hat{\tau}l}{2\rho\hbar\Phi}\varphi_{21}^*, \\ \frac{d\varphi_{21}}{dt} &= \frac{\hat{\tau}l}{2\rho\hbar\Phi}\varphi_{12}^*, \quad \frac{d\varphi_{22}}{dt} = -\frac{\hat{\tau}l}{2\rho\hbar\Phi}\varphi_{11}^* \end{aligned} \quad (29)$$

$$\frac{d\hat{\tau}}{dt} = -\frac{\hat{\tau}l}{2\rho\hbar}, \quad \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{2|\hat{\tau}|^2 l}{\rho\hbar\Phi}, \quad (30)$$

причем сохранение условий связи (23) и (24) легко проверяется.

На данном этапе мы выбираем в (21) параметр χ так, чтобы величина $\hat{\tau}_0$ оказалась вещественной и положительной. Тогда в силу первого уравнения (30) положительность $\hat{\tau}(t)$ сохраняется и при $t > 0$ (и величина будет меняться по убывающей экспоненте).

Введем теперь вспомогательный аргумент

$$z = \frac{l}{2\rho\hbar} \int_0^t \frac{\hat{\tau}}{\Phi} dt, \quad (31)$$

с которым система уравнений (29) становится линейной (с учетом комплексно сопряженных уравнений):

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi_{11}}{dz} &= -\varphi_{22}^*, \quad \frac{d\varphi_{12}}{dz} = \varphi_{21}^*, \quad \frac{d\varphi_{21}}{dz} = \varphi_{12}^*, \quad \frac{d\varphi_{22}}{dz} = -\varphi_{11}^* \\ \frac{d\varphi_{11}^*}{dz} &= -\varphi_{22}, \quad \frac{d\varphi_{12}^*}{dz} = \varphi_{21}, \quad \frac{d\varphi_{21}^*}{dz} = \varphi_{12}, \quad \frac{d\varphi_{22}^*}{dz} = -\varphi_{11}. \end{aligned} \quad (32)$$

Общим решением системы (32) является

$$\begin{aligned} \varphi_{11} &= Ae^z + ae^{-z}, \quad \varphi_{12} = Be^z + be^{-z} \\ \varphi_{21} &= B^*e^z - b^*e^{-z}, \quad \varphi_{22} = -A^*e^z + a^*e^{-z} \end{aligned} \quad (33)$$

с произвольными комплексными постоянными A, B, a, b . Соответственно, из (23) и (24) следует:

$$\hat{\tau} = -\left(|A|^2 + |B|^2\right)e^{2z} + \left(|a|^2 + |b|^2\right)e^{-2z} + Aa^* - aA^* + Bb^* - bB^* \quad (34)$$

и

$$\Phi = 2\left(|A|^2 + |B|^2\right)e^{2z} + 2\left(|a|^2 + |b|^2\right)e^{-2z}. \quad (35)$$

Наконец, t выражается через общий аргумент z , если представить (31) в дифференциальной форме:

$$\frac{dt}{dz} = \frac{2\rho\hbar}{l} \frac{\Phi}{\tau} \quad (36)$$

Интегрирование (36) по z ведет к

$$t = \sigma - \frac{2\rho\hbar}{l} \ln \hat{\tau} \quad (\sigma = \text{const.}), \quad (37)$$

что, для проверки, легко согласовать с первым уравнением (30).

Предельное значение $\hat{\tau}$, как мы уже убедились, равно 0. Приравнивание правой части (34) нулю приводит к квадратному уравнению относительно $\eta = e^{2z}$ (кроме возможности $A = B = 0$, приводящей к уже упоминавшемуся исключительному случаю). У этого уравнения всегда два вещественных корня разных знаков, нам, ввиду $\hat{\tau} > 0$ в (31), подходит только положительный корень. После его подстановки в (35) элементарные выкладки дают финальное значение, отмечаемое индексом e .

$$\Phi_e = 2\sqrt{(Aa^* - aA^* + Bb^* - bB^*)^2 + 4(|A|^2 + |B|^2)(|a|^2 + |b|^2)}. \quad (38)$$

Для физических целей представляет интерес значение суммы квадратов только двух модулей, также отнесенное к финальному состоянию. Именно, согласно (33),

$$\left\{ |\psi_{11}|^2 + |\psi_{12}|^2 \right\}_e = Aa^* + A^*a + Bb^* + B^*b + \frac{1}{2}\Phi_e. \quad (39)$$

Тогда левая часть (39), после деления на Φ_e , обычно трактуется как «вероятность» пребывания первой подсистемы в состоянии 1.

Параметры A, B, a, b не совсем удобны, и разумно перейти от них согласно (33) в случае $z = 0, t = 0$ к исходным φ_{jk} , а дальше к ψ_{jk} . Тогда

$$A = \frac{\varphi_{11} - \varphi_{22}^*}{2}, B = \frac{\varphi_{12} + \varphi_{21}^*}{2}, a = \frac{\varphi_{11} + \varphi_{22}^*}{2}, b = \frac{\varphi_{12} - \varphi_{21}^*}{2}, \quad (40)$$

после чего выражение в левой части (39), обозначаемое нами далее как L_1 и аналогично определенные другие суммы квадратов модулей раскрываются в виде

$$\begin{aligned} L_1 &\equiv \left\{ |\psi_{11}|^2 + |\psi_{12}|^2 \right\}_e = \left\{ \frac{1}{2}\Phi_e + \frac{1}{2} \left(|\psi_{11}|^2 + |\psi_{12}|^2 - |\psi_{21}|^2 - |\psi_{22}|^2 \right) \right\}_0 \\ L_2 &\equiv \left\{ |\psi_{21}|^2 + |\psi_{22}|^2 \right\}_e = \left\{ \frac{1}{2}\Phi_e + \frac{1}{2} \left(|\psi_{21}|^2 + |\psi_{22}|^2 - |\psi_{11}|^2 - |\psi_{12}|^2 \right) \right\}_0 \\ N_1 &\equiv \left\{ |\psi_{11}|^2 + |\psi_{21}|^2 \right\}_e = \left\{ \frac{1}{2}\Phi_e + \frac{1}{2} \left(|\psi_{11}|^2 + |\psi_{21}|^2 - |\psi_{12}|^2 - |\psi_{22}|^2 \right) \right\}_0 \\ N_2 &\equiv \left\{ |\psi_{12}|^2 + |\psi_{22}|^2 \right\}_e = \left\{ \frac{1}{2}\Phi_e + \frac{1}{2} \left(|\psi_{12}|^2 + |\psi_{22}|^2 - |\psi_{11}|^2 - |\psi_{21}|^2 \right) \right\}_0, \end{aligned} \quad (41)$$

причем

$$\Phi_e = \sqrt{\Phi_0^2 - 4|\tau_0|^2}. \quad (42)$$

Предположение о положительности τ_0 в (42) уже отброшено: в общем случае изменение χ меняет только фазу у τ и совсем не меняет $|\psi_{jk}|$. По отдельности квадраты модулей легко представить через выражение (41), если помнить, что в финальном состоянии $\psi_{11}\psi_{22} = \psi_{12}\psi_{21}$. Именно:

$$|\psi_{11}|_e^2 = \frac{L_1 N_1}{\Phi_e}, |\psi_{12}|_e^2 = \frac{L_1 N_2}{\Phi_e}, |\psi_{21}|_e^2 = \frac{L_2 N_1}{\Phi_e}, |\psi_{22}|_e^2 = \frac{N_1 N_2}{\Phi_e}. \quad (43)$$

Заметим, что при слабой зацепленности величины (43) оказываются пропорциональными их значениям при $t = 0$ с точностью до малых поправок порядка $\left(\frac{L_0}{\Phi_0}\right)^2$.

Предположение об одинаковости интервалов «работы» функции $\lambda(t)$ и их плотном прилегании друг к другу несущественно, так как в промежутках, согласно (29), значения φ_{jk} «замерзают», а далее промежуточные интервалы выбрасываются, величина же l , если она меняется, оставляется под знаком интеграла. До формулы (43) все остается неизменным.

Эволюция самих величин ψ_{jk} также получается из наших формул, но она несколько сложнее, а зависимость от t , вообще говоря, сохраняется и после выхода на финальный режим. Изучение нелинейного процесса эволюции волновой функции при наличии многих подсистем и большего числа состояний в них, по-видимому, может быть проведено аналогичным образом, но более громоздко.

7. Почему уравнения нелинейной квантовой механики не являются лоренц-инвариантными?

При обсуждении написанных выше уравнений нелинейной квантовой механики возникает вопрос о том, в каком отношении развиваемая теория находится с теорией относительности. Само линейное уравнение Шредингера не является релятивистски инвариантным, так как производная по времени $\frac{\partial \psi}{\partial t}$ у него первого порядка, но част-

ные производные по координатам типа $\frac{\partial^2 \psi}{\partial x_1^2}$ имеют второй порядок. Это неравноправие

временной и пространственной координат нарушает основное требование теории относительности, описывающей события в четырехмерном квазиевклидовом пространстве-времени. Как известно, выход из этого нашел Дирак: вместо одного уравнения второго порядка он получил четыре лоренц-инвариантных дифференциальных уравнения, которые содержат первые производные и по времени, и по координатам.

Однако наши нелинейные уравнения не допускают записи в лоренц-инвариантной форме. Дело, прежде всего в том, что описываемый здесь процесс расщепления волновых пакетов необратим во времени, и выделение временной координаты на особую роль нарушает одно из главных положений теории относительности. Напомним, что уравнение Дирака во времени обратимо.

Заслуживает внимание еще один фактор. Коллапс волновых функций происходит со сверхсветовой скоростью, и это также нарушает принципы теории относительности, если признать, что волновая функция имеет физическую реальность. Наличие сверхсветовых скоростей при коллапсе давно признается (см., например, [12]), однако с той оговоркой, что это не нарушает принцип причинности и не допускает со скоростью, превышающей c . Однако все это верно только в том случае, когда не существует при-

вилегированной системы координат. Именно это и утверждается теорией относительности, так в ней все системы отсчета переводятся одна в другую преобразованиями Лоренца. Неприменимость преобразований Лоренца в нашей теории связана и с тем, что у нас неявно подразумевается наличие привилегированной системы отсчета. Это физически допустимо, так как одна привилегированная система отсчета заведомо существует и связана с фоном реликтового излучения. Мы допускаем, поэтому, передачу сигнала со сверхсветовой скоростью. Но с нашей точки зрения, нельзя смешивать существование привилегированной системы отсчета с нарушением принципа причинности. А именно: принцип причинности у нас выполняется, и передача сверхсветового сигнала возможна только из прошлого в будущее. Это можно пояснить наличием определенной зоны «настоящее» между прошлым и будущим на световом конусе.

8. Обсуждение

Мы построили нелинейную модель уравнения Шредингера, обеспечивающую расщепление со временем первоначально «зацепленных» подсистем и нашли для простого примера их окончательное поведение после расщепления.

Важно подчеркнуть ряд принципиальных моментов. Аналогичный процесс известен и в классической физике, где его обычно называют потерей информации между двумя пространственно разобщенными явлениями под действием случайного шума [13, 14]. Но есть и различие: в классической физике это вмещается в установившиеся представления, а в квантовой переход к нелинейности (именно нелинейности уравнения Шредингера, что, конечно, надо отличать от нелинейности операторов). *Подчеркнем здесь еще раз, что при этом не всякая нелинейность подходит, а только создающая необратимость, так как необратимым должен быть сам результат расщепления.* Поэтому попытки усовершенствовать уравнение Шредингера добавкой, например, ангармонических «сил», хорошо зарекомендовавших себя в нелинейной оптике и в нелинейной теории упругости, здесь обречены на неудачу. Насколько нам известно, соответствующие выводы о результативности попыток введения такой нелинейности опровергаются экспериментом [5]. В вакууме, кстати, интерференция фотонов наблюдается ненарушенной и при космических длинах пробега [15]. У нас нелинейность носит *внешний* характер, как по форме воздействия, так и в смысле привлечения некоего дополнительного фона, чем-то похожего на фон нейтринного излучения или реликтового электромагнитного излучения, которые пронизывают Вселенную.

Существуют ли в действительности еще другой, специфический фон, все пронизывающий и обуславливающий нелинейность для уравнения Шредингера? Такой «внешний» мир уже был предположен нами в [7] в связи с несколько другой, но по всем признакам родственной задаче о кошке Шредингера. В каком отношении для нас важно упоминание о реликтовом излучении? В том, что теория относительности задает хорошо известный световой конус по отношению к заданной точке пространства-времени, различающий для нее прошлое, настоящее и будущее. А реликтовое излучение задает нечто иное и несколько более точное: гиперплоскость в четырехмерном пространстве-времени. «Большую точность» здесь надо понимать как неинвариантность по отношению к преобразованиям Лоренца.

Представленный здесь математический аппарат, как и в [7], формально не включает в себя понятий теории относительности. Но анализ этого вопроса подсказывает нечто большее: этот аппарат и несовместим с релятивистской инвариантностью. Ключевым пунктом является зануление λ , которое должно происходить в какие-то критические моменты времени. Если включить сюда зависимость от пространственных координат, получается опять-таки гиперповерхность в 4-мерном пространстве Минковского. Подчеркнем, что никаких противоречий с теорией относительности в областях

её применения у нас нет. Но учитывая специфические закономерности поведения волновых пакетов в промежуточной зоне, в пространстве Минковского следует допустить существование изоповерхности равного специфического времени, связанного с разложением волновых функций. Вряд ли при этом речь идет об исконно заданных поверхностях; скорее, их положение само определяется распределением материи, хотя бы и в пока неизвестных нам ее формах. Кстати, такие изоповерхности, играя роль материальных препятствий на пути распространения реликтового излучения, могли бы вносить свой вклад и в обнаруженную недавно анизотропию реликтового излучения.

Имеется еще и другая сторона вопроса. Построение упомянутых гиперповерхностей одновременно означает и указание «стрел времени» как 4-мерных векторов, ортогональных в смысле Минковского этим поверхностям. Такая стрела времени, меняющаяся в зависимости от космической обстановки, влияет хотя бы на некоторые *необратимые* процессы. Тем самым намечается связь с идеями Н.А. Козырева [16].

Правда, с современной точки зрения, вряд ли можно говорить о какой-то сложившейся концепции Козырева – построение согласованной модели его ученикам не удалось. Правильней выделять, по-видимому, стержневую идею неравномерного хода времени, который воплощается в течение необратимых процессов [17]. Но наряду с этим, в экспериментах Козырева есть намеки на существование пока что не уловленных частиц (иначе пришлось бы подрывать основы физики в части законов сохранения, как это было в известном историческом случае с нейтрино). В начале своих физических экспериментов Козырев вообще старался иметь дело с обратимыми классическими задачами механики. Однако его поправила логика эксперимента: опыты с такими обратимыми процессами, как вращение волчка и дрожание струны удавались плохо и неуверенно, пока в дело не вмешивалась *необратимость*, характерным проявлением которой, как отмечает сам Козырев, были громкие своеобразные звуки (а излучение звука, конечно, является необратимым процессом). Этими краткими замечаниями мы здесь ограничимся, хотя предмет заслуживает более глубокого обсуждения.

9. Астрономический смысл возможных результатов

Из проведенного выше анализа следует, что область действия *принципа дополненности* Бора, имевшего всеобъемлющее значение в умах физиков при переходе от классической механики к квантовой, сужается. Действительно, в эпоху становления квантовой механики казалось неудобным сразу отрешиться от привычных понятий координат и импульса. Сейчас, видимо, необходимо признать, что, строго говоря, в природе и нет точных аналогов этих понятий. Физическую реальность отражает лишь волновая функция. Для макроскопических тел это ни к каким противоречиям не ведет, поскольку при малой длине волны де Бройля движение волнового пакета неотличимо от движения точечной частицы. Затруднение возникает только при суперпозиции качественно различных волновых функций, как в известном парадоксе с кошкой Шредингера, а также при наступающем рано или поздно расплывании волнового пакета. Но в таких случаях необходимо постулировать существование обратного процесса в природе: *редукции или коллапса* волнового пакета. Наблюдения в астрономии показывают: этот процесс *концентрации* волнового пакета реально существует, и его механизм никак не связан с воздействием на волновую функцию прибора или наблюдателя.

Следствия получаются более или менее по догадке ввиду неразвитости теории для случая многих подсистем и состояний. Пусть одной подсистемой является источник электромагнитного излучения, а остальными – приемники (то есть все что угодно, возможно, и без разумного наблюдателя). Наш нелинейный процесс через некоторое время приводит к *самостоятельности* всех подсистем. Но так как у них и распад суперпозиции состояний должен происходить самостоятельно, то результатом будет восприятие

одного и того же объекта даже при одинаковых условиях распространения излучения. Правда, это относится к единому лазерному импульсу, потому что при тепловом механизме излучения эффект многих мелких импульсов осреднится, и останутся только небольшие флуктуации.

Сходное явление известно для лабораторных лазеров в виде так называемых авантюриновых пятен [18-20].

Литература

1. С.Б. Пикельнер. Основы космической электродинамики. М.: Физматлит. 1965.
2. В.В. Иванов. Физика переноса излучения. В сборнике (ред. В.В. Орлов, В.П. Решетников, Н.Я. Сотникова): Астрономия: традиции, настоящее, будущее. СПб, 2007.
3. М. Джеммер. Эволюция понятий квантовой механики. М.: Наука. 1985.
4. С. Вайнберг. Мечты об окончательной теории. Пер. с англ. М.: УРСС, 2004.
5. Ю.М. Ципенюк. Квантовая микро- и макрофизика. М.: Физматкнига. 2006.
6. Ф. Экстрем, Д. Вайнлэнд. УФН, 1981, 134, N 4, С. 711-730.
7. Б.П. Кондратьев, В.А. Антонов. Решение парадокса кошки Шредингера. Опыт создания нелинейной квантовой механики. Ижевск. 1994.
8. Современная квантовая химия. Пер. с англ. Т.1,2. М.: Мир, 1968.
9. В.В. Егоров. Хим. Физика, 1988, 7, С. 1466.
10. В.И. Арнольд. Математические методы классической механики. М.: Наука. 1974.
11. А.А. Власов. Статистические функции распределения. М.: Наука. 1966.
12. Б.Б. Кадоццев. Динамика и информация. УФН, 1994, 164, N 5, С.449.
13. Дж. Бендат, А. Пирсол. Применения корреляционного и спектрального анализа. М.: Мир. 1983.
14. Н.Т. Петрович, Е.Ф. Камков. Вопросы космической радиосвязи. М. 1965.
15. Д.Я. Мартынов. Курс практической астрофизики. М.: Наука. 1960.
16. Н.А. Козырев. Избранные труды. Л.: 1991.
17. А.Д. Чернин. Физика времени. М.: Наука. 1987.
18. И.В. Обреимов. ДАН СССР, 1966, 171, N 6, С. 1305.
19. Г.Б. Двойрин. Единая голографическая информационная теория Вселенной. СПб. 1997.
20. А.Б. Кравцов, Э.П. Шайторг. О роли пространственной когерентности светового потока в зрительной рецепции. В сборнике (ред. И.И. Грачев, М.И. Прохорова) Нервная система. Л., 1970, С. 143-144.

THE PRINCIPLES OF QUANTUM MECHANICS WITH POINT OF VIEW OF ASTRONOMY

Antonov V.A.¹, Kondratiev B.P.²

¹Central astronomical observatory at Pulkovo, St. Petersburg

²Udmurt State University, Izhevsk

Summary

General theoretical problems of closure of microcosm with macrocosm and new interpretation of quantum mechanics have been considered. The great attention has been paid to astronomical applications. The nonlinear model of the Schrödinger equation, which provides in due time decomposition of originally grapping wave packages, is developed. A special example of the necessary nonlinear effects, imposing on the wave function evolution according to the Schrödinger equation, has been analyzed. The theory predicts narrowing of region action for the Bor's complementarity principle, as well as existence in Cosmos of background from unknown elementary particles, which gives nonlinearity for the Schrödinger equation A connection with the range of N.A. Kozyrev ideas has been outlined.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРИЕНТАЦИИ СИСТЕМЫ ICRF/UCAC2 ОТНОСИТЕЛЬНО ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ DE200 И DE405 НА ВЕЛИЧИНЫ (O-C), ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ НАБЛЮДЕНИЙ АСТЕРОИДОВ

Бережной А.А.

В статье представлены результаты учета параметров ориентации между опорной системой ICRF/UCAC2 и динамической системой, реализованной системами численных эфемерид JPL: DE200/LE200 и DE405/LE405, на конечные разности (O-C), полученные из наблюдений астероидов на нормальном астрографе Пулковской обсерватории в период с 2005 по 2007 г. В среднем, получено некоторое улучшение значений разностей (O-C) по всем объектам, но при этом наблюдается неоднозначное влияние этой поправки на разности для отдельных объектов.

Введение

При создании каталога Hipparcos, который должен был распространить систему ICRF в видимую область спектра, особое внимание авторов было направлено на точность привязки каталога Hipparcos к системе ICRF. Возможность произвольного выбора ориентации ICRF в пространстве позволила выбрать нуль-пункт системы ICRF/Hipparcos как можно более близким к нуль-пункту прежней фундаментальной системы – FK5. Авторами каталога Hipparcos было отмечено небольшое остаточное вращение системы Hipparcos относительно ICRF [1], порядка ± 0.25 мсд/год.

Включение 48 астероидов в программу наблюдений HIPPARCOS позволили определить параметры ориентации динамической системы относительно опорной системы ICRF/Hipparcos. Исследование результатов этих наблюдений показало наличие остаточного вращения системы каталога Hipparcos относительно системы динамических эфемерид [2].

Связь с динамической системой более ранних фундаментальных каталогов серии FK устанавливалась на основе наблюдений Солнца, больших планет, а также избранных малых планет, наблюдаемых по программам, предложенным в 30-х годах прошлого века Нумеровым Б.В. [3] и Брауэром Д. [4]. Ряд преимуществ наблюдения астероидов делал их использование для определения параметров ориентации фундаментальных систем относительно динамической весьма привлекательной.

Однако, в силу ряда причин, таких как, неравномерное распределение наблюдений по орбите малых планет, низкая точность эфемерид и использование для редукции различных каталогов, получить параметры ориентации, согласующиеся с определениями другими методами, в первоначально установленные сроки оказалось невозможно [5,6]. С некоторыми изменениями наблюдательная программа избранных малых планет продолжалась до 2000 года, когда была официально закончена.

В настоящее время на основе наблюдений конца XX в. имеется возможность с высокой точностью определить параметры ориентации между системой динамических эфемерид и ICRF напрямую, как методами РСДБ, так и по результатам наблюдений тел Солнечной системы и радиоисточников в поле опорных звезд системы ICRF/UCAC2 [7]. Известно, что данные поправки изменяются со временем и для определения параметров их изменения требуются наблюдения с временной базой, охватывающей значительно больший период. В 1999 году для вывода параметров ориентации между системой ICRF/Tycho2 и динамической системой координат Батраковым Ю.В. и др. [8], помимо космических наблюдений астероидов, были привлечены также наблюдения, выполненные по плану Нумерова-Брауэра во второй половине XX века на Николаевской

астрономической обсерватории. Для перевода полученных ранее наблюдений на систему ICRF/Tycho2 был применен метод депенденсов, при этом были получены значения параметров взаимного вращения системы ICRF/Tycho2 и их скорости относительно основной в то время системы численных эфемерид DE200/LE200, созданной в Лаборатории Реактивного Движения (JPL). Знание скорости изменения со временем параметров взаимного вращения весьма важно при редукции наблюдений, выполненных на протяжении прошлого века.

В 2008 г. в работе Чернетенко Ю.А. [9], с использованием большого дополнительного объема наблюдательного материала, были определены параметры ориентации между системой ICRF/Tycho2 и системами численных эфемерид DE403/LE403 и DE405/LE405. При этом, как и ранее в работе Батракова Ю.В. и др. [8], для достижения максимально возможной точности, в схему редукции наблюдений был добавлен учет поправки за фазу астероида.

Цель представленной работы - оценка влияния поправки за вращение между системой каталога Hipparcos, реализуемой в нашем случае каталогом UCAC2, и системами численных эфемерид (DE200/LE200 и DE405/LE405) на величины разностей (O-C), получаемые при обработке наблюдений астероидов нормального астрографа Пулковской обсерватории.

Каталог UCAC2, используемый в данной работе для редукции наблюдений, построен в системе каталога Tycho-2, который в свою очередь строился в системе каталога HIPPARCOS. Системы всех трех каталогов - UCAC2, Tycho-2 и HIPPARCOS реализуют систему ICRF в оптическом диапазоне, системы перечисленных каталогов очень близки, но не полностью идентичны. Поэтому в данной работе, для более корректного обозначения системы, принято обозначение ICRF/UCAC2, означающее, что международная опорная система ICRF реализована каталогом UCAC2.

Наблюдательные данные и их обработка

В 2005 году на нормальном астрографе Пулковской обсерватории была установлена ПЗС-камера, что значительно повысило точность наблюдений и их общее количество. Несмотря на упрощенный характер обработки (без коррекции плоского поля и без введения поправки за систематические эффекты) точность ПЗС-наблюдений малых тел Солнечной системы в среднем составила 30-50 mas [10]. В представленной работе используются наблюдения трех сезонов 2005-2007 гг. Общее распределение наблюдений астероидов по небесной сфере представлено на рисунке 1.

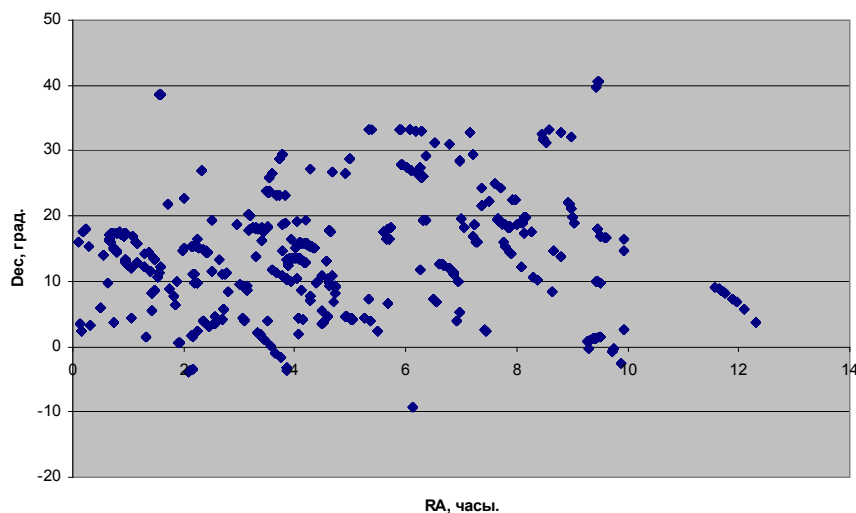


Рис. 1. Распределение наблюдений астероидов по небесной сфере за 2005-2007 гг.

Из общего числа наблюдений за каждый из сезонов для исследования были выбраны наблюдения астероидов, имеющие наиболее длинные наблюдательные ряды в этом сезоне. В 2005 году выбрано 13 объектов (астероиды №: 6, 29, 45, 65, 121, 129, 130, 283, 564, 617, 762, 816, 1062), в 2006 – 16 (2, 9, 40, 52, 53, 60, 64, 71, 111, 130, 173, 181, 185, 202, 354, 505) и в 2007 – 12 (3, 7, 11, 18, 22, 25, 39, 389, 573, 579, 704, 742). При обработке наблюдений в качестве опорного каталога использовался каталог UCAC2.

Величины (O-C) для 2005 года получены из сравнения полученных положений с эфемеридами DE200/LE200 (389 положений). Величины (O-C) для наблюдений 2006-2007 годов – их сравнений с эфемеридами DE405/LE405 (2589 положений). Для получения разностей использовалась программа эфемеридной поддержки ЭПОС [11].

Для исследования из работ [8,9] взяты параметры твердотельного вращения между двумя координатными системами, заданные углами поворота - ε_x , ε_y , ε_z , и скоростями изменения их со временем - ω_x , ω_y , ω_z . При этом изменение величин углов выражается формулами:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xt} &= \varepsilon_x + \omega_x(t - t_0) \\ \varepsilon_{yt} &= \varepsilon_y + \omega_y(t - t_0) \\ \varepsilon_{zt} &= \varepsilon_z + \omega_z(t - t_0) \end{aligned} \tag{1}$$

Были использованы три варианта наборов величин поворота представленные в таблице 1.

Таблица 1. Варианты параметров ориентации.

Варианты	Батраков и др., 1999		Чернетенко, 2008
	I	II	III
Эпоха	1991 07 01,25	1991 07 01,25	1988 10 01,00
ε_x , mas	$2,5 \pm 1,3$	$3,8 \pm 1,7$	$0,1 \pm 0,9$
ε_y , mas	$-12,7 \pm 2,2$	$-11 \pm 2,1$	$0,8 \pm 1,1$
ε_z , mas	$-1,4 \pm 3,3$	$-3,6 \pm 3,2$	$-0,8 \pm 1,7$
ω_x , mas/year	$0,4 \pm 0,3$	$0,3 \pm 0,3$	$0,12 \pm 0,08$
ω_y , mas/year	$-0,7 \pm 0,3$	$-0,6 \pm 0,3$	$0,66 \pm 0,09$
ω_z , mas/year	$-0,9 \pm 0,6$	$-0,8 \pm 0,6$	$-0,56 \pm 0,16$

Варианты I и II, представленные в работе [8], были получены совместной обработкой наблюдений избранных малых планет по программе Нумерова-Брауэра, выполненных на Николаевской Астрономической обсерватории, и результатами обработки наблюдений 48 астероидов, включенных в программу наблюдений проекта HIPPARCOS, выполненных консорциумами NDAC и FAST, соответственно. Данные варианты дают параметры твердотельного вращения между системой ICRF/Hipparcos и динамической системой, представленной численными эфемеридами DE200/LE200. Для анали-

за наблюдений 2005 года были использованы поправки, вычисленные с данными вариантов I и II. Данные варианта III использовались для наблюдений 2006-2007 гг.

Разности (O-C), вызванные несопадением систем координат, имеют вид:

$$\begin{aligned}\Delta\alpha &= \alpha(cat) - \alpha(dyn) \\ \Delta\delta &= \delta(cat) - \delta(dyn)\end{aligned}\quad (2)$$

Поправка за твердотельный поворот, переведенная в величины прямого восхождения α и склонения δ может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned}\cos\delta\Delta\alpha_r &= \sin\delta\cos\alpha\varepsilon_{xt} + \sin\delta\sin\alpha\varepsilon_{yt} - \cos\delta\varepsilon_{zt} \\ \Delta\delta_r &= -\sin\alpha\varepsilon_{xt} + \cos\alpha\varepsilon_{yt}\end{aligned}\quad (3)$$

Поправки $\Delta\alpha_r$, $\Delta\delta_r$ определялись для наблюдений каждого объекта по формулам (3) с учетом (t , α , δ). Полученные поправки $(O-C)_r$ вычитались из ранее определенных разностей $(O-C)_{before}$:

$$(O-C)_{after} = (O-C)_{before} - (O-C)_r \quad (4)$$

Вычислялись величины модулей средних значений (O-C) до и после применения поправки:

$$\begin{aligned}\overline{(O-C)_{before}} &= \frac{1}{n} \left| \sum (O-C)_{i,before} \right| \\ \overline{(O-C)_{after}} &= \frac{1}{n} \left| \sum (O-C)_{i,after} \right|\end{aligned}\quad (5)$$

По каждому астероиду анализировались разности по прямому восхождению и склонению:

$$\begin{aligned}DRA &= \overline{(O-C)_{\alpha,before}} - \overline{(O-C)_{\alpha,after}} \\ DDE &= \overline{(O-C)_{\delta,before}} - \overline{(O-C)_{\delta,after}}\end{aligned}\quad (6)$$

На рисунке 2 представлены результаты применения данной поправки с различными наборами параметров для разных сезонов. Эффект от введения поправки за вращение систем считался положительным, если значение разности (O-C) уменьшалось, т.е. $DRA > 0$ и $DDE > 0$. Величины разностей представлены в mas:

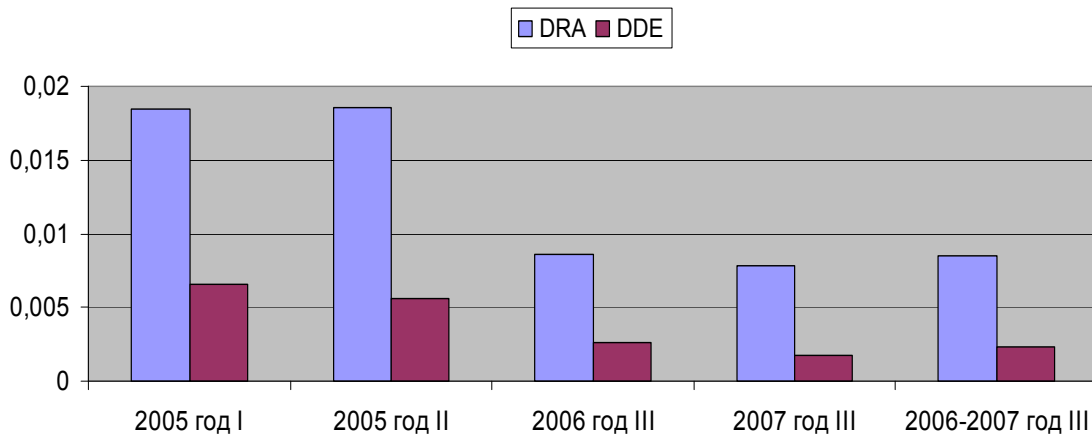


Рис. 2. Изменение модулей средних значений разностей за 2005-2007 гг.

Общая картина отражает в целом положительное влияние учета данной поправки, хотя по отдельным астероидам картина не столь однозначна. Результаты по астероидам представлены на рисунках 3-6.

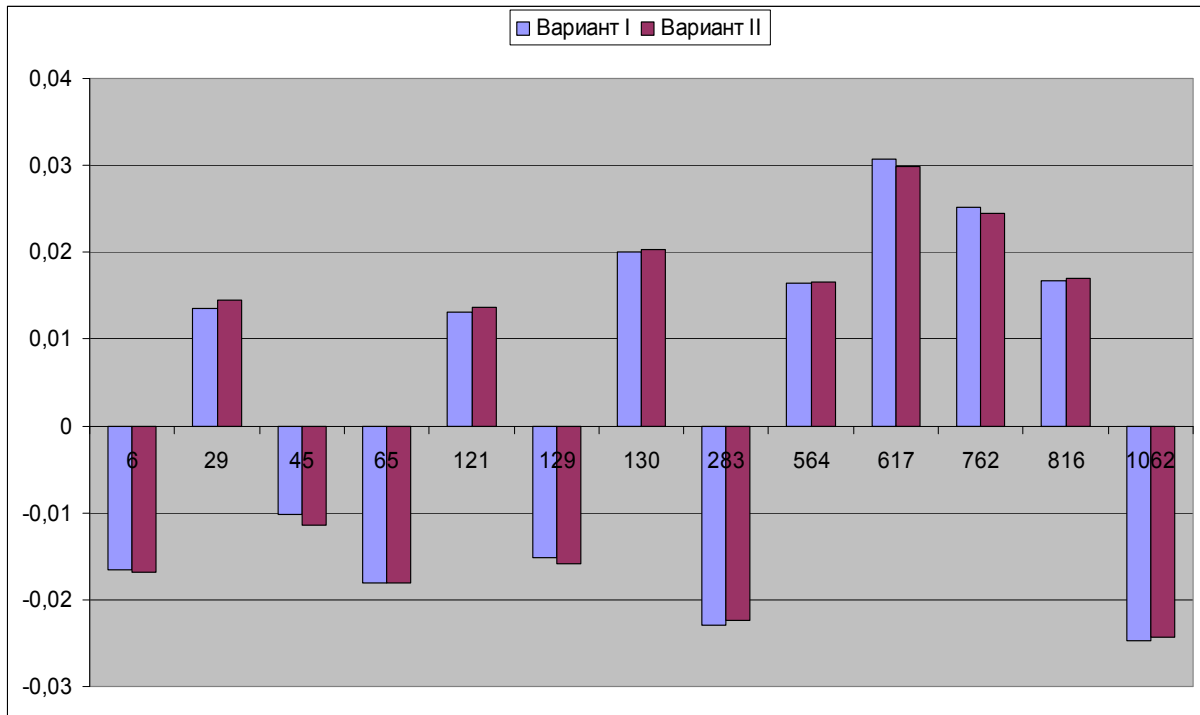


Рис. 3. Изменение модулей средних значений разностей по прямому восхождению за 2005 г.

На рисунке 3 разности по прямому восхождению, а на рисунке 4 – по склонению для 2005 года, по отдельным астероидам (их номера указаны по оси Y).

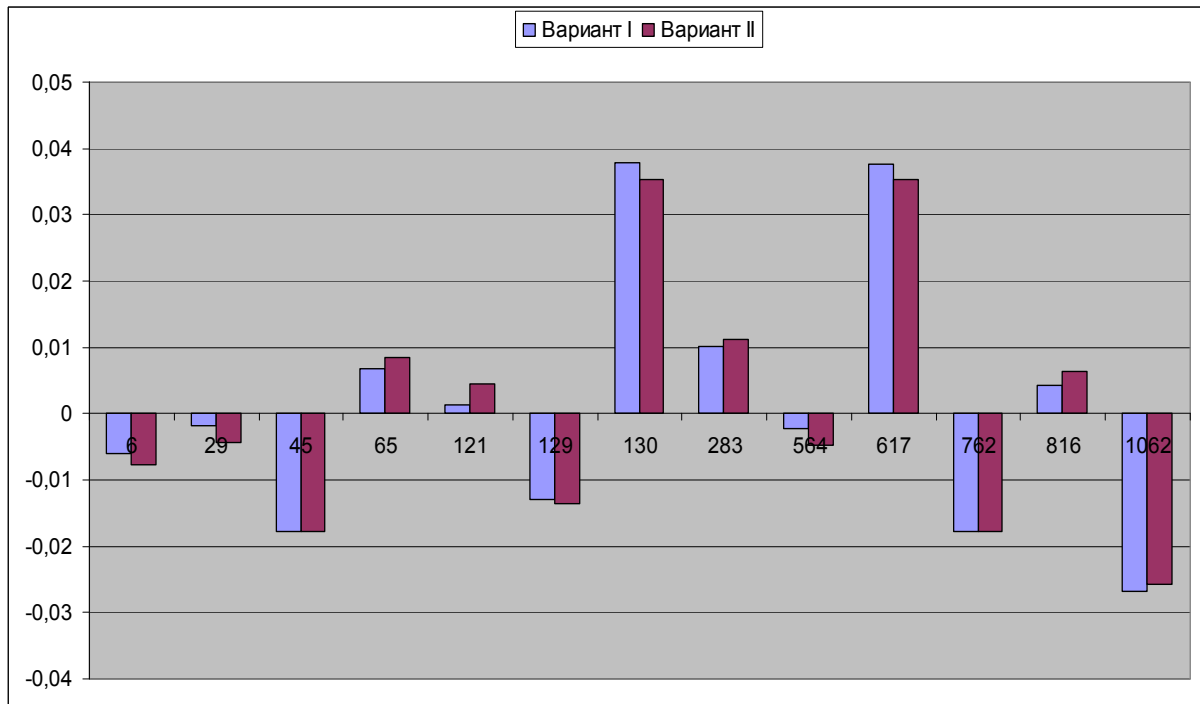


Рис. 4. Изменение модулей средних значений разностей по склонению за 2005 г.

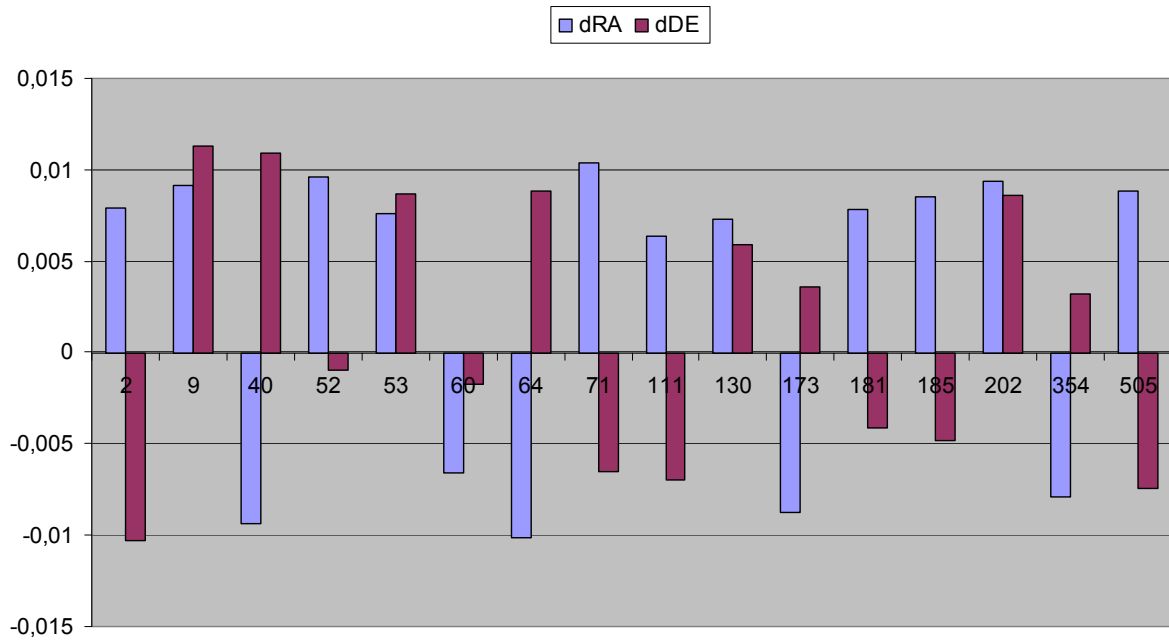


Рис. 5. Изменение модулей средних значений разностей за 2006 г.

На рисунках 5 и 6 представлены аналогичные результаты по наблюдениям 2006 и 2007 годов.

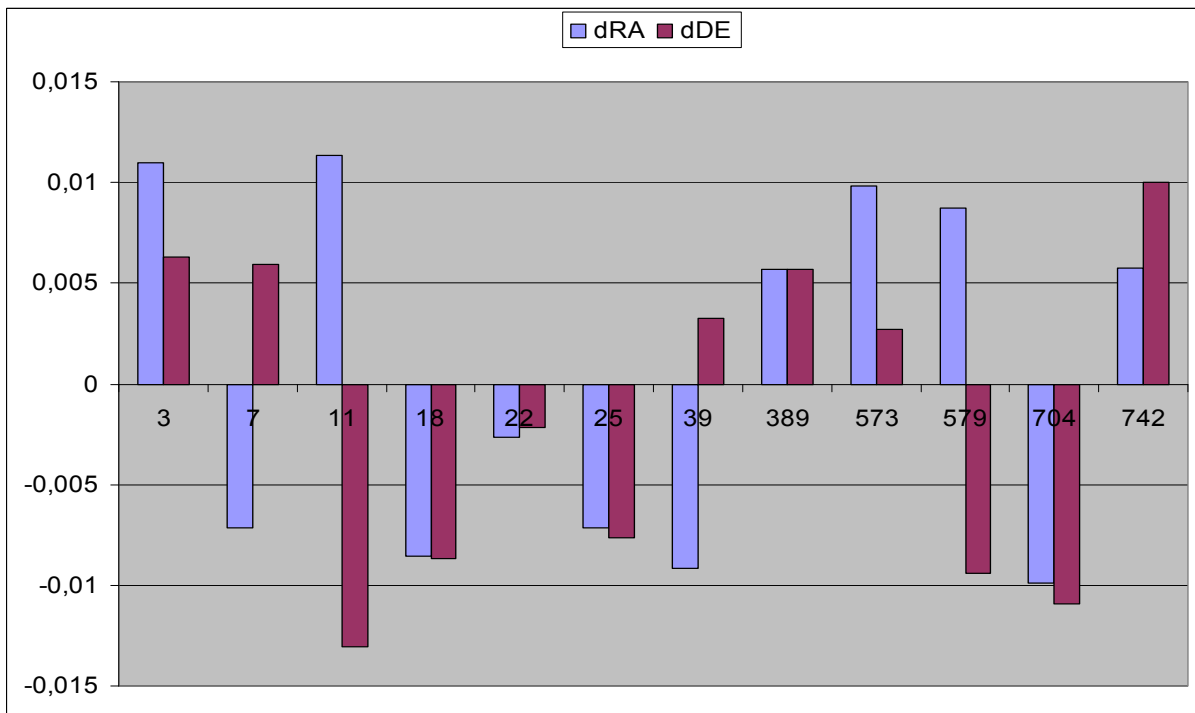


Рис. 6. Изменение модулей средних значений разностей за 2007 г.

Обсуждение

Можно отметить, что результат применения поправки за вращение в целом оказался положительным, несмотря на малую величину этого эффекта вследствие короткого временного промежутка между эпохой наблюдений и эпохой представления параметров. Эффект от учета поправки для наблюдений 2005 года, сравненных с эфемери-

дой DE200/LE200, заметно выше чем для остальных сезонов, что может свидетельствовать о более высокой точности численных эфемерид DE405/LE405.

Неоднозначность эффекта для отдельных астероидов может быть результатом различной точности отображения динамической системы на конкретные астероиды. К тому же, малая величина эффекта сравнима с другими слабыми эффектами, например эффектом фазы, эффектом уравнивания яркости и т.п. не исключено, что наличие у астероидов спутников может вызывать эффект того же порядка.

Полученные результаты являются первым этапом работы. Более корректные оценки влияния параметров ориентации систем могут быть получены в ходе решения более общей задачи. Предполагается выполнить детальное исследование и учет эффектов, связанных с влиянием фазы астероида и уравнением яркости опорного каталога звезд, а также произвести улучшение орбитальных параметров, рассматриваемых астероидов, на основе положений, исправленных за вращение. При этом для улучшения орбитальных параметров может потребоваться привлечение дополнительных наблюдений с целью расширения общего периода наблюдений и получения достаточно равномерного распределения наблюдений по орбите.

Заключение

Наличие систематических эффектов порядка десятка миллисекунд дуги (мсд) требует их учета при значительно возросшей точности наземных наблюдений. Тем более их учет обязателен при реализации космических проектов. Наличие поправки типа вращения может свидетельствовать как об остаточной неинерциальности каталога Hipparcos, так и о существовании более сложной связи между опорными системами, чем твердотельное вращение.

Для материала, полученного из наземных наблюдений, выполненных на значительном временном удалении от эпохи представленных параметров, влияние остаточного взаимного вращения систем становится более значимым. Это важно учитывать, например, в работах по получению ранних эпох звездных положений.

Определение параметров вращения для эпох значительно удаленных от эпохи каталога Hipparcos позволяет выполнить улучшение системы численных эфемерид на большом интервале времени и более точно определить связь между системой каталога Hipparcos и ICRF, используя наблюдательный материал, хранящийся в архивах многих мировых обсерваторий.

Следующий шаг по уточнению параметров связи опорных систем возможен при получении положений ранних эпох путем редукции наблюдательного материала непосредственно в системе каталога UCAC2, с использованием современного высокоточного оборудования.

В целом введение поправки дает некоторое улучшение средней величины (O-C). Отмечается различное влияние поправки на различные астероиды. Результат позволяет надеяться на положительный эффект от учета параметров вращения при более рафинированном подходе.

Литература

1. *J. Kovalevsky et al.* The Hipparcos Catalogue as the realisation of extragalactic reference system. 1997 г. A&A, 323, 620-633 p.
2. *Bougeard M.L., Bange J.F., Caquiereau C., Bec-Borsenberger A.*, 1997, Robast estimation with application to Hipparcos minor planet data. Hipparcos Venice'97 Symposium. ESA SP-402, 165-168.
3. *Нумеров Б.В.*, Бюллетень Астрономического Института, №32, 139-147 сс. 1933г.
4. *Brouwer, D.* 1935, Astron J. 44, 1022.

5. *Ореская В.И.* 1972 г. О состоянии работ по определению ошибок каталога из наблюдений малых планет. Тр. 18-й астрометр. Конф. СССР.
6. *Hemenway, P.* A Fundamental System based on observation of minor planets. *Celestial Mechanics*, vol. 22, July 1980, p. 89-109.
7. *D.N. da Silva Neto, M. Assafin, A.H. Andrei, R. Vieira Martins.* Connections between the ICRF and the dynamical reference frame for the outer planets. *Gaia 2004 Proceedings*, p. 285.
8. *Yu.V. Batrakov et all.* Hipparcos catalogue orientation as obtained from observation of minor planets. *A&A*, 352, 703-711. 1999.
9. *Чернетенко Ю.А.* 2008. Ориентация системы каталога Hipparcos по отношению к координатным системам эфемерид DE403/LE403 и DE405/LE405 на основе наблюдений астероидов. Письма в Астрон. журн., 34, № 4, 296-301 с.
10. *Е.В. Хруцкая, М.Ю. Ховричев, А.А. Бережной.* Некоторые результаты ПЗС-наблюдений малых тел Солнечной системы на нормальном астрографе Пулковской обсерватории в 2005-2006 гг. Труды конференции «*NAO 185*». с. 77-83, 2006 г.
11. *Львов В.Н., Смехачева Р.И., Цекмейстер С.Д.* "ЭПОС – эфемеридная программа для объектов Солнечной системы", 2004, инструкция пользователя, изд. ГАО РАН, с. 1-28.

**THE INVESTIGATION OF INFLUENCE OF THE ORIENTATION PARAMETERS
BETWEEN ICRF/TYCHO2 AND DE200/LE200 AND DE405/LE405 NUMERICAL
EPHEMERIDES REFERENCE FRAMES ON (O-C) VALUES OBTAINED
FROM ASTEROIDS OBSERVATIONS**

Berezhnoj A.A.

Summary

The results of applying the orientation parameters of Hipparcos catalogue system with respect to the DE200/LE200 and DE405/LE405 reference frames on (O-C) values is presented. The orientation parameters obtained as the results of observations program originated in first half of XX century and combined with modern HIPPARCOS observation of asteroids was used.

The observation material obtained with Pulcovo Normal Astrograph in 2005-2007 years was used in present article. Generally there is observed an improvements of (O-C) values.

However, if we look on results of this application with respect to each asteroid there are no such homogeneous results. It seems, this is result of faint effects which is arisen on this correction precision level. These effects must be corrected in present high precision ground based observation and especially in space observations. Also significance of this effects is increasing when observations of early epoch is obtained from photographic plates keeping in many observatories. Next step in improvement of orientation parameters is possible with re-measurement of such observation material on modern high precision measuring instruments.

РАССЕЯННЫЕ СКОПЛЕНИЯ IC 4665, Cr 359 И ВЕРОЯТНОЕ МЕСТО РОЖДЕНИЯ ПУЛЬСАРА PSR B1929+10

Бобылев В.В., Байкова А.Т.

На основе эциклического приближения выполнено моделирование движения молодых рассеянных скоплений звезд IC 4665 и Collinder 359. Показано, что 7 млн. лет назад расстояние между центрами скоплений было минимальным и составляло 36 пк. Установлена тесная эволюционная связь скопления IC4665 с ассоциацией Скорпиона-Центавра: 15 млн. лет назад расстояние между центрами этих образований составляло ≈ 200 пк, кроме того, в этот момент времени центр IC4665 находился вблизи двух известных областей коронарного газа — Местного пузыря и Северного полярного шпура. Показано, что звезда HIP 86768 является одним из кандидатов в качестве двойной (в прошлом) с пульсаром PSR B1929+10 системы. При модельном значении лучевой скорости пульсара $V_r = 2 \pm 50$ км/с осуществляется тесное сближение этой пары в окрестности IC4665 в момент времени -1.1 млн. лет. В то же время, использование современных данных для пульсара B1929+10 при модельном значении его лучевой скорости $V_r = 200 \pm 50$ км/с показало, что более вероятным является вариант Хугерверфа и др. (2001) о распаде двойной системы ζ Orn–B1929+10 в окрестности US около 0.9 млн. лет назад.

Введение

В настоящее время для ряда близких нейтронных звезд имеются достаточно надежные оценки таких параметров как расстояние и компоненты собственного движения, однако информация о лучевых скоростях пока отсутствует. В задаче об определении возможного места рождения нейтронной звезды лучевая скорость является свободным параметром.

В работе Хугерверфа и др. (2001) на основе каталога HIPPARCOS (1997) и данных радиоастрометрии был выполнен анализ 56 близких высокоскоростных звезд ($r < 700$ пк) с целью определения их возможного места рождения внутри близких молодых звездных группировок – рассеянных скоплений звезд (РСЗ) либо звездных ассоциаций. Один из выводов работы заключался в том, что звезда ζ Orn и пульсар PSR B1929+10 (который, согласно системе координат J2000 обозначен как PSR J1932+1059) образовывали двойную систему около 1 млн. лет назад в той части ассоциации Скорпиона-Центавра, которая обозначается как US (Upper Scorpius).

Более поздние наблюдения параллакса пульсара PSR B1929+10, выполненные с использованием радиоинтерферометрических наблюдений (Брискен и др., 2002; Четтерджи и др., 2004) показали, что вероятное значение расстояния до пульсара существенно отличается от того, что было использовано в работе Хугерверфа и др. (2001). По мнению Четтерджи и др. (2004), новые данные практически отвергают гипотезу Хугерверфа и др. (2001) о месте рождения пульсара PSR B1929+10 на границе ассоциации Скорпиона-Центавра и связи его со звездой ζ Orn.

В данной работе осуществляется проверка гипотезы Хугерверфа с использованием новых наблюдательных данных. Кроме того, интерес представляет также оценка вероятности и других гипотез. Одной из таких является гипотеза Волтера (2001), который предлагает рассматривать другую нейтронную звезду в качестве двойной в прошлом системы со звездой ζ Orn, а именно RXJ185635-3754.

Мы со своей стороны предлагаем рассмотреть также гипотезу о том, что рождение пульсара PSR B1929+10 может быть связано с широкой окрестностью рассеянного скопления IC 4665 либо Cr 359. Идея этого предположения основывается на моделировании траектории перемещения PSR B1929+10 по небесной сфере (рис. 2 работы Ху-

герверфа и др., 2001) при различных значениях лучевой скорости пульсара (+200 км/с либо –200 км/с), которое показало, что она пролегает в непосредственной близости от рассеянных скоплений IC 4665 и Cr 359. В настоящей работе определяется такое значение лучевой скорости пульсара, при котором осуществляется наиболее тесное сближение с этими скоплениями.

В непосредственной окрестности Солнца радиусом 200-300 пк известны такие области межзвездного разреженного горячего газа с температурой $\approx 10^6$ К, как “Местный пузырь” и Северный полярный шпур. Местный пузырь – эта компактная область, практически свободная от поглощающей материи, поэтому она была впервые обнаружена из анализа межзвездного покраснения звезд Фицджеральдом (1968). Построенные в работе Сфейра и др. (1999) карты распределения поглощения нейтрального газа в линиях NaI показывают наклон к плоскости Галактики, как у пояса Гулда. Обзор сценариев образования Северного полярного шпура можно найти в работе Миллера и др. (2007). Данные обо всех известных пузырях в околосолнечной окрестности собраны в работе Хейлеса (1998).

Физические процессы, приводящие к возникновению пузырей, в общих чертах таковы. В молодых рассеянных скоплениях звезд происходят многократные взрывы сверхновых. Это приводит к возникновению звездных ветров и образованию ударных волн, выметающих газ на периферию данной локальной области, где он образует сгущения в виде оболочек или протяженных стен. На границах оболочки плотность газа существенно возрастает, газ охлаждается, и происходит образование молекулярных облаков. При вспышках сверхновых газ внутри оболочки может нагреваться и излучать в рентгеновском диапазоне.

Наиболее реалистичной теорией происхождения Местного пузыря, по мнению Бергхофера, Брейтшвердта (2002), является гипотеза о многократном, но не одновременном, а растянутом по времени, взрыве около 20 сверхновых в последние 10-20 млн. лет. В работах Фриш (1995), Маиса-Апелланиса (2001), Брейтшвердта, Авилеса (2006) обосновывается точка зрения о том, что наиболее подходящими объектами, ответственными за образование как Местного пузыря, так и Северного полярного шпура, являются взрывы сверхновых, произошедшие в ассоциации Скорпиона-Центавра, являющейся частью пояса Гулда.

Как по своему возрасту и пространственному положению (Пискунов и др., 2006), так и по кинематике (Бобылев, 2006), рассеянные скопления IC 4665 и Cr 359 имеют высокую вероятность принадлежности к поясу Гулда. Поскольку в первом галактическом квадранте крайне мало молодых РСЗ, входящих в пояс Гулда и имеющих надежные кинематические данные (лучевые скорости в особенности), то изучение траекторий движения рассеянных скоплений IC 4665 и Cr 359, а также членов ассоциации Скорпиона-Центавра, имеет большое значение для понимания эволюции пояса Гулда.

Целью данной работы является установление эволюционных связей молодых скоплений IC 4665 и Cr 359 со структурой пояса Гулда и ассоциацией Скорпиона-Центавра, установление возможного влияния скоплений на развитие пузырей, а также определение наиболее вероятного места рождения пульсара PSR B1929+10 путем варьирования значения его лучевой скорости.

Задачи, поставленные в работе, решаются на основе построения траекторий движения объектов с использованием эпициклического приближения.

1. Метод

В настоящей работе используется прямоугольная галактическая система координат с осями, направленными от наблюдателя в сторону галактического центра ($l = 0^\circ$, $b = 0^\circ$, ось X), в направлении галактического вращения ($l = 90^\circ$, $b = 0^\circ$, ось Y) и в на-

правлении северного полюса Галактики ($b = 90^\circ$, ось Z), вдоль осей X , Y , Z направлены и соответствующие компоненты пространственной скорости объекта U , V , W (Куликовский, 1985). Метод эпициклического приближения (Линдблад, 1927; 1959) позволяет построить орбиты звезд в системе координат, вращающейся вокруг центра Галактики по круговой орбите. Предполагается, что центр системы координат совпадает с местным стандартом покоя, а звезды двигаются по эпициклам в направлении, противоположном вращению Галактики. Мы используем метод в форме, связанной с прямоугольной системой координат, которая дана в работе Фукса и др. (2006):

$$\begin{aligned} X(t) &= X(0) + \frac{U(0)}{\kappa} \sin(\kappa t) + \frac{V(0)}{2B} (1 - \cos(\kappa t)), \\ Y(t) &= Y(0) + 2At \left(X(0) + \frac{V(0)}{2B} \right) - \frac{\Omega_0}{B\kappa} V(0) \sin(\kappa t) + \frac{2\Omega_0}{\kappa^2} U(0) (1 - \cos(\kappa t)), \\ Z(t) &= \frac{W(0)}{\nu} \sin(\nu t) + Z(0) \cos(\nu t), \end{aligned} \quad (1)$$

где t – время в млн. лет (пк/млн. лет = 0.978 км/с), которое мы отсчитываем в прошлое; $\kappa = \sqrt{-4\Omega_0 B}$ – эпициклическая частота; A и B – постоянные Оорта, $\Omega_0 = A - B$ – угловая скорость галактического вращения местного стандарта покоя; $\nu = \sqrt{4\pi G \rho_0}$ – частота вертикальных колебаний, где G – гравитационная постоянная, а ρ_0 есть звездная плотность в околосолнечной окрестности. Пространственные скорости объектов вычисляются на любой необходимый момент времени по формулам:

$$\begin{aligned} U(t) &= U(0) \cos(\kappa t) + \frac{\kappa}{2B} V(0) \sin(\kappa t), \\ V(t) &= 2A \left(X(0) + \frac{V(0)}{2B} \right) - \frac{\Omega_0}{B} V(0) \cos(\kappa t) + \frac{2\Omega_0}{\kappa} U(0) \sin(\kappa t), \\ W(t) &= W(0) \cos(\nu t) - Z(0) \nu \sin(\nu t). \end{aligned} \quad (2)$$

Параметры $X(0)$, $Y(0)$, $Z(0)$ и $U(0)$, $V(0)$, $W(0)$ в уравнениях (1)-(2) обозначают современные положения и скорости объектов. Скорости U , V , W мы даем относительно местного стандарта покоя, имеющего значения $(U, V, W)_{\text{LSR}} = (10.00, 5.25, 7.17) \pm (0.36, 0.62, 0.38)$ км/с (Денен, Бинни, 1998). Следуя Фуксу и др. (2006), мы приняли $\rho_0 = 0.1 \text{ М}_\odot/\text{пк}^3$, что дает $\nu = 0.074$ км/с/пк. Приняты так же следующие значения постоянных Оорта $A = 13.7 \pm 0.6$ км/с/кпк и $B = -12.9 \pm 0.4$ км/с/кпк, которые были найдены в работе Бобылева (2004) из анализа независимых определений этих параметров различными авторами, тогда $\kappa = 0.037$ км/с/пк.

2. Данные

Необходимые данные, такие как экваториальные координаты, компоненты собственного движения, лучевые скорости и параллаксы даны в таблице 1. В таблице 2 даны пространственные координаты $X(0)$, $Y(0)$, $Z(0)$, а так же скорости $U(0)$, $V(0)$, $W(0)$ рассматриваемых звезд и скоплений. Для звезды HIP 86768 в работе Бобылева (2008) было принято ошибочное значение лучевой скорости $V_r = 19$ км/с, а в настоящей работе мы используем более правильное значение $V_r = -26$ км/с (Гончаров, 2006). Ниже мы более подробно опишем использованные данные.

2.1. IC 4665 и Cr 359

Для рассеянного скопления IC 4665 мы используем координаты центра, компоненты собственного движения и оценку фотометрического расстояния $r = 352 \pm 70$ пк из каталога CRVOCA (Харченко и др., 2007), а лучевую скорость из работы Манзи и др.

(2007), где она была определена с использованием 39 наиболее вероятных членов скопления. По данным Манзи и др. (2007) возраст IC 4665 составляет $27.7_{-3.5}^{+4.2}$ млн. лет. Эта оценка интересна тем, что мало зависит от качества изохрон, так как получена путем сопоставления содержания лития в звездах скопления с такими хорошо известными молодыми скоплениями как NGC 2547 и IC 2391. Другие авторы дают следующие “изохронные” оценки возраста скопления: 36 млн. лет (Мермийо, 1981), 30-100 млн. лет (Проссер, 1993), 43 млн. лет (Пискунов и др., 2006).

Таблица 1. Данные об объектах.

Объект	α (J2000), δ (J2000)	$\mu_{\alpha} \cos \delta$, мсд/год	μ_{δ} , мсд/год	π , мсд	V_r , км/с
B1929+10	19 ^h 32 ^m 3 ^s .94969 10° 58' 32".4203	94.09±0.11	42.99±0.16	2.77±0.07	—
IC 4665	17 ^h 46 ^m 5° 43'	-0.57±0.30	-7.40±0.36	2.84±0.56	-16.0±1.1
Cr 359	18 ^h 01 ^m 2° 54'	0.22±0.28	-8.90±0.26	2.22±0.99	-4.6±0.2
HIP 66524	13 ^h 38 ^m 09 ^s .0095 -50° 20' 59".702	-60.75±0.49	-13.34±0.67	2.28±0.75	-23±1
HIP 81377 (ζOph)	16 ^h 37 ^m 09 ^s .5378 -10° 34' 01".524	13.07±0.85	25.44±0.72	7.12±0.71	-9.9±5.5
HIP 86768	17 ^h 43 ^m 47 ^s .0205 -7° 04' 46".588	-7.12±0.70	-10.39±0.51	2.34±0.80	-26.0±4.3
HIP 91599	18 ^h 40 ^m 48 ^s .0517 -8° 43' 07".688	-9.64±1.13	-22.64±0.79	3.61±1.16	29±5
RXJ185635-3754	18 ^h 56 ^m 35 ^s .56 -37° 54' 37".0	326.7±0.8	-59.1±0.7	16.5±2.3	—

Таблица 2. Положения и гелиоцентрические скорости объектов.

Объект	X(0)	Y(0)	Z(0)	U(0)	V(0)	W(0)
B1929+10	244±6	265±7	-25±1	-78±4.6	123.7±4.2	-109.0±4.6
IC 4665	290±57	171±34	104±21	-6.1±2.2	-16.9±3.4	-9.2±1.5
Cr 359	381±169	217±96	99±44	6±8	-16±14	-10±8
HIP 66524	279±92	-326±107	90±30	-83±67	-102±57	1±3
HIP 81377	128±13	14±1	56±6	-11±5	18±2	-1±2
HIP 86768	397±136	134±46	86±29	-16±7	-32±17	-3±2
HIP 91599	253±81	113±36	-8±3	39±7	-18±13	-3±1
RXJ185635-3754	58±8	-1.4±0.2	-18±3	-75±48	20±1	-75±15

Примечание: скорости пульсара B1929+10 вычислены для лучевой скорости 2±50 км/с, скорости RXJ185635-3754 вычислены для лучевой скорости -50±50 км/с.

Для скопления Cr 359 мы используем координаты центра, компоненты собственного движения и лучевую скорость из каталога CRVOCA (Харченко и др., 2007), а расстояние $r = 450 \pm 200$ пк из работы Лодью и др. (2006), где выполнен критический обзор оценок, полученных различными авторами. По данным Лодью и др. (2006) возраст Cr 359 составляет 60 ± 20 млн. лет. Другие авторы оценивают это скопление как более молодое – 32 млн. лет (Пискунов и др., 2006), ≈ 30 млн. лет (Вилен, 1971; Абт, Кардона, 1983).

По данным Харченко и др. (2007) видимые радиусы скоплений IC 4665 и Cr 359 составляют 1.0° и 1.1° соответственно. По оценке Вита и др. (2006) масса IC 4665 составляет 300-350 M_\odot . Близкую массу, по-видимому, имеет и скопление Cr 359.

2.2. PSR B1929+10

Радиопульсар PSR B1929+10 является одиночной нейтронной звездой с возрастом около 3 млн. лет (оценка получена из соотношения $P/(2\dot{P})$) и относится к популяции близких нейтронных звезд, тесно связанных с Поясом Гулда (Попов и др., 2003; Моч и др., 2006). Для PSR B1929+10 мы используем данные из работы Четтерджи и др. (2004), которые получены на основе радиоинтерферометрических измерений. Наиболее важным уточненным параметром является новое значение параллакса пульсара $\pi = 2.77 \pm 0.07$ мсд. Отметим, что в работе Хугерверфа и др. (2001) было принято модельное значение $\pi = 4 \pm 2$ мсд. Основанием для этого выбора послужили предварительные оценки расстояния до пульсара, которые делали его более близким к Солнцу.

2.3. US, UCL и LCC

Начальные положения центров трех звездных группировок, составляющих ассоциацию Скорпиона-Центавра, а именно, US, UCL, LCC, таковы: $(X(0), Y(0), Z(0)) = (134, -20, 52)$ пк и гелиоцентрические скорости $(U(0), V(0), W(0)) = (-6.7, -16.0, -8.0) \pm (5.9, 3.5, 2.7)$ км/с для US, $(119, -67, 31)$ пк и $(-6.8, -19.3, -5.7) \pm (4.6, 4.7, 2.5)$ км/с для UCL, $(62, -100, 10)$ пк и $(-8.2, -18.6, -6.4) \pm (5.1, 7.3, 2.6)$ км/с для LCC взяты из работы Фернандеса и др. (2006). В этой работе положения центров US, UCL, LCC получены ими на основе данных Зева и др. (1999) с ошибками 1-2 пк, значения скоростей $U(0)$, $V(0)$, $W(0)$ определены Сартори и др. (2003) на основе пространственных скоростей большого количества звезд (более 120 для каждой из группировок). Эти данные были использованы Фернандесом и др. (2006) для анализа кинематики членов ассоциации Скорпиона-Центавра. Но орбиты объектов вычислялись с использованием модели, которая помимо осесимметричного потенциала Галактики, учитывает также потенциал от спиральной волны и потенциал бара в центре Галактики (Фернандес и др., 2008). Представляет интерес сопоставление результатов, полученных различными методами.

3. Результаты

3.1. Окрестности IC 4665, Cr 359 и PSR B1929+10

3.1.1. Сближения центров

На основе уравнений (1)-(2) получено несколько решений при различных значениях лучевой скорости пульсара PSR B1929+10, V_r (PSR). Результаты следующие:

1) при V_r (PSR) = +45 км/с осуществляется сближение пульсара со скоплением IC 4665 до расстояния $\Delta r = 52$ пк в момент времени $t = -0.85$ млн. лет;

2) при V_r (PSR) = -60 км/с минимальное расстояние от пульсара до центра скопления Cr 359 составляет $\Delta r = 38$ пк в момент времени $t = -1.0$ млн. лет;

3) при V_r (PSR) = 0 км/с получаем совместное сближение с двумя скоплениями. В этом случае минимальное расстояние от пульсара до центра скопления Cr 359 составляет $\Delta r = 69$ пк, а до центра скопления IC 4665 – $\Delta r = 60$ пк в момент времени $t = -1.0$ млн. лет.

Как видим, траектория пульсара может проходить через область рассеянных корон обоих рассматриваемых скоплений. Как отмечено в работе Вита и др. (2006), приливной радиус IC 4665 составляет $\approx 1^\circ$. При расстоянии до скопления $r = 352$ пк он составляет ≈ 6 пк. Однако звезды с общим собственным движением занимают на небесной сфере площадь ≈ 100 кв. градусов (Лодью и др., 2006), следовательно, радиус короны IC

4665 составляет ≈ 30 пк. Как можно видеть из таблицы 2, ошибка определения пространственного положения центра скопления IC 4665 составляет около 50 пк.

Скопление Cr 359 в этом отношении представляет меньший интерес, так как ошибка в определении расстояния до него составляет 44%, поэтому радиус его рассеянной короны лежит в интервале значений 20-60 пк, но низка точность пространственной локализации скопления – около 150 пк (таблица 2).

Далее осуществляем поиск подходящей быстролетающей звезды – возможного члена двойной системы. Для этого используем список таких звезд из работы Хугерверфа и др. (2001). Из рис. 2 работы Хугерверфа и др. (2001) можно видеть, что 2 млн. лет назад в непосредственной окрестности скоплений IC 4665 и Cr 359 на небесной сфере радиусом $\approx 15^\circ$ пролегают траектории трех звезд HIP 66524, HIP 86768 и HIP 91599. Для вычисления пространственных скоростей мы привлекаем современные значения лучевых скоростей этих звезд из Пулковского каталога лучевых скоростей (Гончаров, 2006). Построение траекторий движения трех быстролетающих звезд показало, что наиболее интересной из них является звезда HIP 86768. Действительно, звезда HIP 66524 достаточно быстро удаляется в сторону галактического центра по координате X, не имея тесного сближения с интересующими нас объектами. Для звезды HIP 91599 (звезда No 20 списка Хугерверфа и др., 2001) ситуация несколько другая. При значении лучевой скорости пульсара PSR B1929+10 $V_r(\text{PSR}) = +250$ км/с осуществляется сближение со звездой HIP 91599 до расстояния $\Delta r = 47$ пк в момент времени $t = -0.5$ млн. лет. Модуль разности скоростей пульсара и звезды HIP 91599 на момент сближения составляет $\Delta V = 316$ км/с. При значении лучевой скорости пульсара $V_r(\text{PSR}) = +2$ км/с осуществляется сближение со звездой HIP 86768 до расстояния $\Delta r = 52$ пк в момент времени $t = -1.2$ млн. лет. При этом модуль разности скоростей пульсара и звезды HIP 86768 на момент сближения составляет $\Delta V = 186$ км/с. Учитывая достаточно большие ошибки в расстояниях и скоростях звезды HIP 86768, можем предположить, что возможно и более тесное сближение. Поэтому моделирование сближений с учетом ошибок в данных представляет большой интерес.

3.1.2. Моделирование сближений методом Монте-Карло

1). Вначале проведено прямое повторение численного эксперимента Хугерверфа и др. (2001) по сближению звезды ζOph и PSR B1929+10. Вычисляются 3 млн. орбит с учетом случайных ошибок в исходных данных, которые распределены по нормальному закону в пределах области 3σ . Для пульсара использованы старые данные: $V_r(\text{PSR}) = 200 \pm 50$ км/с, $\pi = 4 \pm 2$ мсд, $\mu_\alpha \cos\delta = 99 \pm 12$ (6 x 2) мсд/год и $\mu_\delta = 39 \pm 8$ (4 x 2) мсд/год (следуя работе Хугерверфа и др., исходные ошибки собственных движений увеличиваем в два раза, как показано в скобках). Результаты таковы: из 3 млн. орбит осуществляется 32505 сближений до расстояний $\Delta r < 10$ пк (1.1%), в 4410 случаях из 32505, звезда и пульсар находились не далее 10 пк от центра US около 1 млн. лет назад. Полученные параметры находятся в очень хорошем согласии с результатами работы Хугерверфа и др. (2001).

2). Этот же эксперимент по сближению звезды ζOph и PSR B1929+10 с современными данными для пульсара: $V_r(\text{PSR}) = 200 \pm 50$ км/с, $\pi = 2.77 \pm 0.7$ (0.07 x 10) мсд, $\mu_\alpha \cos\delta = 94.09 \pm 3.3$ (0.11 x 30) мсд/год и $\mu_\delta = 42.99 \pm 4.8$ (0.16 x 30) мсд/год. Увеличение исходных значений случайных ошибок (как показано в скобках) произведено для того, чтобы иметь условия, сопоставимые с экспериментом 1). Результаты таковы: из 3 млн. орбит осуществляется 74115 сближение до расстояний $\Delta r < 10$ пк (2.5%), в 5611 случаях из 74115, звезда и пульсар находились не далее 10 пк от центра US около 1 млн. лет назад. Области допустимых значений V_r , π , $\mu_\alpha \cos\delta$ и μ_δ , при которых осуществляется

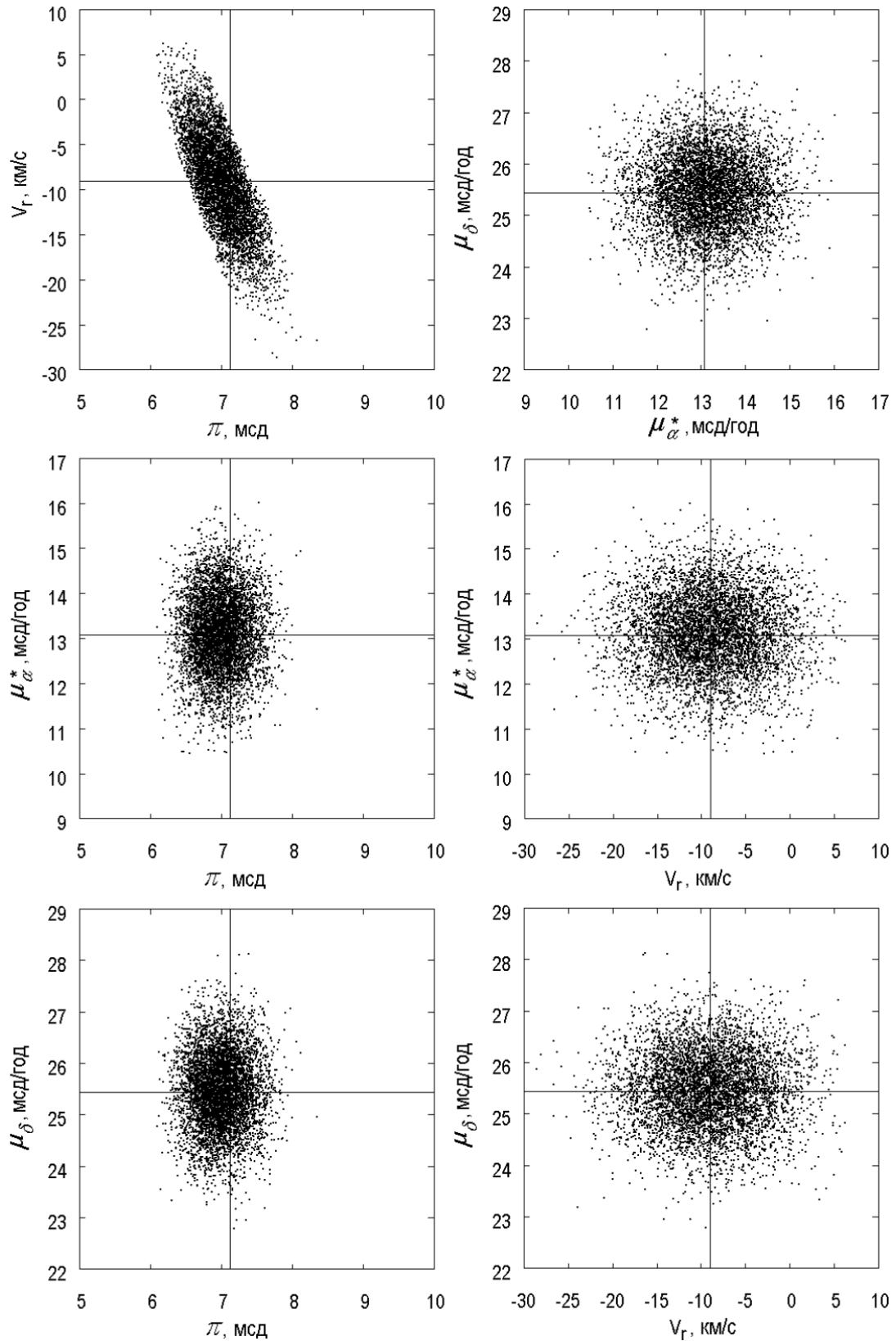


Рис. 1. Области допустимых значений, при которых осуществляется 5611 сближений до расстояний $\Delta r < 10$ пк звезды ζ Orh и пульсара PSR B1929+10, при которых они попадают в окрестность US $\Delta r < 10$ пк для звезды ζ Orh.

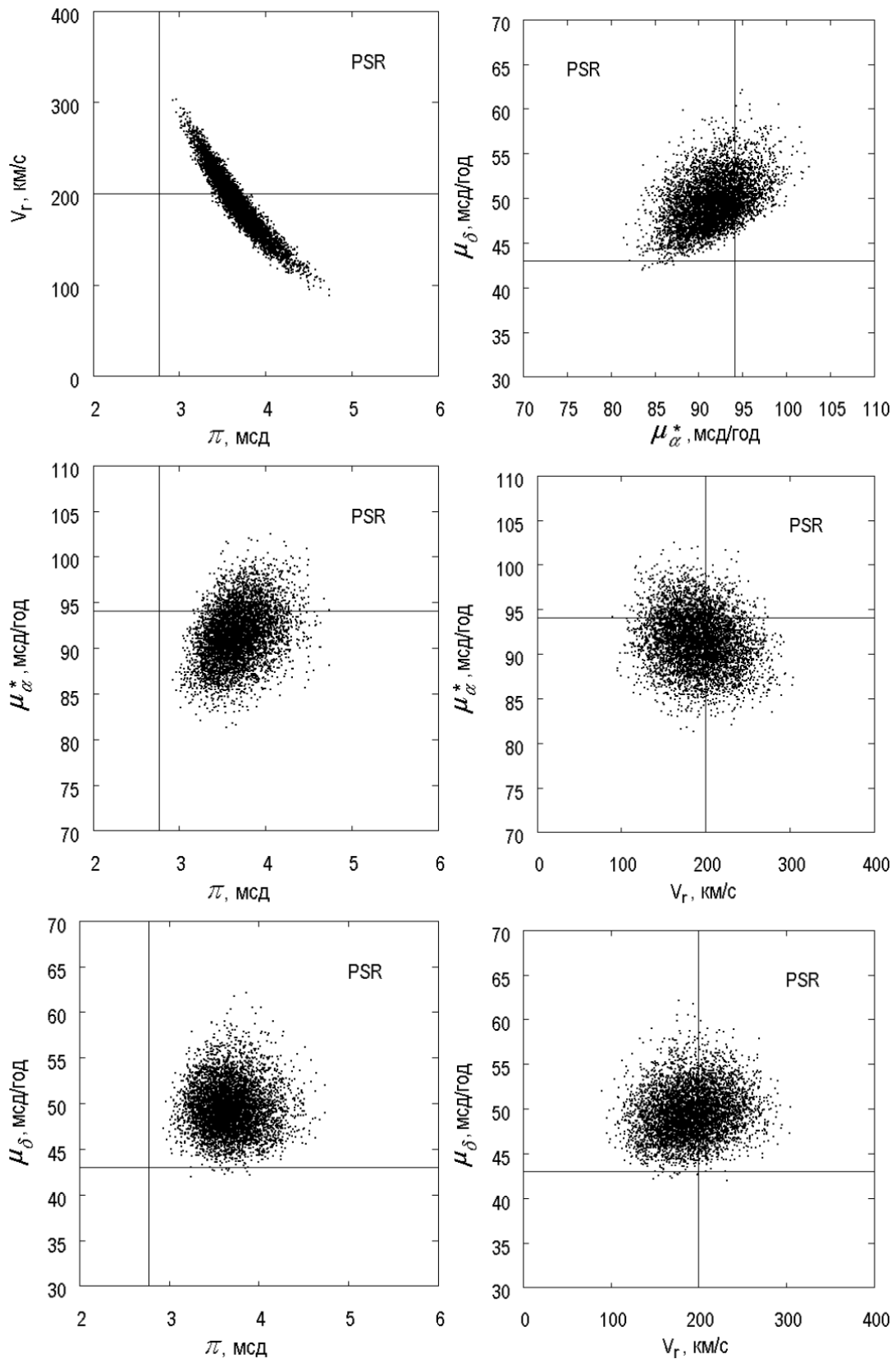


Рис. 2. Области допустимых значений, при которых осуществляется 5611 сближений до расстояний $\Delta r < 10$ пк звезды ζ Orh и пульсара PSR B1929+10, при которых они попадают в окрестность US $\Delta r < 10$ пк для пульсара PSR B1929+10.

5611 полученных сближений, даны на рис. 1 для звезды ζ Orh и на рис. 2 для PSR B1929+10. На рис. 3 дано ожидаемое распределение F_{3D} минимального расстояния Δr , вычисленное по формуле Хугерверфа и др. (2001)

$$F_{3D}(\Delta_r) = \frac{\Delta_r^2}{2\sigma^3 \sqrt{\pi}} \exp\left[-\frac{\Delta_r^2}{4\sigma^2}\right] \quad (3)$$

для принятого значения $\sigma = 2.5$ пк.

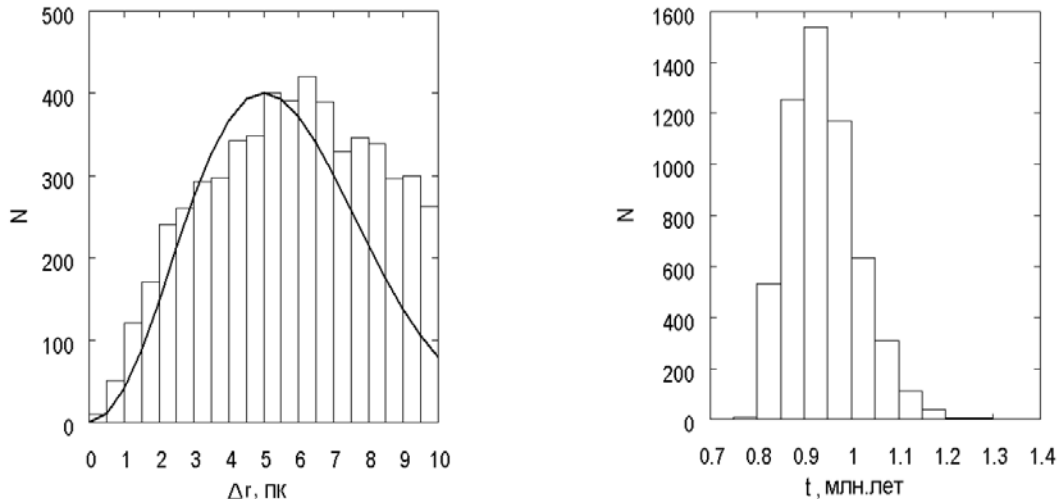


Рис. 3. Распределение минимального расстояния $\Delta r < 10$ пк для 5611 сближений звезды ζ Orh с пульсаром PSR B1929+10 (слева), показано ожидаемое распределение, а также гистограмма моментов сближения (справа).

3). Эксперимент по сближению звезды HIP 86768 и PSR B1929+10 при: V_r (PSR) = 2 ± 50 км/с, и тех же, как в эксперименте 2) значениях $\pi = 2.77 \pm 0.7$ (0.07×10) мсд, $\mu_\alpha \cos \delta = 94.09 \pm 3.3$ (0.11×30) мсд/год и $\mu_\delta = 42.99 \pm 4.8$ (0.16×30) мсд/год. Результаты таковы: из 3 млн. орбит осуществляется 15795 сближений до расстояний $\Delta r < 10$ пк (0.5%), в 3091 случаях из 15795, звезда и пульсар находились не далее 80 пк от центра скопления IC 4665 около 1 млн. лет назад. Области допустимых значений V_r , π , $\mu_\alpha \cos \delta$ и μ_δ при которых осуществляется 6932 полученных сближения даны на рис. 4 для звезды HIP 86768 и рис.5 для PSR B1929+10. На рис. 6 дано ожидаемое распределение минимального расстояния Δr , вычисленное по формуле (3) для принятого значения $\sigma = 8$ пк.

4). Эксперимент по моделированию сближений звезды HIP 91599 и PSR B1929+10 при V_r (PSR) = 250 ± 50 км/с показал, что из 3 млн. орбит осуществляется 32961 сближений в интервале $15 \text{ пк} < \Delta r < 30 \text{ пк}$ (0 сближений при $\Delta r < 15$ пк) около 0.5 млн. лет назад. До расстояний $\Delta r < 10$ пк между собой звезды HIP 86768 и HIP 91599 не сближаются, и это позволяет заключить, что вариант тройной системы HIP86768—HIP91599—B1929+10 маловероятен.

5). Проверка гипотезы Волтера (2001) — эксперимент по сближению звезды ζ Orh и одиночной нейтронной звезды (NS) RX J185635-3754 при V_r (NS) = -50 ± 50 км/с. Результаты таковы: из 3 млн. орбит осуществляется 2144 сближения до расстояний $\Delta r < 10$ пк (0.07%), отсутствуют случаи сближения с центром US до $\Delta r < 10$ пк. Полученные характеристики находятся в хорошем согласии с результатами работы Хугерверфа и др. (2001).

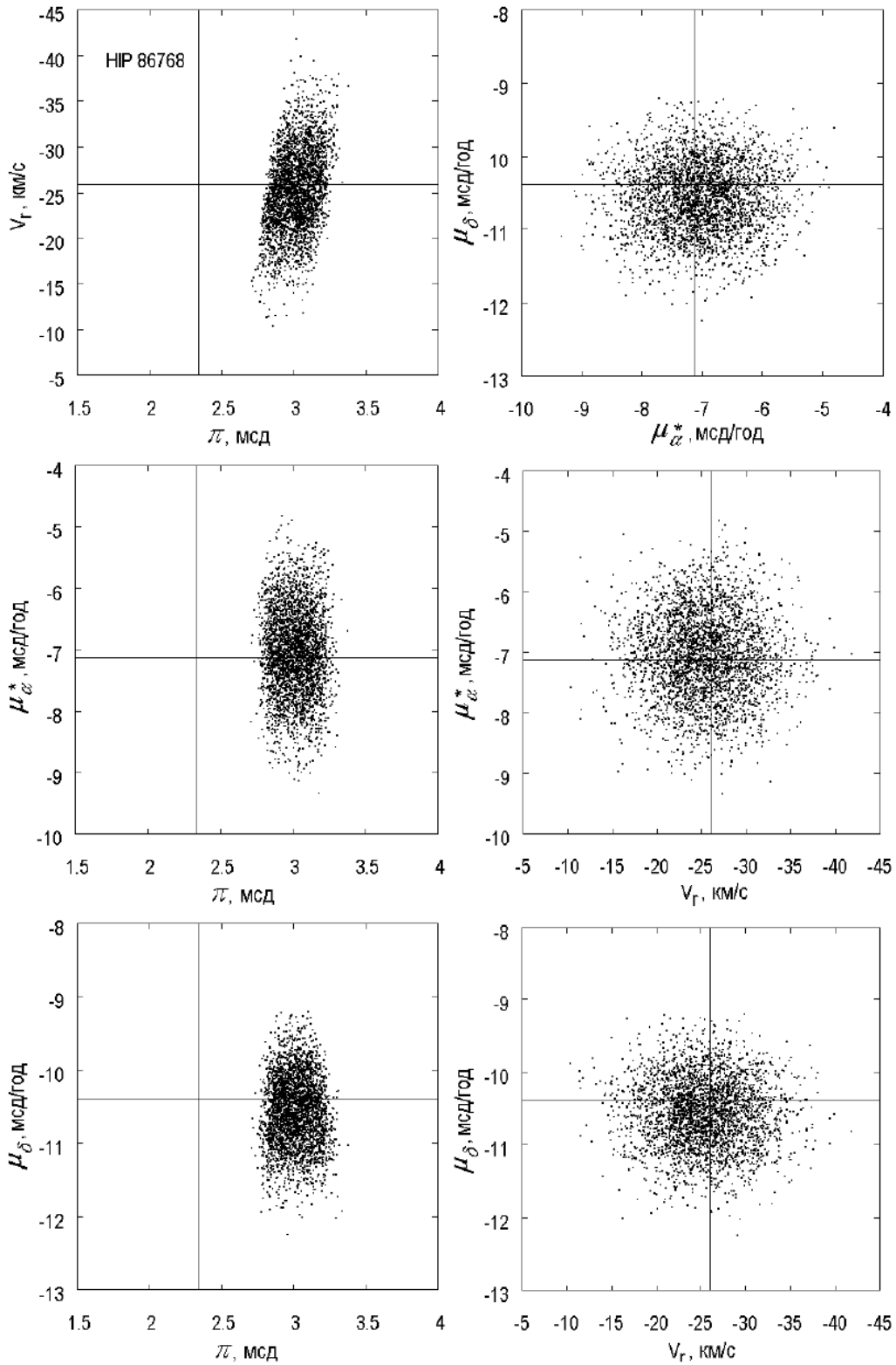


Рис. 4. Области допустимых значений, при которых осуществляется 3091 сближений до расстояний $\Delta r < 10$ пк звезды HIP 86768 и пульсара PSR B1929+10 в окрестности скопления IC 4665 $\Delta r < 80$ пк для звезды HIP 86768.

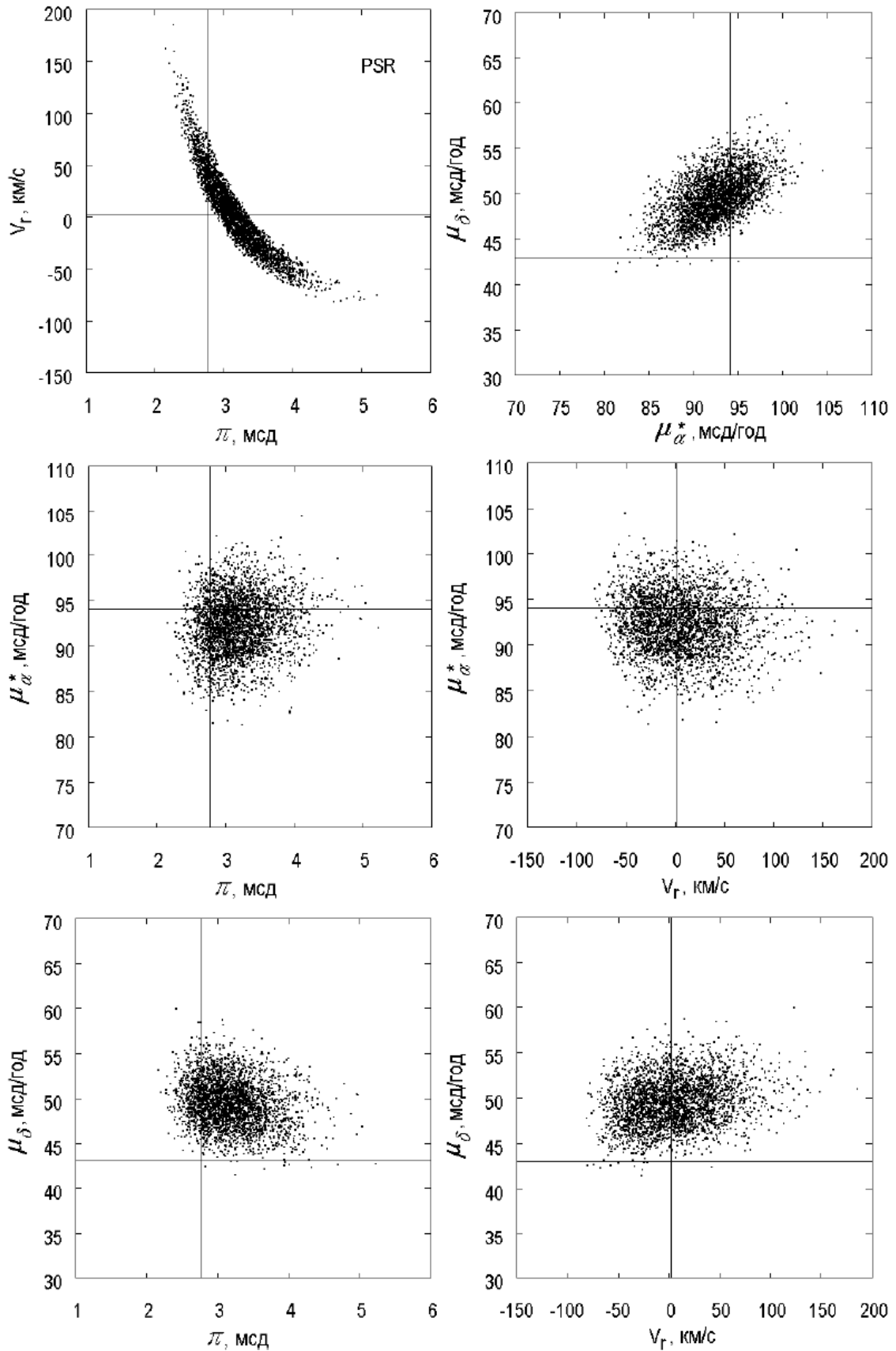


Рис. 5. Области допустимых значений, при которых осуществляется 3091 сближений до расстояний $\Delta r < 10$ пк звезды HIP 86768 и пульсара PSR B1929+10 в окрестности скопления IC 4665 $\Delta r < 80$ пк для пульсара PSR B1929+10.

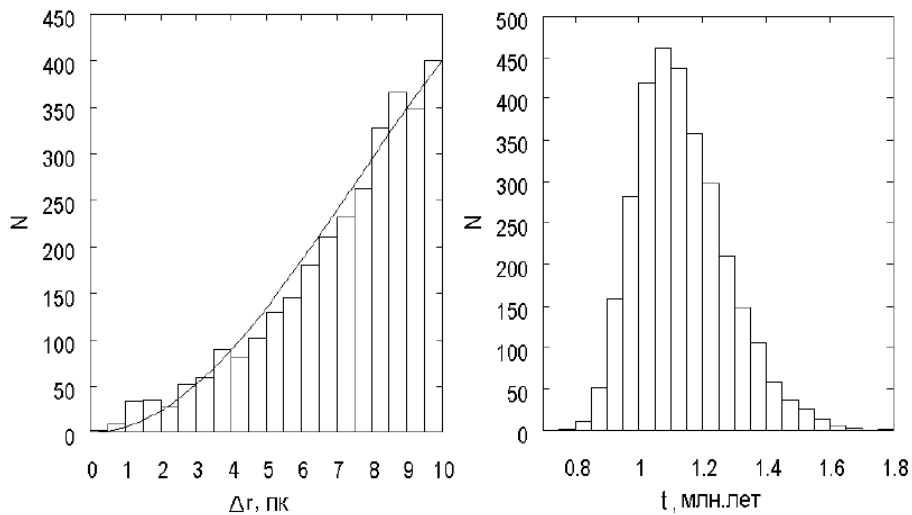


Рис. 6. Распределение минимального расстояния $\Delta r < 10$ пк для 3091 сближений звезды HIP 86768 с пульсаром PSR B1929+10 (слева), показано ожидаемое распределение, а также гистограмма моментов сближения (справа).

3.2. IC 4665 и ассоциация Скорпиона-Центавра

Прослежены траектории движения скоплений IC 4665 и Cr 359 на интервале времени, сопоставимом со временем их жизни, вплоть до $t = -30$ млн. лет. При тех средних значениях исходных параметров, что описаны в разделе 2.1, мы нашли, что максимальное сближение между центрами скоплений составляет $\Delta r = 36$ пк в момент времени $t = -7$ млн. лет. Учет ошибок в расстояниях и скоростях скоплений показал, что время сближения заключено в интервале 0-12 млн. лет.

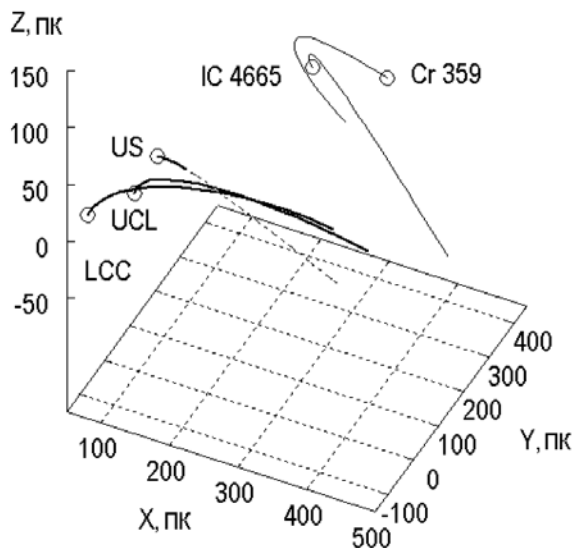


Рис. 7. Пространственные координаты скоплений IC 4665, Cr 359, членов ассоциации Скорпиона-Центавра и траектории их движения за прошедшие 30 млн. лет.

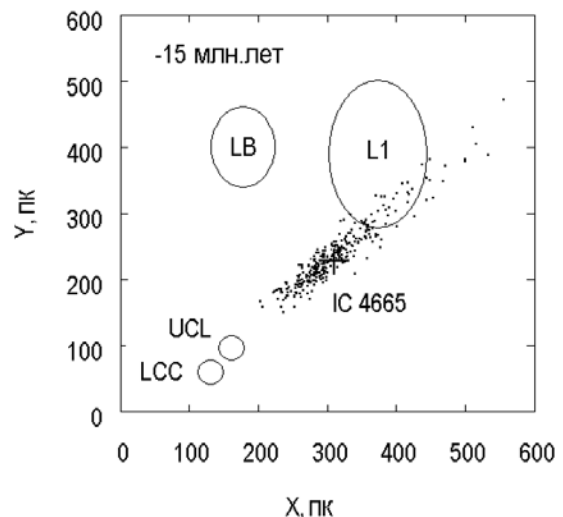


Рис. 8. Положения IC 4665, UCL и LCC, а так же Местного пузыря (LB) и Северного полярного шпура (L1) по данным Брейтшвердта, Авилеса (2006) 15 млн. лет назад.

На рис. 7 показаны положения скоплений IC 4665, Cr 359, а также членов ассоциации Скорпиона-Центавра и траектории их движения за прошедшие 30 млн. лет, так как возраст US не превышает 5 млн. лет, то соответствующая часть траектории отмечена пунктиром.

На рис. 8 показаны вычисленные нами положения скопления IC 4665, членов ассоциации Скорпиона-Центавра UCL и LCC, а так же двух пузырей – Местного (LB) и Северного полярного шпура (L1) по данным Брейтшвердта, Авилеса (2006) на момент времени $t = -15$ млн. лет. Разница в положениях центров UCL и LCC на этот момент времени, найденная из сравнения с данными Ортеги и др. (2002) или Фернандеса и др. (2006), составляет ≈ 50 пк по осям X,Y, по оси Z различие вовсе незначительное ≈ 3 пк. Эти расхождения, обусловленные различиями в моделях, мы считаем незначительными для целей настоящей работы. Отметим подход Фукса и др. (2006), когда с использованием уравнения (1) моделировались не траектории центров группировок, а индивидуальные траектории очень массивных звезд – потенциальных сверхновых. Оказалось, что на момент $t = -15$ млн. лет часть из них находилась вблизи пузыря L1 (см. рис.8). Для IC 4665, помимо координат центра, на рис. 8 указано облако из 300 точек (распределены в пределах области 3σ), вычисленные с учетом ошибок в исходных данных скопления. Как можно видеть из рисунка, доминирующий вклад вносят ошибки определения расстояния.

4. Обсуждение

4.1. Связь IC 4665 и Cr 359 с комплексом Скорпиона-Центавра

Как видно из рис. 7, на отрезке времени ≈ 30 млн. лет в прошлом край пояса Гулда, расположенный в первом квадранте, постоянно приближался к галактической плоскости. Это находится в хорошем согласии с моделью эволюции пояса Гулда, предложенной в работе Олано (2001) и согласуется с результатами модельных расчетов кинематической эволюции пояса Гулда, выполненных в работе Перро, Гренье (2003) по данным о молекулярных облаках для варианта с “пересечением галактической плоскости” (рис. 7 работы Перро, Гренье, 2003), в соответствии с которым возраст пояса Гулда составляет 51.8 ± 1.0 млн. лет. Согласно двум этим моделям, край пояса Гулда, расположенный в первом галактическом квадранте, достигает галактической плоскости в момент времени ≈ -10 млн. лет. Полученные нами результаты показывают аналогичное движение. Так, на момент $t = -15$ млн. лет, который зафиксирован на рис. 7, Z-координаты центров UCL и LCC (которые лежат в плоскости пояса Гулда) близки к 0 пк, а Z-координаты центров скоплений IC 4665 и Cr 359 (имеющие возвышение над плоскостью пояса Гулда) близки к 70 пк.

Большинство авторов считает, что ассоциация Скорпиона-Центавра является частью пояса Гулда (Зев и др., 1999; Бобылев, 2006). Однако в работе Фернандеса и др. (2008) отстаивается точка зрения о том, что эволюция ассоциации могла протекать независимо от пояса Гулда (вне гипотезы о взрыве сверхновой), что ассоциация могла образоваться из родительского облака, которое было сжато в результате столкновения со спиральной волной плотности.

Каковы бы ни были причины возникновения ассоциации, история звездообразования в ней неплохо согласуется с моделью последовательного звездообразования, предложенной Блаау (1964; 1991) и развиваемой Прейбышем и Зиннекером (1999) в применении к US.

Оценки возраста членов ассоциации Скорпиона-Центавра по данным Геуса и др. (1989) заключены в интервале 5-6 млн. лет для US, 14-15 млн. лет для UCL и 11-12 млн. лет для LCC. С ними хорошо согласуются как современные “изохронные” оценки (Мамаек и др., 2002; Сартори и др., 2003), 8-10 млн. лет для US и 16-20 млн. лет для UCL и LCC, так и кинематическая оценка возраста всей ассоциации 21 млн. лет (Бобылев, Байкова, 2007).

Полученные нами результаты показывают, что расстояние между скоплением IC 4665 с ассоциацией Скорпиона-Центавра в прошлом было существенно меньшим. Так, если в настоящее время расстояние между их центрами составляет 302 пк (UCL—IC

4665), то уже 15 млн. лет назад оно было 215 пк, а 30 млн. лет назад составляло 120 пк. Минимальное расстояние назад составляло ≈ 80 пк на момент времени -66 млн. лет, но наше модельное приближение на таком большом интервале времени уже малонадежно. Все это говорит о том, что образовались они из одного родительского облака водорода, при этом скопление IC 4665 всегда располагалось на его периферии.

Согласно модели последовательного звездообразования, ударные волны от взрывов сверхновых вызывают сжатие находящихся рядом (в окрестности ≈ 100 пк) молекулярных облаков, что провоцирует процесс звездообразования в них. По нашему мнению, роль скопления IC 4665 в эволюции ассоциации Скорпиона-Центавра могла состоять в том, что взрывы сверхновых в IC 4665 могли стимулировать начало процессов звездообразования в самой ассоциации.

В момент времени $t = -15$ млн. лет скопление IC 4665 находилось вблизи двух известных областей коронарного газа – Местного пузыря и Северного полярного шпура. По данным Хейлеса (1998) параметры Северного полярного шпура (который известен как наиболее яркая составляющая радиопетли I), полученные из анализа HI, таковы: расстояние от Солнца до центра 120 пк, координаты центра $l = 320^\circ$, $b = +5^\circ$, радиус 118 пк. Согласно модели Виллингейла и др. (2003), его можно представить как расширяющуюся сферическую сверхоболочку со следующими параметрами: расстояние 210 пк, направление центра $l = 352^\circ$, $b = +15^\circ$, радиус оболочки 140 пк. Рентгеновские наблюдения Северного полярного шпура показали, что максимум излучения с энергией $3/4$ keV наблюдается в направлении $l = 26.8^\circ$, $b = +22.0^\circ$ (Сноуден и др., 1997; Виллингейл и др., 2003; Миллер и др., 2007), т.е. на границе оболочки. Современные координаты скопления IC 4665 составляют $l = 30.6^\circ$, $b = +17.1^\circ$.

Принимая во внимание результаты, показанные на рис. 7 и рис. 8, можем заключить, что как в прошлом, так и в настоящее время, скопление IC 4665 всегда находится на расстоянии 150-200 пк от границы пузыря. Это означает, что взрывы сверхновых звезд, происходившие в скоплении IC 4665 в течение последних нескольких млн. лет могли оказывать влияние на образование Северного полярного шпура. Характер влияния заключается в том, что взрывы сверхновых звезд в скоплении IC 4665 могли давать встречный (основные взрывы в ассоциации Скорпиона-Центавра) звездный ветер, что приводит к дополнительному сжатию стенок оболочки.

4.2. Вероятное место рождения пульсара PSR B1929+10

Вариант Хугерверфа и др. (2001) о том, что звезда ζ Orh и пульсар B1929+10 могли быть компонентами двойной системы в окрестности (радиусом менее 10 пк) US около 1 млн. лет назад, рассмотрен нами с использованием современных данных для пульсара. Выполненное моделирование сближений показало, что вопреки мнению Четтерджи и др. (2004), уточненные данные для пульсара только усиливают эту гипотезу, поэтому она представляется наиболее вероятной. При этом требуется, чтобы лучевая скорость пульсара попадала в интервал $V_r = 200 \pm 50$ км/с.

Показано, что вариант двойной системы HIP86768—B1929+10 (Бобылев, 2008), которая могла существовать около 1 млн. лет назад в достаточно широкой окрестности (радиусом менее 80 пк) скопления IC 4665 также представляется возможным. Для осуществления этого варианта требуется лучевая скорость пульсара $V_r = 2 \pm 50$ км/с. В отличие от работы Бобылева (2008), в настоящей работе нами использовано более правильное значение лучевой скорости звезды HIP86768, $V_r = -26$ км/с, при этом качественно результаты для этой пары не изменились.

Заключение

На основе эпициклического приближения выполнено моделирование движения молодых рассеянных скоплений звезд IC 4665 и Collinder 359. Найдено, что 7 млн. лет назад расстояние между центрами скоплений было минимальным и составляло 36 пк.

Это говорит о том, что IC 4665 и Cr 359 образовались из одного родительского облака водорода.

Показана тесная эволюционная связь скопления IC 4665 с ассоциацией Скорпиона-Центавра. Так, около 15 млн. лет назад расстояние между центрами этих образований составляло ≈ 200 пк. В тот момент времени скопление IC 4665 находилось вблизи двух известных областей коронарного газа – Местного пузыря и Северного полярного шпура. Это означает, что взрывы сверхновых звезд, происходившие в скоплении IC 4665 в течение последних 15 млн. лет могли оказывать влияние на развитие пузыря, и Северного полярного шпура в особенности.

Анализ параметров сближения пульсара PSR B1929+10 с различными звездами в окрестности скоплений IC 4665 и Cr 359 позволяет заключить, что звезда HIP 86768 является подходящим кандидатом в качестве двойной (в прошлом) с пульсаром системы. Моделирование сближений этой пары методом Монте-Карло со значением лучевой скорости пульсара $V_r = 2 \pm 50$ км/с показало, что из 3 млн. орбит осуществляется 15795 сближений до расстояний $\Delta r < 10$ пк (0.5%), в 3091 случаях из 15795 звезда и пульсар находились не далее 80 пк от центра скопления IC 4665 около 1 млн. лет назад. Показано, что использование современных данных для пульсара повышает вероятность осуществления варианта Хугерверфа и др. (2001) о распаде двойной системы ζ Orh—B1929+10 в близкой окрестности US около 1 млн. лет назад. Моделирование сближений этой пары методом Монте-Карло со значением лучевой скорости пульсара $V_r = 200 \pm 50$ км/с показало, что из 3 млн. орбит осуществляется 74115 сближение до расстояний $\Delta r < 10$ пк (2.5%), в 5611 случаях из 74115 звезда и пульсар находились не далее 10 пк от центра US около 1 млн. лет назад.

Авторы благодарны профессору В.В. Орлову за полезные замечания и обсуждение результатов работы. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты No 05-02-17047 и No 08-02-00400), а также программы президиума РАН “Происхождение и эволюция звезд и галактик”.

Литература

- Абт, Кардона, (H.A. Abt and O. Cardona), *Astroph. J.* **272**, 182 (1983).
Бергхофер, Брейтшвердт (T.W. Berghofer and D. Breitschwerdt), *Astron. Astrophys.* **390**, 299 (2002).
Блау (A. Blaauw), *Annual Rev. of Astron. Astrophys.* **2**, 213 (1964).
Блау (A. Blaauw), *The Physics of star Formation and Early Stellar Evolution*, Ed. C.J. Lada and N.D. Kylafis (Dordrecht: Kluwer, 1991).
Бобылев В.В. Письма в Астрон. журн. **30**, 185 (2004).
Бобылев В.В. Письма в Астрон. журн. **32**, 906 (2006).
Бобылев В.В., Байкова А.Т., Письма в Астрон. журн. **33**, 643 (2007).
Бобылев В.В. Письма в Астрон. журн. **34**, 757 (2008).
Брейтшвердт, Авилес (D. Breitschwerdt and M.A. de Avillez), *Astron. Astrophys.* **452**, L1 (2006).
Брискен и др., (W.F. Brisken, J.M. Benson, W.M. Goss, et al.), *Astroph. J.* **571**, 906 (2002).
Вилен (R. Wielen), *Astron. Astrophys.* **13**, 309 (1971).
Виллингейл и др. (R. Willingale, A.D.P. Hands, R.S. Warwick, et al.), *MNRAS* **343**, 995 (2003).
Вит (W.J. de Wit, J. Bouvier, F. Palla, et al.), *Astron. Astrophys.* **448**, 189 (2006).
Волтер (F.M. Walter), *Astroph. J.* **549**, 433 (2001).
Геус и др. (E.J. de Geus, P.T. de Zeeuw, and J. Lub), *Astron. Astrophys.* **216**, 44 (1989).
Гончаров Г.А., Письма в Астрон. журн. **32**, 844 (2006).
Денен, Бинни (W. Dehnen and J.J. Binney), *MNRAS* **298**, 387 (1998).
Зев и др. (P.T. de Zeeuw, R. Hoogerwerf, J.H.J. de Bruijne et al.), *Astron. J.* **117**, 354 (1999).
Куликовский П.Г., *Звездная астрономия* (М.: Наука, 1985).
Линдبلاد (B. Lindblad), *Arkiv for Mat., Astron., och Fysik*, Bd. **20**, A, No17 (1927).
Линдبلاد (B. Lindblad), *Handbuch der Physik.* **53**, 21 (1959).
Лодью и др. (N. Lodieu, J. Bouvier, D.J. James, et al.), *Astron. Astrophys.* **450**, 147 (2006).

- Маис-Апелланис (*J. Maiz-Apellaniz*), *Astrophys. J.* **560**, L83 (2001).
- Манзи и др. (*S. Manzi, S. Randich, W.J. de Wit, et al.*), [astro-ph: 0712.0226v1], (2007).
- Мамаек и др. (*E.E. Mamajek, M. Meyer and J. Liebert*), *Astron. J.* **124**, 1670 (2002).
- Мермиюо (*J.C. Mermilliod*), *Astron. Astrophys.* **97**, 235 (1981).
- Миллер и др. (*E.D. Miller, H. Tsunemi, M.W. Bautz, et al.*), [astro-ph: 0708.4227v1], (2007).
- Моч и др. (*C. Motch, A.M. Pires, F. Haberl, et al.*), *Astroph. Space Science* **308**, 217 (2006).
- Олано (*C.A. Olano*), *Astron. Astrophys.* **121**, 295 (2001).
- Ортега и др. (*V.G. Ortega, R. de la Reza, E. Jilinski, et al.*), *Astrophys. J.* **575**, L75 (2002).
- Перро, Гренье (*C.A. Perrot and I.A. Grenier*), *Astron. Astrophys.* **404**, 519 (2003).
- Попов и др. (*S.B. Popov, M. Colpi, M.E. Prokhorov, et al.*), *Astron. Astrophys.* **406**, 111 (2003).
- Прейбшиш и Зиннекер (*T. Preibish and H. Zinnecker*), *Astron. J.* **117**, 2381 (1999).
- Проссер (*C.F. Prosser*), *Astron. J.* **105**, 1441 (1993).
- Пискунов и др. (*A.E. Piskunov, N.V. Kharchenko, S. Roser, et al.*), *Astron. Astrophys.* **445**, 545 (2006).
- Сартори и др. (*M.J. Sartori, J.R.D. Lepine and W.S. Dias*), *Astron. Astrophys.* **404**, 913 (2003).
- Сноуден и др. (*S.L. Snowden, R. Egger, M.J. Freyberg, et al.*), *Astroph. J.* **485**, 125 (1997).
- Сфейр и др. (*D.M. Sfeir, R. Lallement, F. Grifo, et al.*), *Astron. Astrophys.* **346**, 785 (1999).
- Фернандес и др. (*D. Fernandez, F. Figueras, and J. Torra*), [astro-ph: 0611766v1], (2006).
- Фернандес и др. (*D. Fernandez, F. Figueras, and J. Torra*), [astro-ph: 0801.0605v1], (2008).
- Фицджеральд (*M.P. Fitzgerald*), *Astron. J.* **73**, 983 (1968).
- Фукс и др. (*B. Fuchs, D. Breitschwerdt, M.A. Avilez, et al.*), *MNRAS* **373**, 993, (2006).
- Харченко и др. (*N.V. Kharchenko, R.-D. Scholz, A.E. Piskunov, et al.*), *Astron. Nachr.* **328**, (2007).
- Хейлес (*C. Heiles*), *Astroph. J.* **498**, 689 (1998).
- Хугерверф и др. (*R. Hoogerwerf, J.H.J. de Bruijne, and P.T. de Zeeuw*), *Astron. Astrophys.* **365**, 49 (2001).
- Четтерджи и др. (*S. Chatterjee, J.M. Cordes, W.H.T. Vlemmings, et al.*), *Astroph. J.* **604**, 339 (2004).
- The HIPPARCOS and Tycho Catalogues, ESA SP-1200, (1997).

OPEN STAR CLUSTERS IC 4665, Cr 359 AND A BIRTH PLACE OF THE PULSAR PSR B1929+10

Bobylev V.V. and Bajkova A.T.

Summary

Modelling of the epicyclic approximation of the motions of young star open clusters IC 4665 and Collinder 359 is realized. We found that 7 Myr ago the distance between the centers of the clusters was minimal and equal to 36 pc. There is established tight close evolutionary relation between the cluster IC 4665 and the association Scorpio-Centaurus. Namely, 15 Myr ago the distance between the centers of these formations was ≈ 200 pc. In addition, in this moment the center of IC 4665 was situated nearby two known regions of the coronal gas – the Local Bubble and North Polar Spur. It is shown that the known “runaway star” HIP 86768 is a suitable candidate to the component of double (in past) system with the pulsar PSR B1929+10. If we accept the radial velocity of the pulsar equal to $V_r = 2 \pm 50$ km s⁻¹ then sufficiently close approach between this couple in vicinity of IC 4665 occur ≈ 1.1 Myr ago. At the same time the use of modern data on the pulsar PSR B1929+10 with model radial velocity $V_r = 200 \pm 50$ km s⁻¹ shows that the more probable is the version of Hoogerwerf et al. (2001) on the disintegration of the double system ζ Oph—B1929+10 in the US vicinity ≈ 0.9 Myr ago.

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЙ В СКОРПИОНЕ-ЦЕНТАВРЕ И ОРИОНЕ

Бобылев В.В., Заченюк А.А.

Исследована кинематическая эволюция ОВ-ассоциаций в Орионе и Скорпионе-Центавре путем построения эпициклических орбит молодых рассеянных скоплений звезд (РСЗ), принадлежащих этим ассоциациям. Согласно современным представлениям, около десятка молодых РСЗ входят в комплекс Скорпиона-Центавра, либо являются кандидатами в принадлежность к нему. В согласии с другими авторами мы нашли, что орбиты большинства этих РСЗ либо пересекались, либо тесно сближались с их общим центром около 15 млн. лет назад. Мы нашли, что тенденция к сближению орбит в прошлом у РСЗ из комплекса Ориона выражена достаточно четко. Показано, что группировка из 15 РСЗ в комплексе Ориона занимала существенно меньший пространственный объем в интервале времени 5-15 млн. лет назад, чем тот, что они занимают в настоящее время. Полученные результаты согласуются с представлением о том, что звездные ассоциации, как в Скорпионе-Центавре, так и в Орионе имели предшествующее родительское облако, при этом в настоящее время обе ассоциации находятся в стадии расширения, а также не противоречат положениям модели последовательного звездообразования. В ассоциации Ориона мы выделили две подгруппы, каждая из них содержит по шесть РСЗ, они сопоставимы по возрасту, но имеют заметные кинематические различия, которые можно интерпретировать как раздробление родительского облака.

Введение

Вблизи от Солнца расположены две известные ОВ-ассоциации: ассоциация Скорпиона-Центавра и Ориона. Их образование, по-видимому, тесно связано с эволюцией пояса Гулда (Бобылев, 2006). Однако, индивидуальные детали их эволюции до конца не ясны. Например, в отношении возникновения ближайшей к Солнцу ассоциации Скорпиона-Центавра имеется мнение о том, что к ее образованию привело сжатие предшествующего (родительского) облака в результате воздействия на него спиральной волны плотности (Сартори и др., 2003; Фернандес и др., 2008). Рядом авторов предложены модели образования этих ассоциаций, в основе которых лежат представления о падении на галактическую плоскость высокоскоростных водородных облаков (Комерон, Тора, 1992; 1994; Балли, 2008). Наиболее проработаны детали дальнейшей эволюции ассоциаций в рамках модели последовательного звездообразования (Прейс-быш, Зиннекер, 1999).

В работе Фернандеса и др. (2008) составлен список молодых рассеянных скоплений звезд (РСЗ) и ряда небольших ассоциаций, вероятных членов ассоциации Скорпиона-Центавра. На основе анализа их орбит относительно местного стандарта покоя (МСП) был сделан вывод об их общем происхождении. В отношении ассоциации в Орионе такая работа еще не выполнялась. Она является актуальной еще и потому, что в настоящее время имеется целый набор высокоточных современных данных для осуществления такого подхода.

В настоящей работе мы хотим проанализировать возможности эпициклического приближения для определения орбит РСЗ, принадлежащих как ассоциации Скорпиона-Центавра, так и ассоциации Ориона. Главной задачей работы является ответ на вопрос: существовало ли родительское облако для ассоциации в Орионе, либо причина возникновения группировки молодых РСЗ, входящих в эту ассоциацию, связана с каким-либо другим механизмом.

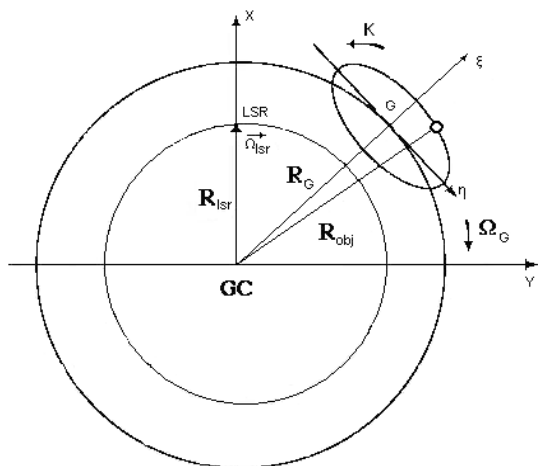


Рис. 1. Схема, поясняющая движение звезды в рамках эциклического приближения, GC — центр Галактики, R_G — радиус круговой орбиты гидирующего центра, R_{LSR} — радиус круговой орбиты местного стандарта покоя, Ω_{LSR} — угловая скорость вращения местного стандарта покоя (Ω_0), Ω_G — угловая скорость гидирующего центра, положение объекта обозначено кружком, буквой G отмечено положение гидирующего центра, k — эциклическая частота, R_{obj} — галактоцентрический радиус объекта.

1. Метод

В настоящей работе используется подвижная прямоугольная галактическая система координат с осями, направленными от наблюдателя в сторону галактического центра ($l = 0^\circ$, $b = 0^\circ$, ось ξ), в направлении галактического вращения ($l = 90^\circ$, $b = 0^\circ$, ось η) и в направлении северного полюса Галактики ($b = 90^\circ$, ось ζ), вдоль осей ξ, η, ζ направлены и соответствующие компоненты пространственной скорости объекта U, V, W . Кроме того, используем неподвижную систему координат с началом координат в центре Галактики (рис. 1).

Метод эциклического приближения (Линдблад, 1927; Кинг, 2002) позволяет построить орбиты звезд в системе координат, вращающейся вокруг центра Галактики по круговой орбите. Предполагается, что центр системы координат совпадает с местным стандартом покоя (МСП), а звезды двигаются по эциклам в направлении, противоположном вращению Галактики (рис. 1). Мы используем метод в форме, которая дана в работе Фукса и др. (2006):

$$\begin{aligned} \xi(t) &= \xi(0) + \frac{U(0)}{\kappa} \sin(\kappa t) + \frac{V(0)}{2B} (1 - \cos(\kappa t)), \\ \eta(t) &= \eta(0) + 2At \left(X(0) + \frac{V(0)}{2B} \right) - \frac{\Omega_0}{B\kappa} V(0) \sin(\kappa t) + \frac{2\Omega_0}{\kappa^2} U(0) (1 - \cos(\kappa t)), \\ \zeta(t) &= \frac{W(0)}{\nu} \sin(\nu t) + \zeta(0) \cos(\nu t), \end{aligned} \quad (1)$$

где t — время в млн. лет (пк/млн. лет = 0.978 км/с), которое мы отсчитываем в прошлое; $\kappa = \sqrt{-4\Omega_0 B}$ — эциклическая частота; A и B — постоянные Оорта, $\Omega_0 = A - B$ — угловая скорость галактического вращения местного стандарта покоя; $\nu = \sqrt{4\pi G \rho_0}$ — частота вертикальных колебаний, где G — гравитационная постоянная, а ρ_0 есть звездная плотность в околосолнечной окрестности. Параметры $\xi(0), \eta(0), \zeta(0)$ и $U(0), V(0), W(0)$ в системе уравнений (1) обозначают современные положения и скорости объектов. Скорости U, V, W мы даем относительно местного стандарта покоя, имеющего значения $(U, V, W)_{MSP} = (10.00, 5.25, 7.17)$ км/с (Денен, Бинни, 1998). Следуя Фуксу и др. (2006), мы приняли $\rho_0 = 0.1 M_\odot/\text{пк}^3$, что дает $\nu = 0.074$ км/с/пк. Приняты так же следующие значения постоянных Оорта $A = 13.7 \pm 0.6$ км/с/кпк и $B = -12.9 \pm 0.4$

км/с/кпк, которые были найдены в работе Бобылева (2004) из анализа независимых определений этих параметров различными авторами, тогда $k = 0.037$ км/с/кпк.

2. Результаты и обсуждение

2.1. Ассоциация Скорпиона-Центавра

Впервые комплекс Скорпиона-Центавра был поделен на три составных части в работе Бляу (1964): US (Upper Scorpius), UCL (Upper Centaurus Lupus) и LCC (Lower Centaurus Crux). В работе Зева и др. (1999) был выполнен анализ звезд HIPPARCOS (1997), и были найдены 120 членов US, 221 член UCL и 180 членов LCC. Расстояние до ассоциации US оказалось равным 145 ± 2 пк, до UCL – 140 ± 2 пк, до LCC – 118 ± 2 пк. По современным представлениям, этот комплекс представляет собой область, звездообразование в которой завершилось относительно недавно. Этот комплекс содержит значительную долю наиболее массивных звезд в окрестности Солнца.

Согласно оценкам Геуса (1989), члены ассоциации имеют следующий возраст: 5-6 млн. лет для US, 14-15 млн. лет для UCL и 11-12 млн. лет для LCC. Однако, после изучения маломассивных звезд в этих ассоциациях были получены новые оценки возрастов каждой из компонент комплекса: 8-10 млн. лет для US, 16-20 млн. лет для UCL и LCC (Сартори и др. 2003; Мамаек и др. 2002). Необходимо отметить, что Прейбш, Зиннекер (1999), исходя из диаграммы Герцшпрунга-Рассела для звезд с массами от 0.1 до 20 солнечных масс для ассоциации US, вновь получили возраст ≈ 5 млн. лет.

Средние значения координат и скоростей РСЗ, приведенные в работе Фернандеса и др. (2008), были получены на основе списков звезд HIPPARCOS из работ Зева и др. (1999), Сартори и др. (2003), и дополнены рядом других звезд. Т.о., список молодых РСЗ и ряда молодых локальных ассоциаций Фернандеса и др. (2008) является на данный момент наиболее полным списком кандидатов в принадлежность к ассоциации Скорпиона-Центавра. Перечислим эти объекты: US, UCL, LCC, β Pic, Tuc/Hor, ϵ Cha, η Cha, TWA Нуа, Ext R CrA, HD 141569 и AB Dor.

Мы вычислили орбиты на промежутке времени от 0 млн. лет до -30 млн. лет всех 11-ти РСЗ, которые согласно Фернандесу и др. (2008) могут принадлежать комплексу

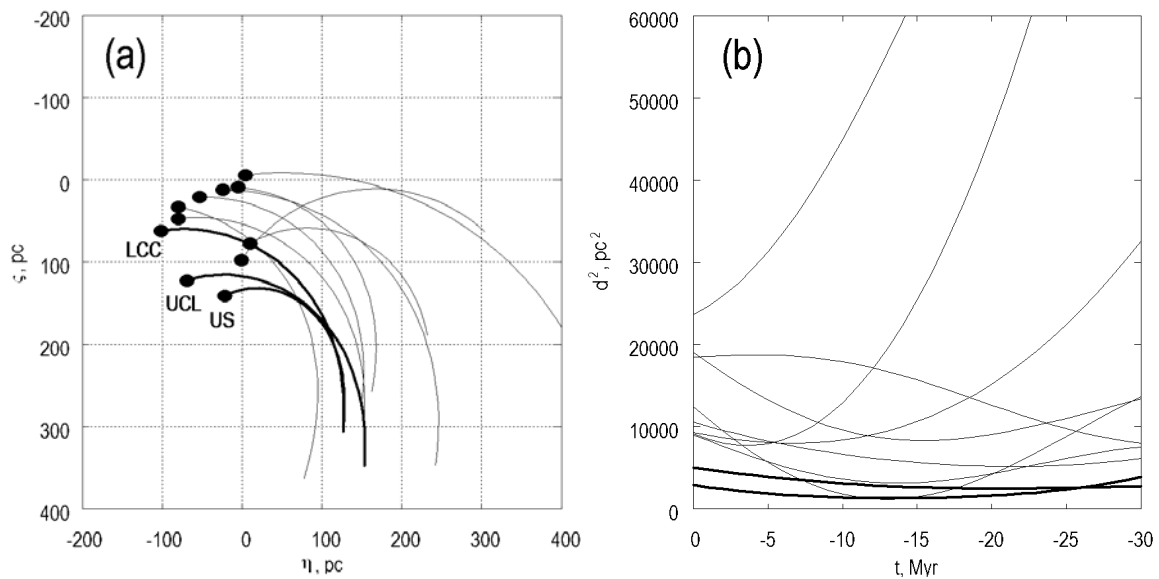


Рис. 2. (а) — положения и траектории относительно местного стандарта покоя группировки РСЗ в Скорпионе-Центавре на временном интервале 30 млн. лет в прошлом, (б) — квадрат расстояния каждого члена группировки от траектории UCL (который взят в качестве центра масс). Траектории трех членов ассоциации — US, UCL и LCC выделены жирными линиями.

Скорпиона-Центавра. Построенные орбиты показаны на рисунке 2а. По оси абсцисс отложено расстояние от Солнца в пк вдоль оси y , направленной по направлению вращения Галактики, по оси ординат отложено расстояние от Солнца вдоль оси x , направленной в центр Галактики. На рисунке 2б показан квадрат расстояния объекта от опорной орбиты, d^2 , как функция времени, значение которого вычислено по формуле:

$$d^2 = (\xi(t) - \bar{\xi}(t))^2 + (\eta(t) - \bar{\eta}(t))^2 + (\zeta(t) - \bar{\zeta}(t))^2, \quad (2)$$

где $\bar{\xi}(t), \bar{\eta}(t), \bar{\zeta}(t)$ — параметры опорной орбиты, вычисляемые как средние из начальных координат $\xi(0), \eta(0), \zeta(0)$ и скоростей $U(0), V(0), W(0)$ определенной выборки.

В случае ассоциации Скорпиона-Центавра орбита UCL служит опорной. Из правого графика хорошо видно, что большинство из рассматриваемых объектов занимали существенно меньший пространственный объем в интервале времени 10-25 млн. лет назад, чем они занимают в настоящее время. В целом это находится в хорошем согласии с оценкой кинематического возраста ассоциации Скорпиона-Центавра, 21 ± 4 млн. лет (Бобылев, Байкова, 2007).

В работе Фернандеса и др. (2008) были построены орбиты комплекса Скорпиона-Центавра и местных локальных ассоциаций в потенциале Галактики с учетом спиральной волны плотности. Полученные нами траектории РСЗ, которые являются кандидатами в члены ассоциации Скорпиона-Центавра, находятся в хорошем согласии с результатами работы Фернандеса и др. (2008). По данным рис. 2б можем отделить три объекта, для которых $d^2 > 30000 \text{ пк}^2$ в момент времени -30 млн. лет. Это АВ Dog (возраст 30-150 млн. лет), расстояние которой от UCL сразу увеличивается, а также Ext CrA (13 млн. лет) и HD 141569 (5 млн. лет). Можем видеть, что в случае Ext CrA и HD 141569 имеется сближение с центром ассоциации в момент времени около -5 млн. лет, что неплохо согласуется с оценками их возраста. Таким образом, из 11-ти рассмотренных объектов только один необходимо исключить из списка кандидатов, а именно АВ Dog.

2.2. Ассоциация Ориона

Комплекс Ориона является одним из ближайших к Солнцу районом звездообразования, которое происходит непосредственно в данный момент. Помимо звездной составляющей, здесь сосредоточены комплексы молекулярных и пылевых облаков, вся область окружена нейтральным водородом HI, имеется ряд зон ионизованного водорода HII, а также гигантская область горячего высокотемпературного газа — пузырь в Орионе/Эридане. Обзор современных проблем, связанных с изучением комплекса в Орионе, можно найти в работе Балли (2008).

Ассоциация Орион OB1 состоит из последовательности звездных группировок различного возраста, которые в пространстве координат частично перекрываются друг с другом. Согласно Блау (1964), ассоциацию Ориона делят на четыре подгруппы, состоящие из OB-звезд: OB1a, OB1b, OB1c и OB1d. С другой стороны, в эту ассоциацию входит целый ряд РСЗ: NGC 1977, NGC 1980, NGC 2232, σ Ori, λ Ori. Согласно новому отождествлению Харченко и др. (2005), к ассоциации Ориона принадлежат такие РСЗ, как ASCC16, ASCC18, ASCC19, ASCC20, ASCC21.

Исходные данные о координатах, собственных движениях, лучевых скоростях и возрасте РСЗ взяты нами из каталогов COCD (Харченко и др., 2005) и CRVOCA (Харченко и др., 2007). Современные положения и скорости этих РСЗ даны в таблице 1, которая составлена согласно списку РСЗ, принадлежащих поясу Гулда (Бобылев, 2006). В нашу задачу входит разделение на РСЗ фона (пояса Гулда) и РСЗ, наиболее тесно связанных с ассоциацией Ориона по кинематическим свойствам.

Таблица 1. Параметры РСЗ, расположенных в пределах ассоциации Ориона.

ξ , пк	η , пк	ζ , пк	U, км/с	V, км/с	W, км/с	Возраст, млн. лет.	РСЗ
-407.7	-156.3	-144.7	-18.4	-8.2	-5.4	8	ASCC16
-439.4	-178.2	-158.5	-21.0	-9.6	-5.8	13	ASCC 18
-302.0	-42.4	-55.5	-17.0	-11.4	-7.1	26	Cr 65
-265.7	-182.1	-42.6	-15.2	-10.8	-10.1	54	NGC 2232
-312.6	-148.1	-37.7	-9.6	-7.6	-11.1	60	Platais 6
-299.3	-138.8	-116.6	-16.4	-9.2	-6.2	44	ASCC 19
-338.1	-157.9	-116.5	-16.5	-9.3	-5.9	10	Cr 70
-339.9	-171.7	-118.9	-25.0	-16.4	-3.4	13	σ Ori
-329.1	-182.5	-132.4	-23.1	-16.2	-7.1	13	NGC 1976
-333.7	-178.1	-130.0	-24.5	-11.9	-6.5	32	NGC 1981
-413.7	-111.2	-91.1	-28.3	-11.6	-7.8	11	Cr 69
-398.7	-158.4	-135.5	-20.8	-7.1	-6.5	22	ASCC 20
-450.9	-162.8	-141.8	-17.2	-8.2	-5.2	13	ASCC 21
-415.2	-225.2	-163.8	-18.7	-17.6	-5.3	12	NGC 1977
-450.9	-255.2	-184.4	-18.4	-12.5	-6.2	5	NGC 1980

Положения в прошлом и траектории в галактической системе координат группировки РСЗ в Орионе, построенные на интервалах времени, соответствующих номинальному возрасту каждого РСЗ, отражены на рис. 3. Хорошо видно сгущение наиболее молодых РСЗ, которые не успели далеко удалиться от места своего рождения. Однако, представленная на рис.3 картина является двумерной, поэтому более интересным для целей настоящей работы представляется рассмотрение относительных орбит с анализом трехмерного параметра сближения d (формула (2)).

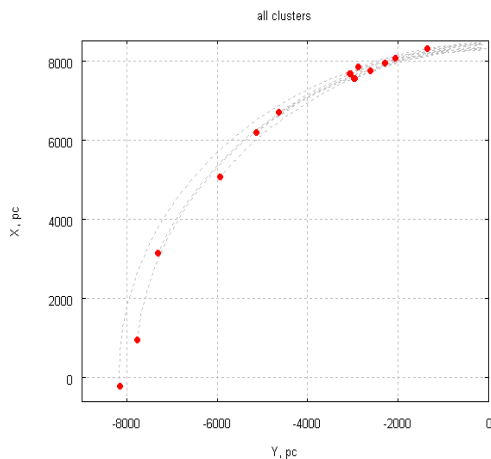


Рис. 3. Положения в прошлом и траектории в галактической системе координат группировки РСЗ в Орионе, построенные на временных интервалах, соответствующих номинальному возрасту каждого РСЗ, Солнце находится в точке с координатами $(X, Y) = (8000, 0)$ пк.

Траектории выборки РСЗ в Орионе относительно местного стандарта покоя на временном интервале 30 млн. лет в прошлом, и квадрат расстояния членов группировки от траектории опорной орбиты даны на рис. 4 и 5. Между этими рисунками различие в том, что в первом случае (рис. 4b) параметры опорной орбиты вычислены на основе всей выборки РСЗ, а во втором случае (рис. 5b) — с использованием только шести избранных РСЗ.

Как можно видеть из рис. 4b, девять РСЗ занимали существенно меньший пространственный объем в интервале времени от -20 млн. лет до -25 млн. лет. Траектории

ряда РСЗ не попадают в эту область только потому, что они очень молоды. Это такие РСЗ, как σ Og1 и Cr69. Из анализа траекторий, показанных на рис. 4b, можем заключить, что около 25 млн. лет назад вполне могло существовать родительское облако-предшественник для ассоциации Ориона.

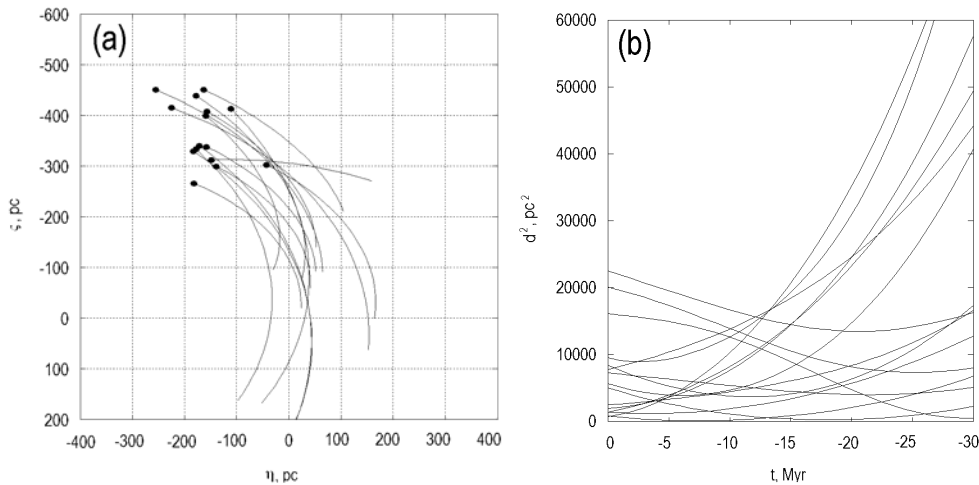


Рис. 4. (а) — положения и траектории относительно местного стандарта покоя группировки РСЗ в Орионе на временном интервале 30 млн. лет в прошлом, **(б)** — квадрат расстояния каждого члена группировки от траектории геометрического центра всей выборки РСЗ.

Далее мы делаем вторую итерацию. На основе данных рис. 4b мы выделили шесть РСЗ, для которых значение $d^2 < 8000 \text{ пк}^2$ в момент времени -12 млн. лет, и вычислили новые параметры опорной орбиты. Результаты отражены на рис.5.

Из рис. 5b хорошо видно, что все 15 РСЗ занимали существенно меньший пространственный объем 10-15 млн. лет назад, чем тот, что они занимают в настоящее время или тот, что они занимали около 30 млн. лет назад. Сравнение рис. 4b и 5b показывает, что на второй итерации (рис.5b) существенно усилилась дифференциация группировок. В итоге мы можем выделить три группировки РСЗ.

К первой группе мы отнесли следующие шесть скопления: ASCC16, ASCC18, ASCC19, ASCC20, NGC1977 и Cr70. Их траектории выделены жирными линиями на рис. 5b. Средний возраст группы составляет 18 млн. лет. Параметры центра масс были вычислены с использованием девяти наиболее молодых скопления (таблица 1). Из рис.5b хорошо видно, что в интервале времени от -8 млн. лет до -10 млн. лет расстояние практически каждого члена группировки от предполагаемого центра масс было минимальным.

Вторая группа содержит шесть скопления: σ Og1, ASCC21, NGC1976, NGC1980, NGC1981 и Cr69, траектории которых проведены тонкими линиями на рис. 5b. Средний возраст группы составляет 15 млн. лет. Как видно из рис. 5b, траектории всех членов этой группировки занимали очень компактную область \approx -8 млн. лет назад.

Три скопления – Platais 6, NGC2232 и Cr65, – имеющие $d^2 > 15000 \text{ пк}^2$ в настоящий момент времени, отмечены пунктиром на рис. 5b. Очевидно, что их слишком мало, чтобы рассматривать их в качестве самостоятельной группировки. Согласно таблице 1, это одни из самых старых наших РСЗ. Как можно видеть из рис.5a, одна траектория идет практически параллельно оси η , это траектория скопления Platais 6. Значение лучевой скорости для этого скопления весьма ненадежны. В работе Бобылева (2006) было использовано значение $V_r = 26 \pm 13 \text{ км/с}$, для вычисления которого использованы 2 звезды этого РСЗ. В настоящей работе нами использовано значение $V_r = 13 \pm 15 \text{ км/с}$, вычисленное по 3 звездам скопления Platais 6 (Харченко и др., 2007). Траектории скопления NGC2232 и Cr65 на рис. 5b неплохо согласуются с представлением о том, что они

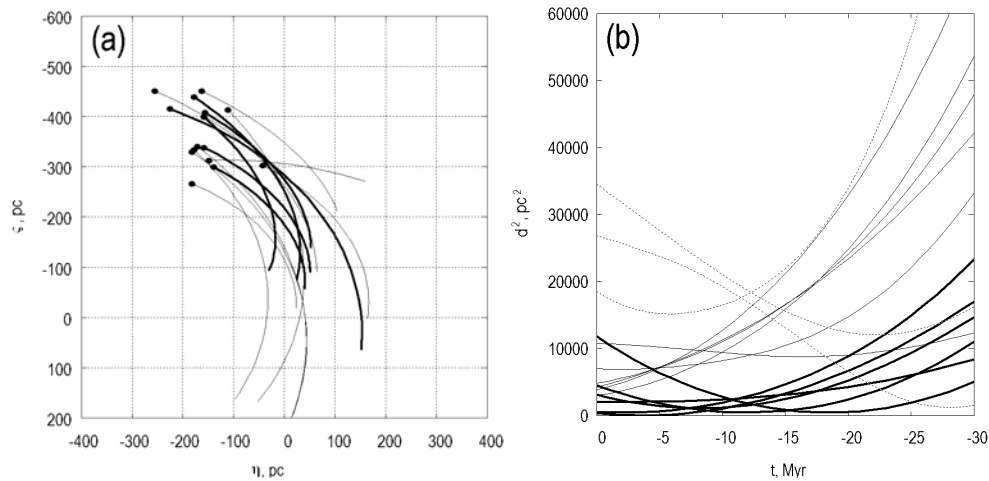


Рис. 5. (а) — положения и траектории относительно местного стандарта покоя группировки РСЗ в Орионе на временном интервале 30 млн. лет в прошлом, (б) — квадрат расстояния каждого члена группировки от траектории центра масс (вычислен по РСЗ, траектории которых выделены жирными линиями).

имеют общее происхождение с предшественником группировки I. В этом отношении выделенная нами группа I представляет наибольший интерес, т.к. она является, по нашему мнению, развитием родительского облака-предшественника для ассоциации Ориона.

3. Заключение

Проанализирована кинематическая эволюция ОВ-ассоциаций в Орионе и Скорпионе-Центавре путем построения эпициклических орбит рассеянных скоплений звезд, принадлежащих этим ассоциациям.

Рассмотрены молодые РСЗ, которые входят в комплекс Скорпиона-Центавра, либо являются кандидатами в принадлежность к нему согласно списку Фернандеса и др. (2008). Мы нашли, что орбиты большинства этих РСЗ либо пересекались, либо тесно сближались с их общим центром 15-20 млн. лет назад. Мы нашли, что членами ассоциации являются 10 объектов: US, UCL, LCC, β Pic, Tuc/Hor, ϵ Cha, η Cha, TWA Hya, Ext R CrA и HD 141569.

Тенденция к сближению орбит в прошлом у РСЗ из комплекса Ориона выражена достаточно четко. Параметры сближения показывают, что вся группировка из 15 рассмотренных РСЗ занимала существенно меньший пространственный объем 10-15 млн. лет назад, чем тот, что они занимают в настоящее время.

Полученные результаты согласуются с представлением о том, что звездные ассоциации, как в Скорпионе-Центавре, так и в Орионе имели предшествующее родительское облако (для каждой ассоциации свое), при этом в настоящее время обе ассоциации находятся в стадии расширения.

Полученные результаты также не противоречат положениям модели последовательного звездообразования. Это заключение мы делаем на основании того, что в список кандидатов, как в случае ассоциации Скорпиона-Центавра, так и Ориона, входят очень молодые РСЗ, но их траектории в прошлом не удаляются далеко от общего центра соответствующей ассоциации, либо соответствующей группировки РСЗ, как в случае ассоциации в Орионе.

Полученные данные позволили выделить две группировки РСЗ в Орионе. Они имеют одинаковый средний возраст ≈ 15 млн. лет, в настоящий момент их члены перемешаны между собой в пространстве координат, но различаются по кинематике. К пер-

вой группировке, мы отнесли шесть PC3: ASCC16, ASCC18, ASCC19, ASCC20, NGC1977 и Cr70. Во вторую группировку, вошли скопления σ Or, ASCC21, NGC1976, NGC1980, NGC1981 и Cr69. Кинематические различия между этими подгруппами можно интерпретировать как раздробление предшествующего родительского облака.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант No 08-02-00400), а также программы президиума РАН “Происхождение и эволюция звезд и галактик”.

Литература

- Балли (J. Bally)*, Overview of the Orion Complex, arXiv [astro-ph]: 0812.0046 (2008).
Блау (A. Blaauw), Annual Rev. of Astron. Astrophys. **2**, 213 (1964).
Бобылев В.В. Письма в Астрон. журн. **30**, 185 (2004).
Бобылев В.В. Письма в Астрон. журн. **32**, 906 (2006).
Бобылев В.В., Байкова А.Т., Письма в Астрон. журн. **33**, 643 (2007).
Геус и др. (E.J. de Geus, P.T. de Zeeuw, and J. Lub), Astron. Astrophys. **216**, 44 (1989).
Денен, Бинни (W. Dehnen and J.J. Binney), MNRAS **298**, 387 (1998).
Зев и др. (P.T. de Zeeuw, R. Hoogerwerf, J.H.J. de Bruijne et al.), Astron. J. **117**, 354 (1999).
Кинг А.Р., Введение в классическую звездную динамику, Москва: УРСС, (2002).
Комерон, Торра (F. Comeron, and J. Torra), Astron. Astrophys. **261**, 94 (1992).
Комерон, Торра (F. Comeron, and J. Torra), Astron. Astrophys. **281**, 35 (1994).
Линдبلاد (B. Lindblad), Arkiv for Mat., Astron., och Fysik, Bd. **20**, A, No17 (1927).
Мамаек и др. (E.E. Mamajek, M.Meyer and J. Liebert), Astron. J. **124**, 1670 (2002).
Прейбшиш и Зиннекер (T. Preibish and H. Zinnecker), Astron. J. **117**, 2381 (1999).
Сартори и др. (M.J. Sartori, J.R.D. Lepine and W.S. Dias), Astron. Astrophys. **404**, 913 (2003).
Фернандес и др. (D.Fernandez, F.Figuera, and J.Torra), [astro-ph: 0801.0605v1], (2008).
Фукс и др. (B. Fuchs, D. Breitschwerdt, M.A. Avilez, et al.), MNRAS **373**, 993, (2006).
Харченко и др. (N.V. Kharchenko, A.E. Piskunov, S. Roeser, et al.), Astron. Astrophys. **440**, 403 (2005).
Харченко и др. (N.V. Kharchenko, R.-D. Scholz, A.E. Piskunov, et al.), Astron. Nachr. **328**, (2007).
The HIPPARCOS and Tycho Catalogues, ESA SP-1200, (1997).

KINEMATIC EVOLUTION OF THE OPEN CLUSTERS IN THE SCORPIUS-CENTAURUS AND ORION

Bobylev V.V. and Zachenyuk A.A.

Summary

We have investigated the kinematic evolution of Orion and Scorpius-Centaurus (Sco-Cen) OB associations by calculating epicyclic orbits of young open star clusters, pertaining to these associations. According to the modern conception, Sco-Cen contains approximately ten likely members. We have found out, that most of the orbits of members of Sco-Cen complex whether closely approached each other or intersected about 15 Myr. These results are in a very good accordance with other authors. We also have found that the tendency towards approaching of Orion members' orbits in the past is right clear. We show that all 15 open clusters in Orion occupied considerably smaller special extent 5-15 Myr ago than they occupy at present. Obtained results are consistent with the conception that stellar associations both in Sco-Cen and in Orion had former parental cloud as their origin. We have found out that at present time both Sco-Cen and Orion complexes are in the stage of expansion, and their former positions as well as the orbits traced back in time do not contradict the model of sequential star formation. In Orion association we selected two subgroups, each of them consists of six open clusters. These subgroups are of comparable age but have significant kinematic differences which can be interpreted as dissociation of a parent cloud.

МОДЕЛИ ДВОЙНЫХ АСТЕРОИДОВ (137170) 1999 HF1 И 2006 VV2, СБЛИЖАЮЩИХСЯ С ЗЕМЛЕЙ

Верещагина И.А., Девяткин А.В., Горшанов Д.Л.

На основе имеющихся на сегодняшний день данных о двойных астероидах 137170 (1999 HF1) и 2006 VV2, а также новых данных, полученных авторами из наблюдений этих астероидов в 2008 году, были предложены возможные простейшие модели рассматриваемых объектов.

Введение

Двойные астероиды 137170 (1999 HF1) и 2006 VV2 весной 2008 года находились в стадии очередного сближения с Землей. В этот период на телескопах ЗА-320М и МТМ-500М Пулковской обсерватории были получены фотометрические наблюдения этих объектов. Полученные новые наблюдательные данные для астероида 2006 VV2 значительно дополнили информацию о данном объекте и были детально проанализированы в статье [1]. Многочисленные наблюдения астероида 137170 (1999 HF1) в настоящее время еще находятся в стадии обработки, но предварительные результаты, необходимые для построения простейшей модели данного астероида, приводятся в настоящей работе. При построении моделей данных астероидов, помимо свежих наблюдательных данных, также принималась в расчет вся доступная на сегодняшний момент информация об этих объектах [2-4, 14].

На основе всей имеющейся информации были построены модели упомянутых двойных астероидов, позволившие уточнить недостающие параметры, в первую очередь такие, как форма и размеры центрального компонента двойной системы, а также параметры орбиты спутника. Динамическое моделирование, кроме того, показало возможность существования устойчивых двойных систем с полученными оценками параметров.

1. Модели двойной системы

Реальный двойной астероид представляет собой систему двух тел достаточно сложной формы. При этом, за редким исключением [5], двойная система, как правило, состоит из центрального, более крупного тела, и небольшого спутника. Кривая блеска такого двойного астероида, прежде всего, отражает неправильную форму центрального тела. Наличие же спутника проявляется в виде локального падения блеска вследствие затмений и покрытий (взаимных явлений, [6]) или косвенных признаков, таких как присутствие дополнительного периода изменения блеска, связанного с вынужденной прецессией оси вращения центрального тела [7, 8]. Именно такими кривыми блеска и обладают рассматриваемые в настоящей работе двойные астероиды 137170 (1999 HF1) и 2006 VV2 [2-4, 14].

При построении моделей рассматриваемых астероидов в обоих случаях спутник считался сферическим. Принимая в расчет соотношение размеров центрального тела и спутника для данных объектов [2], становится очевидным, что данное предположение вполне допустимо в пределах точности предлагаемых моделей. Хотя построенная и описываемая ниже «полная» модель двойной системы, в общем случае, и предполагает спутник несферическим, но воспользоваться этим пока не представляется возможным из-за элементарного отсутствия всей необходимой для этого информации об изучаемых астероидах на сегодняшний день.

Следующее принятое здесь ограничение заключалось в том, что центральное тело считалось трехосным эллипсоидом. В настоящее время существует множество работ, посвященных построению более сложных моделей формы астероидов. Широкое распространение имеет метод инверсии [9], позволяющий по структуре кривой блеска восстановить форму объекта. Однако в данной работе был сделан акцент на построении динамической модели системы двух тел, т.е. модели поступательно-вращательного движения двух тел сложной формы, а не на получении точной формы одного из компонентов системы. Поэтому сделанное предположение о форме центрального тела в данном случае является разумным упрощением задачи.

В настоящей работе рассматривались две модели, условно называемые здесь «простая» модель и «полная» модель.

«Полная» модель представляет собой модель поступательно-вращательного движения двух тел, каждое из которых представляет собой трехосный эллипсоид. Уравнения движения для такой задачи были получены Г.Н. Дубошиным [10] и подробно описаны, например, в работе [7]. Данные уравнения не имеют аналитического решения и решаются с помощью численного интегрирования. Описываемая система уравнений для задачи двух тел имеет вид

$$\begin{aligned} x_1' &= V_{x_1} \\ y_1' &= V_{y_1} \\ z_1' &= V_{z_1} \\ V_{x_1}' &= \frac{(m_0 + m_1)}{m_0 m_1} \frac{\partial U_{10}}{\partial x_1} \\ V_{y_1}' &= \frac{(m_0 + m_1)}{m_0 m_1} \frac{\partial U_{10}}{\partial y_1} \\ V_{z_1}' &= \frac{(m_0 + m_1)}{m_0 m_1} \frac{\partial U_{10}}{\partial z_1} \end{aligned} \tag{1}$$

$$A_i p_i' - (B_i - C_i) q_i r_i = \left(\frac{\partial U}{\partial \psi_i} - \cos \theta_i \frac{\partial U}{\partial \varphi_i} \right) \frac{\sin \varphi_i}{\sin \theta_i} + \cos \varphi_i \frac{\partial U}{\partial \theta_i}$$

$$B_i q_i' - (C_i - A_i) r_i p_i = \left(\frac{\partial U}{\partial \psi_i} - \cos \theta_i \frac{\partial U}{\partial \varphi_i} \right) \frac{\cos \varphi_i}{\sin \theta_i} - \sin \varphi_i \frac{\partial U}{\partial \theta_i}$$

$$C_i r_i' - (A_i - B_i) p_i q_i = \frac{\partial U}{\partial \varphi_i}$$

$$p_i = \psi_i' \sin \varphi_i \sin \theta_i + \theta_i' \cos \varphi_i$$

$$q_i = \psi_i' \cos \varphi_i \sin \theta_i - \theta_i' \sin \varphi_i$$

$$r_i = \psi_i' \cos \theta_i + \varphi_i'$$

$$(i = 0, 1)$$

Здесь, (x_1, y_1, z_1) и $(\varphi_i, \psi_i, \theta_i)$ — прямоугольные координаты и углы Эйлера соответствующих тел, m_i — масса соответствующего тела, A_i, B_i, C_i — главные центральные моменты инерции, p_i, q_i, r_i — проекции угловой скорости вращения тела в собственной для этого тела системе координат, которые связаны с углами Эйлера с помощью кинематических уравнений [10], U_{ij} — соответствующий потенциал. Движение происходит

в системе, начало координат которой расположено в центре главного (более крупного) тела, обозначаемого индексом «0».

Потенциал данной системы в общем случае представляется в виде разложения в ряд [10]. В данной модели были использованы первые три члена разложения потенциала. Такое приближение годится для тел совершенно произвольной формы при условии, что их линейные размеры достаточно малы по сравнению с расстоянием между телами, и за собственные оси координат выбраны главные, центральные оси инерции этих тел [11]. В случае реальных астероидов это условие выполняется далеко не всегда. Поэтому для случая тесных двойных систем, а также для сравнения получаемых результатов была использована еще одна модель.

Эта модель является более «простой» в сравнении с рассмотренной, но зато потенциал для нее вычисляется точно, и, таким образом, отпадают всякие ограничения по расстоянию. «Простая» модель двойной системы подразумевает центральное тело также в виде трехосного эллипсоида, но спутник считается материальной точкой, орбита которой полностью лежит в плоскости экватора центрального тела (плоская задача). Движение рассматривается в системе координат, вращающейся вместе с центральным телом. Уравнения движения для «простой» задачи получаются из общих уравнений (1) [10]:

$$\begin{aligned}x_1' &= V_{x_1} \\y_1' &= V_{y_1}\end{aligned}\tag{2}$$
$$\begin{aligned}V_{x_1}' &= 2\omega_0 y_1' + \omega_0^2 x_1' + \frac{\partial U}{\partial x_1} \\V_{y_1}' &= -2\omega_0 x_1' + \omega_0^2 y_1' + \frac{\partial U}{\partial y_1}\end{aligned}$$

Здесь, ω_0 — угловая скорость вращения центрального тела. Составляющие потенциала представляются в виде эллиптических интегралов, которые вычисляются стандартными математическими методами:

$$\begin{aligned}\frac{\partial U}{\partial x_1} &= \frac{-3Gm_0 x_1}{2} \int_{\lambda}^{\infty} \frac{ds}{(a^2 + s)^{3/2} (b^2 + s)^{1/2} (c^2 + s)^{1/2}} \\ \frac{\partial U}{\partial y_1} &= \frac{-3Gm_0 y_1}{2} \int_{\lambda}^{\infty} \frac{ds}{(a^2 + s)^{1/2} (b^2 + s)^{3/2} (c^2 + s)^{1/2}}\end{aligned}\tag{3}$$

Здесь, a, b, c — оси трехосного эллипсоида центрального тела, $\lambda = \lambda(a, b, x_1, y_1)$ вычисляется как положительный корень квадратного уравнения.

Для обеих моделей, дифференциальные уравнения решались с помощью численного интегрирования методом Дорманда-Принца [12], в основе которого лежит метод Рунге-Кутты 8-го порядка. Точность интегрирования составила $\sim 10^{-7}$ км.

2. Астероид 137170 (1999 HF1)

Двойной астероид 137170 (1999 HF1) состоит из двух компонентов с диаметрами 3.73 и 0.8 км соответственно [2, 3]. В кривой блеска данного объекта присутствуют два периода [3] — 2.31912 и 14.017 часов, первый из которых относится к осевому вращению главного (более крупного) компонента, а второй — к орбитальному периоду вто-

рого компонента (спутника). Масса системы оценивается как 4.5×10^{13} кг, а плотность ~ 2 г/см³. Оценка большой полуоси орбиты спутника составляет около 7 км. Это вся доступная информация о данном объекте на сегодняшний день.

Исследуемый астероид находился вблизи Земли с марта по июль 2008 года. В течение этого периода была проведена серия фотометрических наблюдений на телескопах ЗА-320М и МТМ-500М Пулковской обсерватории. Обработка этих многочисленных данных еще продолжается в настоящее время. Чтобы понять общий характер кривой блеска, были взяты наблюдения, полученные в течение четырех ближайших дат — 2, 15, 22 и 23 апреля 2008 года. Наблюдения были обработаны методом дифференциальной фотометрии, описанным в [1], и приведены к одной фазе, начало которой соответствует 23.04.2008 23.^h36328. Данные кривые блеска показаны на рис. 1. Изменение блеска объекта здесь является относительным, без привязки к фотометрическим стандартам.

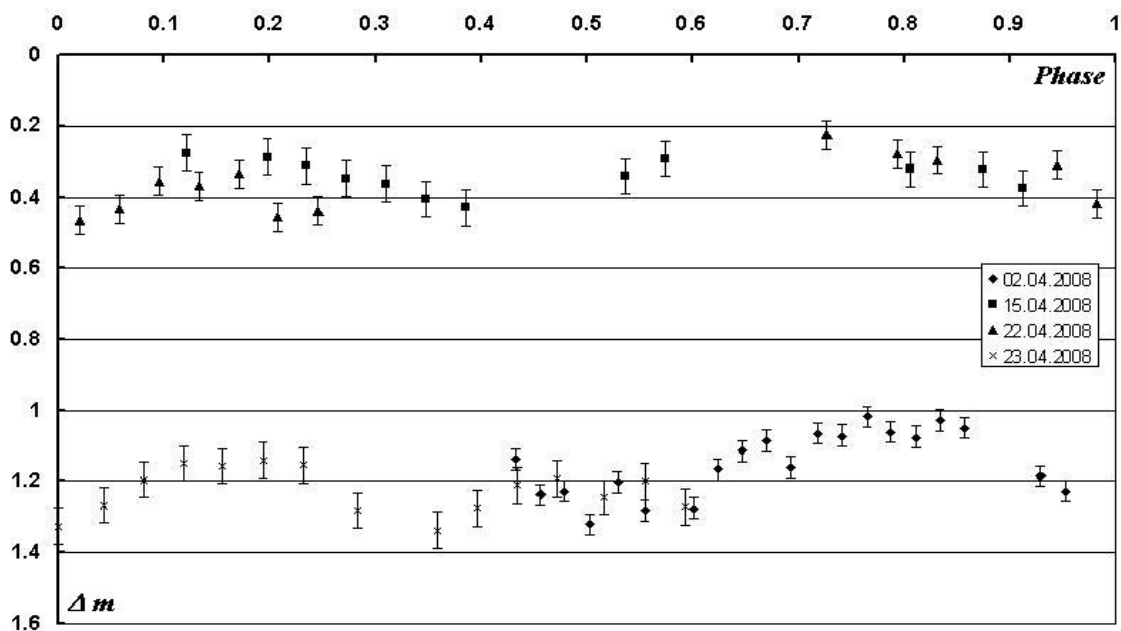


Рис. 1. Кривые блеска астероида 137170 (1999 HF1), полученные в разные даты и приведенные к одной фазе. Вертикальная ось отображает блеск объекта относительно опорных звезд.

Из полученных наблюдений видно, что изменение блеска при осевом вращении главного компонента составляет $\sim 0.2^m$. Таким образом, можно определить отношение размеров компонента в виде отношения полуосей эллипсоида a и b :

$$\Delta m = -2.5 \lg \frac{\pi bc}{\pi ac} . \quad (4)$$

Кроме того, зная эквивалентный радиус главного компонента, который составляет 1.865 км [2, 3], можно найти отношение между полуосями эллипсоида a и c . В результате, получаются следующие соотношения:

$$\frac{a}{b} \approx 1.2, \quad c \approx \frac{7.78426755}{a^2} . \quad (5)$$

Таким образом, единственным свободным параметром в данной модели является полуось трехосного эллипсоида a .

Моделирование производилось с помощью обеих моделей, «простой» и «полной». Был проведен ряд экспериментов с разными значениями полуоси a . При этом для каждого заданного значения a рассчитывались соответствующие значения b и c . При подборе значений для a учитывалось условие $a > b > c$. В результате, был получен интервал значений a , при которых возможна устойчивая орбита:

$$a \in [2.11, 2.14] \text{ км.} \quad (6)$$

Моделирование показало, что существование устойчивых орбит с периодом 14.017 часов, который известен достаточно надежно, поскольку определяется непосредственно из кривой блеска астероида, возможно только при радиусе спутника 0.46 км. Большая полуось орбиты при этом составляет 6.2 км. По III закону Кеплера, масса двойной системы должна составлять 5.5×10^{13} кг. Масса главного компонента, соответственно, получается равной 5.43×10^{13} кг и спутника – 8.15×10^{11} кг.

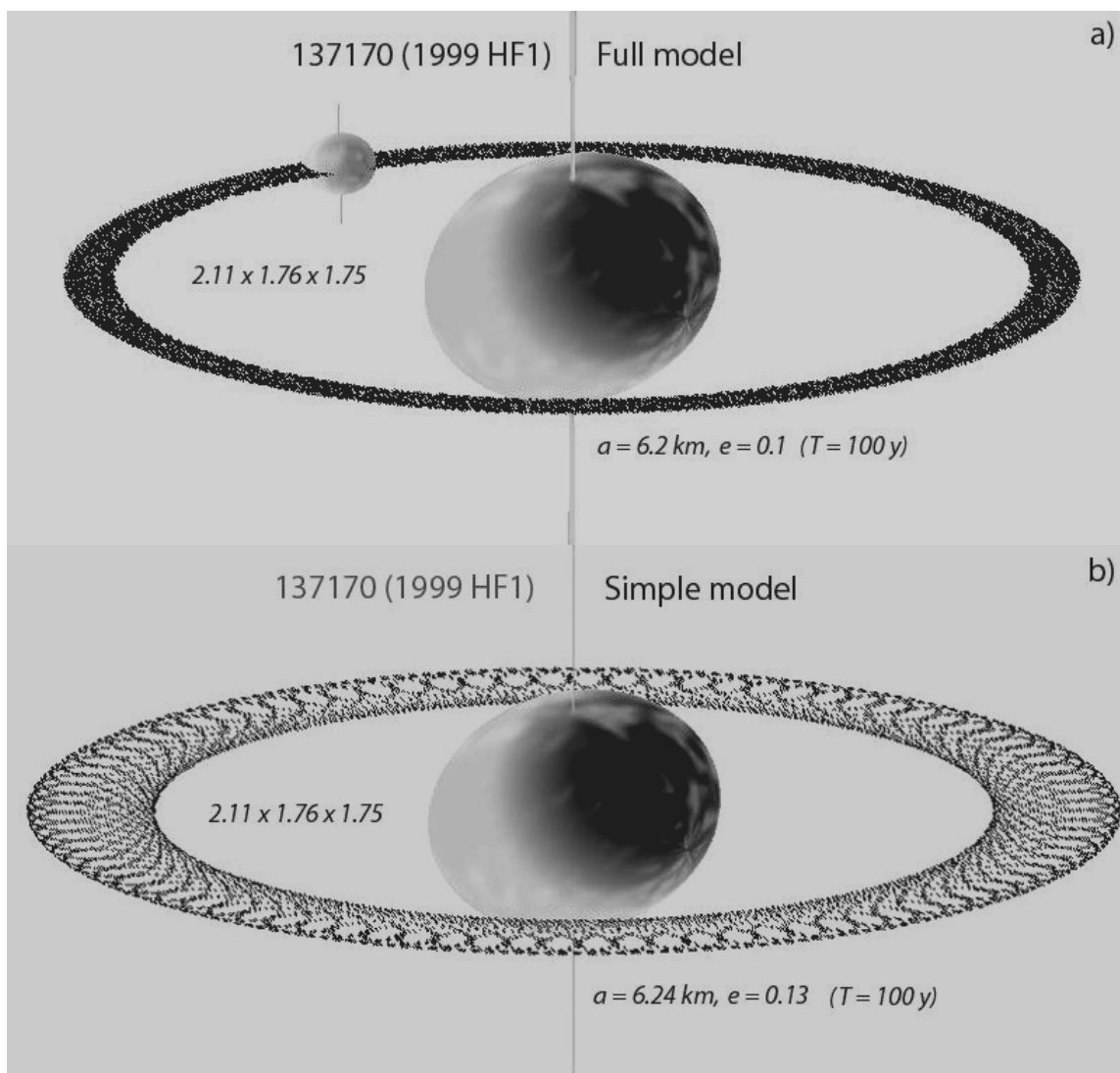


Рис.2. «Полная» (а) и «простая» (б) модели двойного астероида 137170 (1999 HF1) для значений размеров главного компонента $a = 2.11$, $b \approx 1.76$, $c \approx 1.75$ км. Показана эволюция орбиты спутника за 100 лет.

На рисунках 2, 3 и 4 приведены три примера возможных моделей системы астероида 137170 (1999 HF1), соответствующие значениям размеров главного компонента

$$\begin{aligned} a &= 2.11, b \approx 1.76, c \approx 1.75 \text{ км,} \\ a &= 2.12, b \approx 1.77, c \approx 1.73 \text{ км,} \\ a &= 2.14, b \approx 1.78, c \approx 1.70 \text{ км.} \end{aligned} \quad (7)$$

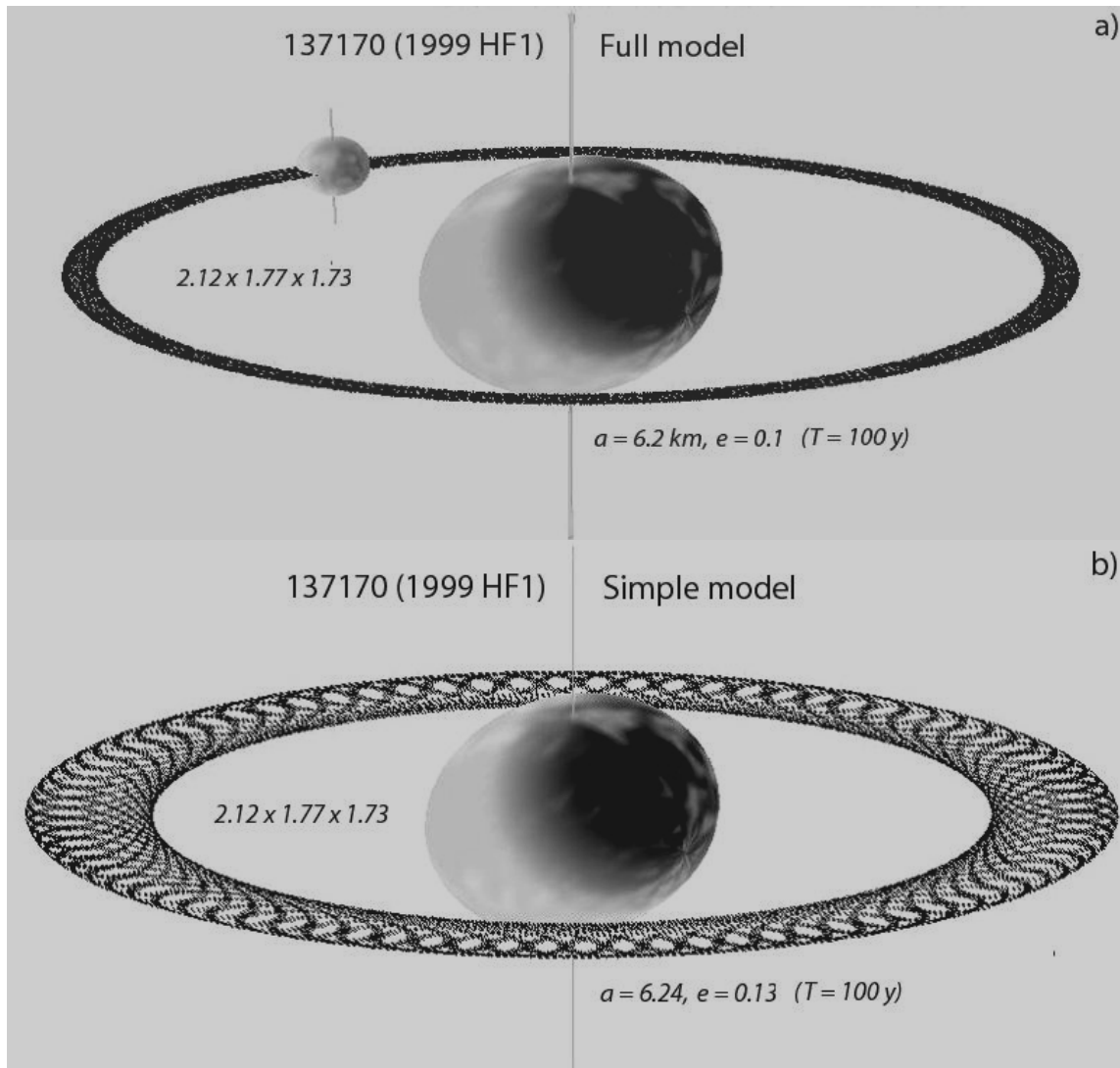


Рис. 3. «Полная» (а) и «простая» (б) модели двойного астероида 137170 (1999 HF1) для значений размеров главного компонента $a = 2.12, b \approx 1.77, c \approx 1.73$ км.

Показана эволюция орбиты спутника за 100 лет.

Для каждого варианта приведены результаты, полученные с помощью двух моделей. Видно, что они достаточно хорошо согласуются между собой. Эволюция орбиты спутника показана за период 100 лет. Средние параметры орбиты спутника, таким образом, можно оценить как

$$a_{sp} \sim 6.2 \text{ км, } e \sim 0.1. \quad (8)$$

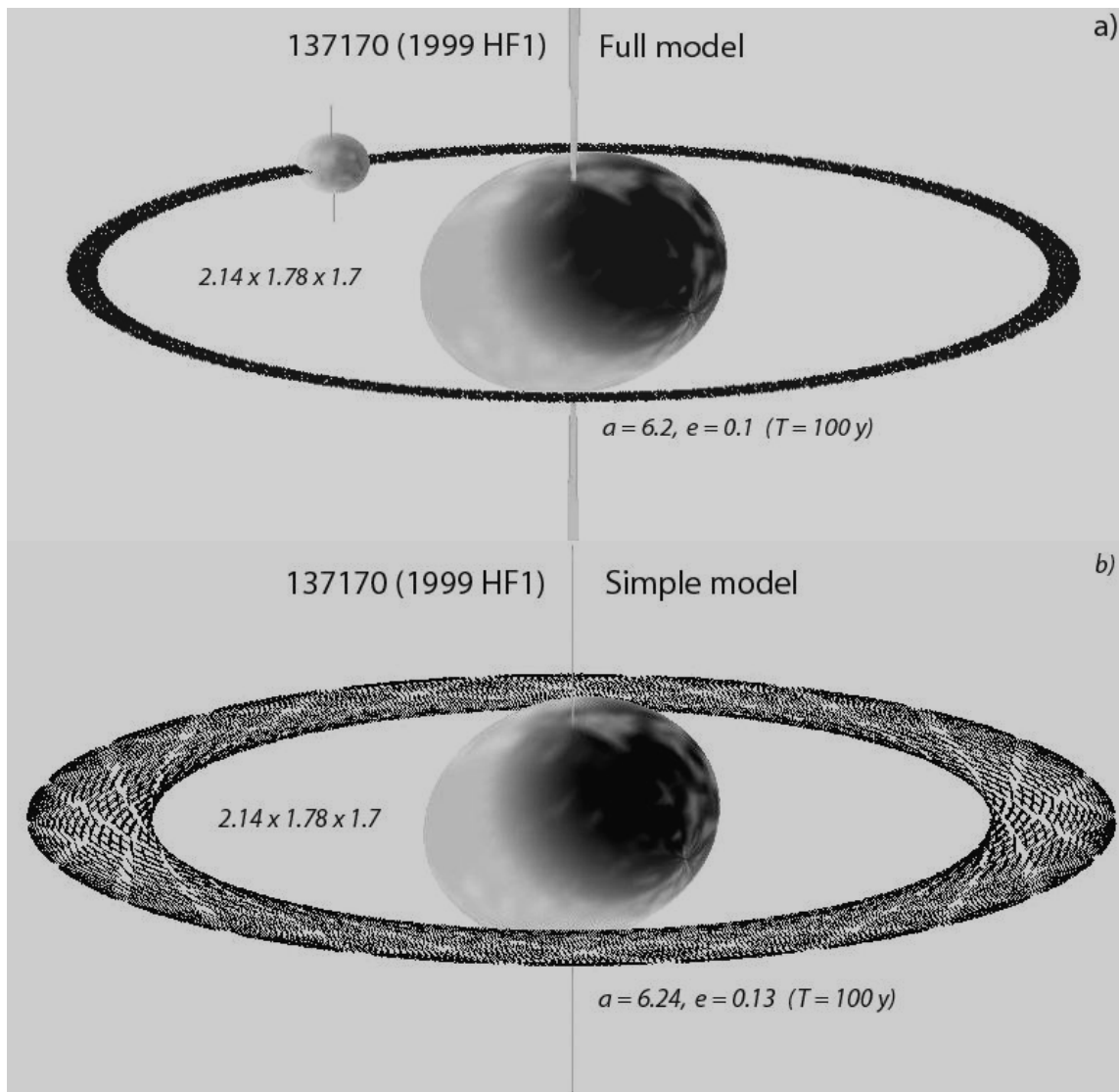


Рис. 4. «Полная» (а) и «простая» (б) модели двойного астероида 137170 (1999 HF1) для значений размеров главного компонента $a = 2.14$, $b \approx 1.78$, $c \approx 1.70$ км. Показана эволюция орбиты спутника за 100 лет.

Следует заметить, что для приводимых в [2,3] оценок полуоси орбиты спутника $a_{sp} \sim 7$ км и массы 4.5×10^{13} кг также возможна устойчивая орбита, но по III закону Кеплера она соответствует периоду более 18 часов, что противоречит наблюдательным данным. Поэтому данный класс орбит здесь не рассматривался.

3. Астероид 2006 VV2

В отличие от астероида 137170 (1999 HF1), имеющиеся сведения о двойном астероиде 2006 VV2 очень немногочисленны [2, 4, 15]. Известна лишь оценка эквивалентного диаметра главного компонента, которая составляет ~ 1.8 . Большая полуось орбиты спутника оценивается как ≥ 1.5 км. Ни масса, ни плотность системы неизвестны. Период орбитального движения спутника в работе [4] оценивается ~ 5 часов. Для эквивалентного диаметра спутника здесь приводится оценка ~ 0.3 км. Однако по последним данным радарных наблюдений астероида в 2007 году [15] приводится более широкая оценка орбитального периода, который ≤ 32 часам. Также приводится уточненная оценка эквивалентного диаметра спутника, который составляет 0.5 км.

Наблюдения двойного астероида 2006 VV2, проведенные в Пулковской обсерватории в марте 2007 года в момент его очередного сближения с Землей, позволили получить много недостающей информации об этом объекте [1]. Прежде всего, удалось уточнить период осевого вращения главного компонента, который оказался равным 1.704 часа. Кроме того, в кривой блеска был обнаружен еще один период, равный 3.9 суткам. На рис. 5 приведены два полученных периода изменения блеска данного астероида, первый из которых относится к осевому вращению главного компонента.

Как и в случае с астероидом 1999 HF1, размеры главного компонента были определены из изменения блеска при осевом вращении главного компонента. Однако в данном случае, как это видно из кривых блеска на рис. 5 и также подтверждается радарными наблюдениями [15], главный компонент имеет очень сложную структуру поверхности и форму. Поэтому определить амплитуду изменения блеска достаточно сложно. Здесь было принято среднее значение перепада блеска, которое составило $\sim 0.32^m$. Тогда по формуле (4) можно определить отношение размеров a и b и далее из эквивалентного радиуса выражение для c :

$$\frac{a}{b} \approx 1.32, \quad c \approx \frac{0.96228}{a^2}. \quad (10)$$

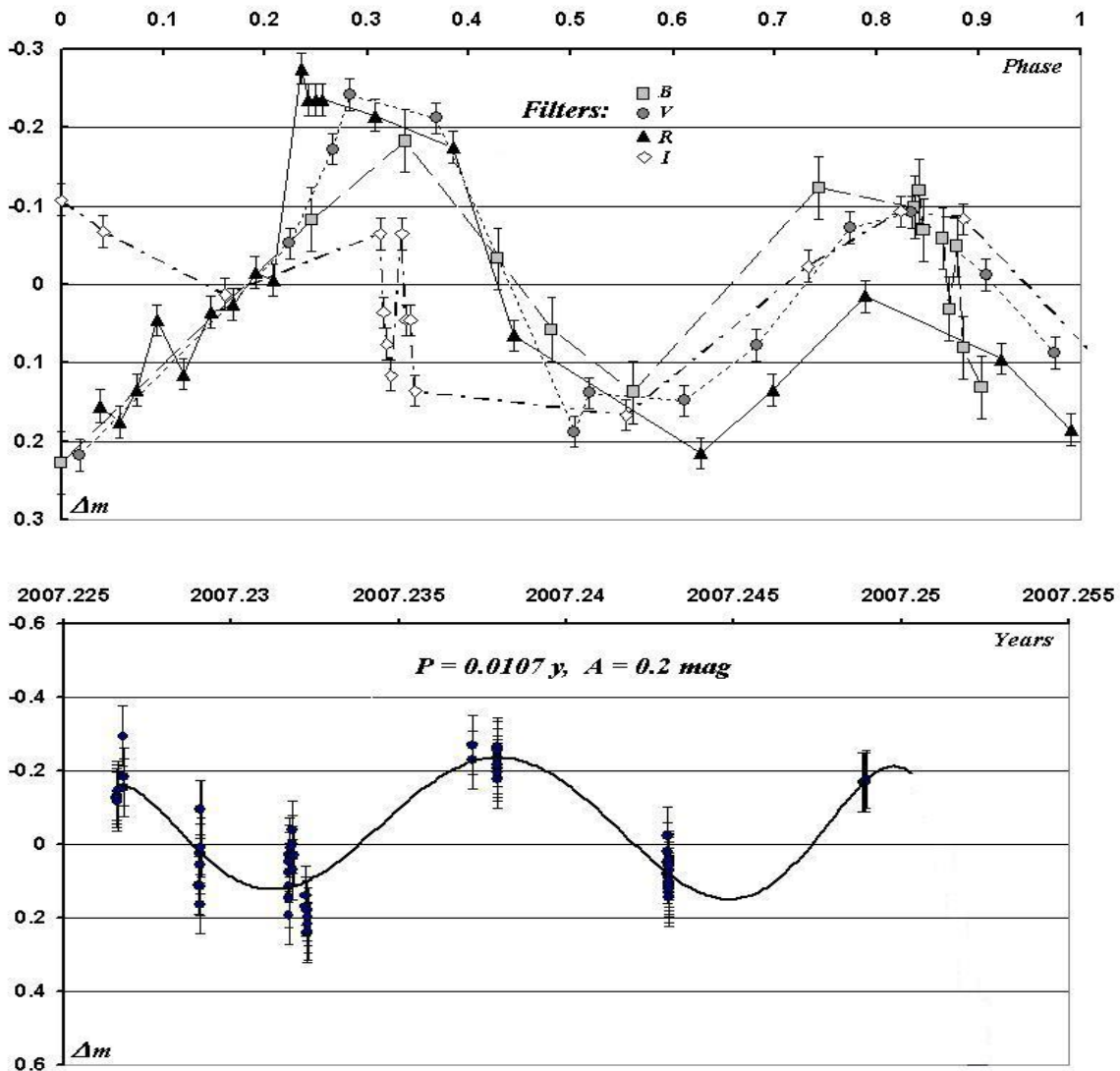


Рис. 5. Два периода изменения блеска двойного астероида 2006 VV2.

Эксперименты показали, что устойчивые орбиты возможны при значении параметра $a = 1.1$ км. Это соответствует размерам главного компонента:

$$a = 1.1, b \approx 0.83, c \approx 0.8 \text{ км.} \quad (11)$$

Свободным параметром в данной модели являлся период орбитального движения спутника. Были проведены эксперименты с разными значениями периодов в пределах от 5 до 32 часов. В результате, была найдена область существования устойчивых орбит для значений периодов орбитального движения от 20 до 32 часов. Полученные орбиты для обоих граничных значений периодов приведены на рис. 6 и 7 для двух моделей.

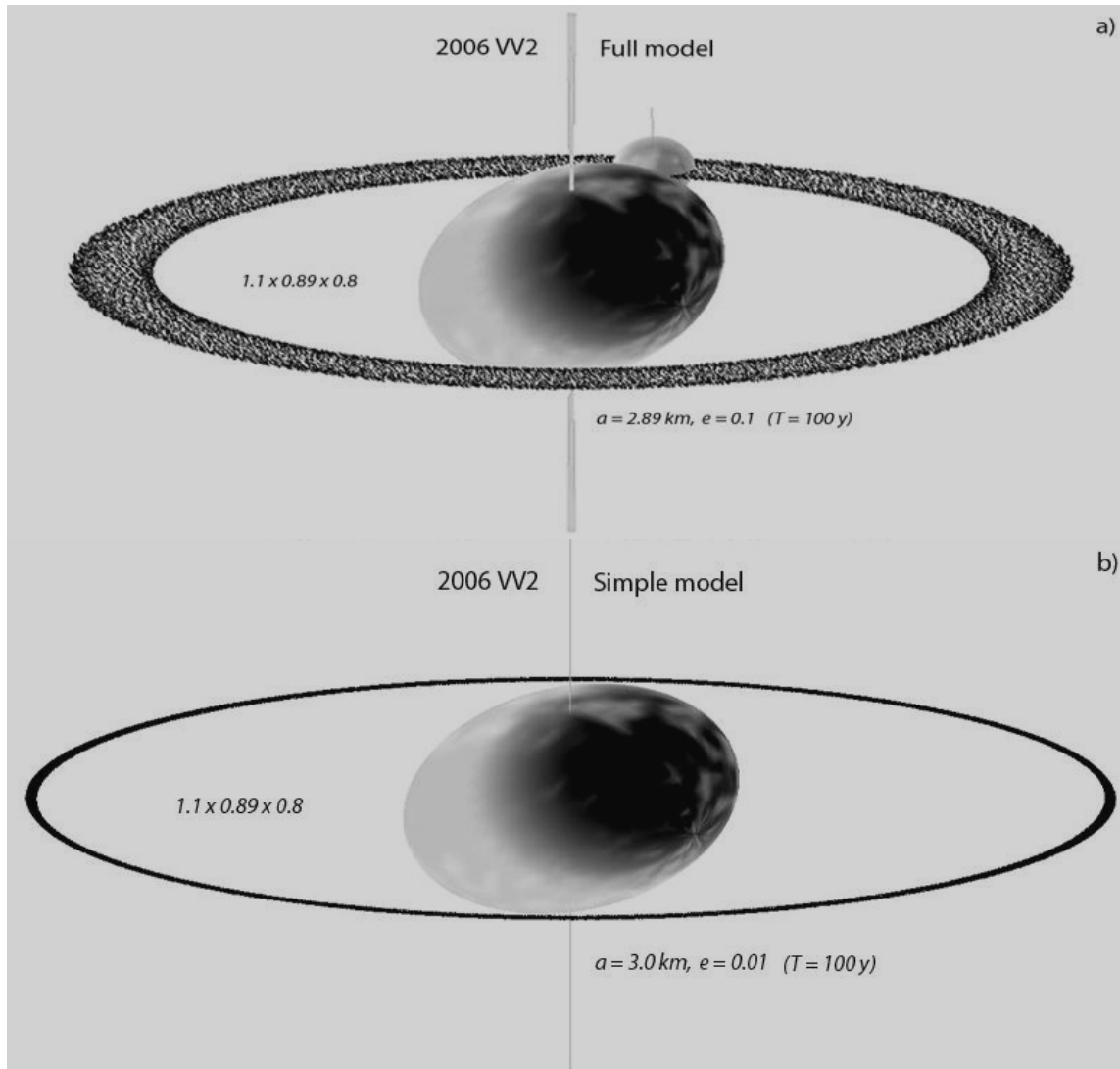


Рис. 6. Возможные модели двойного астероида 2006 VV2 для периода орбитального движения спутника 20 часов («полная» (a) и «простая» (b)).

Показана эволюция орбиты спутника за 100 лет.

Масса и плотность для полученной модели рассчитывались следующим образом. Зная орбитальный период и полуось орбиты спутника, по III закону Кеплера вычислялась общая масса системы. Затем, используя полученную массу и известные оценки размеров компонентов, вычислялась плотность в предположении, что она является одинаковой для обоих компонентов. Далее, по известной плотности и размерам вычислялись значения массы для каждого компонента в отдельности.

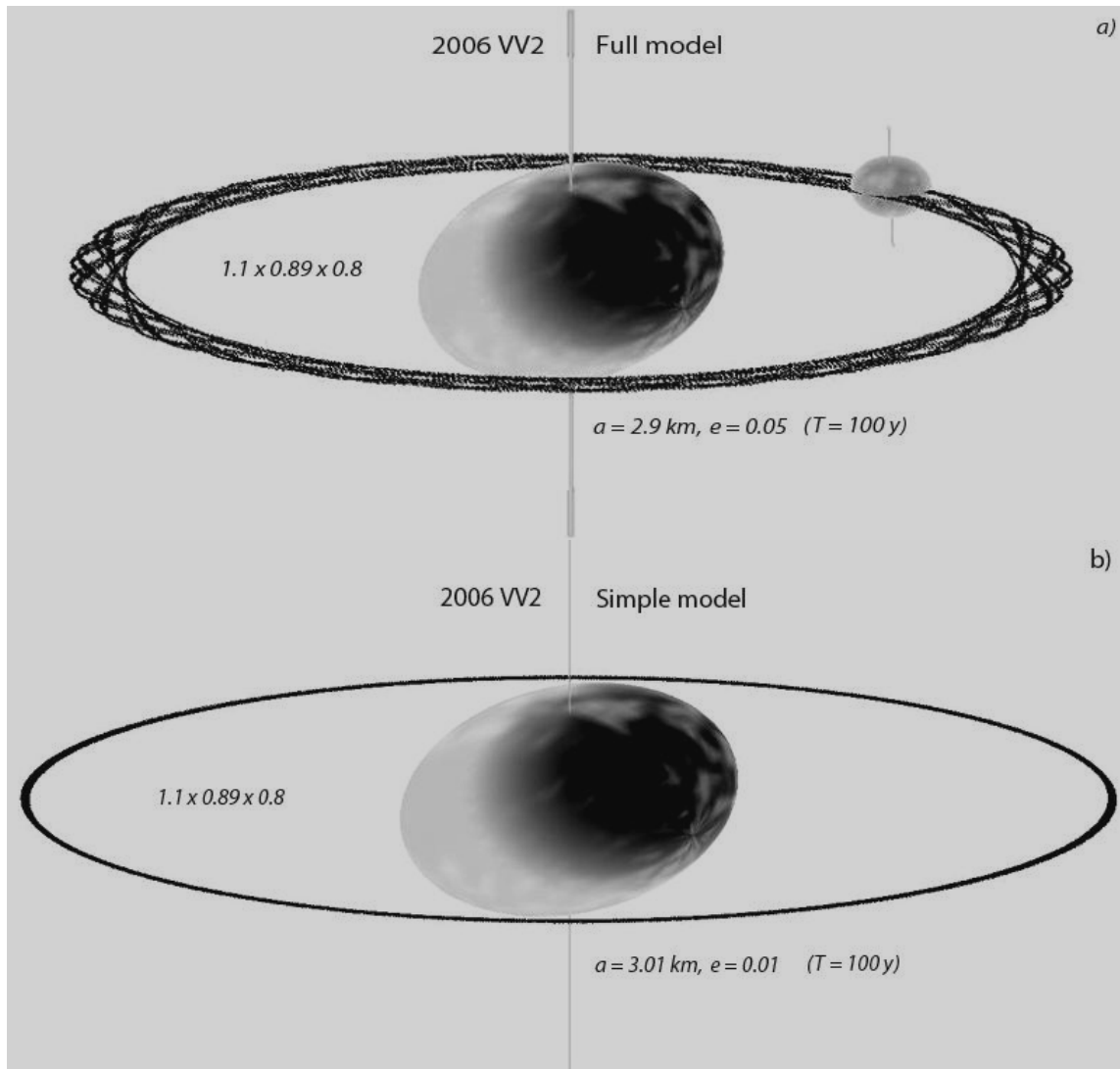


Рис. 7. Возможные модели двойного астероида 2006 VV2 для периода орбитального движения спутника 32 часа («полная» (а) и «простая» (б)). Показана эволюция орбиты спутника за 100 лет.

Таким образом, были получены устойчивые орбиты для данной двойной системы для значений орбитального периода от 20 до 32 часов с параметрами, приведенными в таблице 1. Видно, что плотность такой системы достаточно невысока. При этом наиболее правдоподобным является первый вариант, с плотностью 0.99 г/см^3 .

Таблица 1. Граничные параметры устойчивых орбит для двойного астероида 2006 VV2.

Период, час	Полуось орбиты спутника, км	Эксцентриситет орбиты спутника	Наклон орбиты спутника к плоскости экватора гл. тела, град	Масса гл. тела, кг	Масса спутника, кг	Плотность системы, г/см^3
20	2.8	0.10	3.49	3.017×10^{12}	6.466×10^{10}	0.99
32	2.9	0.05	3.67	1.176×10^{12}	2.520×10^{10}	0.385

Следует отметить, что при меньших значениях периода устойчивых орбит с такими оценками размеров компонентов найдено не было.

Что касается интерпретации второго периода (рис. 5), то самым разумным было бы связать его с вынужденной прецессией оси вращения главного компонента. Похожая кривая блеска была обнаружена, например, у астероида 1220 Крокус [7, 8]. Однако данная гипотеза не подтвердилась моделированием. Для найденных орбит прецессия с таким периодом возникнуть не может. Поэтому вопрос о причине данного периода пока остается открытым.

4. Заключение

Используя всю имеющуюся на сегодняшний день информацию о сближающихся с Землей двойных астероидах 2006 VV2 и 137170 (1999 HF1), включая полученные в Пулковской обсерватории свежие наблюдательные данные, были построены модели двойных систем данных объектов. Для астероида 137170 (1999 HF1) были получены оценки пределов возможных размеров главного компонента. Для астероида 2006 VV2, помимо оценок размеров главного компонента, была найдена область возможных устойчивых орбит для спутника.

Авторы выражают свою благодарность И.И. Шевченко за помощь в выборе моделей.

Литература

1. *Верецагина И.А., Горшанов Д.Л., Девяткин А.В., Панушев П.Г.* Некоторые особенности кривых блеска астероидов (39) Летиция, (87) Сильвия, (90) Антиопа и 2006 VV2. // *Астрономический вестник*, в печати, 2008 г.
2. <http://www.johnstonsarchive.net/astro/astmoons/>
3. *Pravec, Petr, Šarounová, Lenka, Hicks, Michael D., Rabinowitz, David L., Wolf, Marek, Scheirich, Peter, & Krugly, Yuriy N.* Two Periods of 1999 HF1 – Another Binary NEA Candidate. // *Icarus*, Vol. 158, Is.1, 2002, p. 276-280.
4. *Helin, E.F., Pravdo, S., Lawrence, K., Kuluhiwa, K., Hicks, M., Matson, R., Sherrod, P.C., Birmingham, D.A., & Williams, G.V.* // *Minor Planet Electronic Circulars*, 2006-W87 (2006).
5. *T. Michalowski, F. Colas, T. Kwiatkowski, A. Kryszczyńska, F.P. Velichko, S. Fauvaud.* Eclipsing events in the binary system of the asteroid 90 Antiope. // *A&A*, № 396, 2002, p.293-299.
6. *P. Descamps, F. Marchis, J. Pollock, J. Bertheier, F. Vachier, M. Birlan, M. Kaasalainen, A.W. Harris, W. Wong, W. Romanishin, E.M. Cooper, K.A. Kettner, P. Wiggins, A. Kryszczyńska, M. Polinska, J.-F. Colliac, A. Devyatkin, I. Verestchagina. D. Gorshanov.* New determination of the size and bulk density of the binary asteroid 22 Kalliope from observations of mutual eclipses // *Icarus*, № 196, 2008, p.578-600.
7. *И.А. Верецагина, В.А. Шор.* О динамике возможной двойной системы астероида 1220 Крокус // *Изв. ГАО*, №218, 2006, с.61-68.
8. *Binzel R.P.* Is 1220 Crocus a Precessing Binary Asteroid? *Icarus*, v.63, 1, 1985.
9. *Kaasalainen, M., Torppa, J., Muinonen, K.* Optimization methods for asteroid lightcurve inversion. II. The complete inverse problem. // *Icarus*, Vol. 153, 2001, p.37-51.
10. *Дубошин Г.Н.* Основные задачи и методы. Гос. изд. физ-мат. лит., Москва, 1963 г.
11. *Г.Н. Дубошин.* Теория притяжения, Физматгиз, 1961.
12. *E. Hairer, S.P. Norsett, G. Wanner.* Solving Ordinary Differential Equations. I. Nonstiff Problems. 2nd edition. // *Springer Series in Computational Mathematics*, Springer-Verlag (1993).
13. *Виноградова Т.А., Железнов Н.Б., Кузнецов В.Б., Чернетенко Ю.А., Шор В.А.* Каталог потенциально опасных астероидов и комет // *Труды ИПА РАН*, Вып. 9, Эфемеридная астрономия, С.-Петербург, 2003.
14. <http://www.cfa.harvard.edu/iau/services/MPEC.html/>
15. *Benner, Lance A.; Busch, M.W.; Nolan, M.C.; Ostro, S.J.; Giorgini, J.D.; Rose, R.; Jao, J.S.; Black, G.J.; Carter, L.M.; Slade, M.A.; Jurgens, R.F.; Hine, A.A.* "Radar Images Of Binary Near-earth Asteroid 2006 VV2" *American Astronomical Society*, DPS meeting #39, #13.01; *Bulletin of the American Astronomical Society*, Vol. 39, p.432, 2007.

**MODELS OF BINARY NEAR EARTH
ASTEROIDS 137170 (1999 HF1) AND 2006 VV2**

Verestchagina I.A., Devyatkin A.V., Gorshanov D.L.

Using obtained in 2008 at Pulkovo observatory observations of the binary NEA 137170 (1999 HF1) and 2006 VV2, and other information about this asteroids, simple models of the binary systems have been obtained.

ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ Fe II В ОБЛАСТИ 3827-3873 Å СПЕКТРА СОЛНЦА

Гасанализаде А.Г.

Представлены результаты отождествления и классификации пяти линий мультиплета $b^2D - y^4F$ однократно ионизированного железа Fe II в области 3827-3873 Å спектра Солнца и лабораторного спектра. Ранее эти линии в спектре Солнца считались неизвестного происхождения.

1. Введение

Спектр Солнца в визуальной и инфракрасной области [1-7] является основой для исследования солнечной фотосферы. (В настоящей работе ультрафиолетовый (УФ) участок спектра Солнца не рассматривается.) При этом, астрофизикам – солнечным спектроскопистам известно, что большое число слабых линий спектра Солнца все еще остаются не отождествленными [8-12], не говоря о классификации по мультиплетам. Необходимы точные лабораторные длины волн линий различных элементов, их классификация, силы осцилляторов, отождествление в спектре Солнца, которые помогли бы улучшить наши знания о физических условиях, физических процессах и обилии (содержании) элементов в атмосферах Солнца и звезд. Настоящая работа посвящена отождествлению и классификации пяти слабых линий однократно ионизированного железа Fe II, ранее известных как не отождествленные [1], а впоследствии вообще «потерянных» в таблице спектра Солнца [6], и отчасти неверно отождествленных в [5].

В процессе поиска линии λ 3859.57 Å однократно ионизированного урана U II в спектре холодной Ar звезды HR 4816 (см. напр. [13, 14] и их ссылки) и сравнении этой части со спектром Солнца [15] нами было впервые выявлено, что бленда на красном крыле очень сильной резонансной линии λ 3859.9160 Å Fe I [2] (переход $a^5D_4 - z^5D_4$) с интенсивностью 400.0 в спектре центра диска Солнца [6] имеет длину волны $\lambda \approx 3860.1$ Å.

Абсолютные длины волн значительного числа фраунгоферовых линий, полученные фотографическим методом с использованием спектра сравнения дуги, калиброванной относительно первичного стандарта линии кадмия, содержатся в таблицах [1] (далее RRT). По этой компиляции мы нашли длину волны λ 3860.094 Å линии неизвестного происхождения с интенсивностью «ON» (т.е. линия является диффузной с Роуландовской интенсивностью «O»), и тем самым имеющую солнечное происхождение [1]. Длина волны этой линии отсутствует в последующих, известных компиляциях длин волн солнечного спектра [5, 6] (далее, соответственно, SRRT и KPNO). Предварительная оценка разности длин волн «Роуланд минус атлас Миннаэрта» равна нулю.

Просмотр таблиц длин волн линий нейтрального железа [5, 16-21] показала на отсутствие такой линии в спектре Fe I. Учтявая что, обилие железа в фотосфере Солнца $\log A_{\text{Fe}} \approx 7.5 \div 7.6$ (при $\log N_{\text{H}} = 12$) (см., напр. [22] и таблицы [23], и ссылки их на все предыдущие работы) на более чем порядок выше, чем у остальных элементов «железного пика», мы продолжали поиск линии только по таблицам лабораторных (предсказываемых) длин волн спектра однократно ионизированного железа Fe II в [24]. (Обозначение термов и большая часть энергетических уровней использованных в вычислении таблиц длин волн линий Fe II в [24] позаимствованы из компиляций [25, 26].)

В результате, указанная выше солнечная линия предварительно была отождествлена с линией λ 3860.112 Å Fe II, возникающей в переходе $b^2D_{5/2} - y^4F_{5/2}$. Разность длин волн «Роуланд минус лабораторная (предсказанная)» оказалась равной – 0.018 Å.

Учитывая изменение системы длин волн RRT [1], при изменении стандартов линий кадмия на стандарты криптона в последующих исследованиях [5, 6], полученный результат является удовлетворительным.

2. Линии мультиплета $b^2D - y^4F$ в спектре Солнца

Нами было установлено, что мультиплет $b^2D - y^4F$, кроме указанной линии, теоретически имеет еще четыре «разрешенные» линии. Ниже в табл. 1 мы приводим значения энергетических уровней термов b^2D и y^4F согласно [24]. Здесь первый столбец показывает обозначение терма, второй столбец дает значения внутреннего квантового числа J и третий столбец содержит соответствующие энергетические уровни в единицах $см^{-1}$. Более подробное обсуждение этих уровней можно найти в работах [25, 26].

Таблица 1. Термы и энергетические уровни.

Терм	J	Уровень, ($см^{-1}$)
b^2D	3/2	36126.39
	5/2	36252.92
y^4F	3/2	62244.52
	5/2	62151.56
	7/2	62065.52
	9/2	62158.11

Значения разности волновых чисел и длины волн линий Fe II, полученные из указанных в табл. 1 величин, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Отождествление линий Fe II в лабораторном и солнечном спектрах.

Мультиплет	$J - J^1$	ν , ($см^{-1}$)	$\lambda_{возд.}$, (Å)	λ_{RRT} , (Å)	Инт., (RRT)	$(\lambda_{RRT} - \lambda_{возд.})$, (Å)	$E_{нижн.}$, эВ	$E_{верх.}$, эВ
$b^2D - y^4F$	5/2-7/2	25812.60	3872.979	3.092	2	0.113	4.4948	7.6952
	5/2-5/2	25991.60	3860.112	.094	ON	-0.018	4.4948	7.7059
	5/2-3/2	25898.64	3846.306	.290 m	1	-0.016	4.4948	7.7174
	3/2-5/2	26025.17	3841.344	.351)	-1	0.007	4.4792	7.7059
	3/2-3/2	26118.13	3827.672	.694	1N	0.022	4.4792	7.7174

Здесь второй столбец содержит значения внутреннего квантового числа для верхнего и нижнего уровня «разрешенных» переходов, третий столбец дает волновое число линий в вакууме, соответствующих разности энергетических уровней, согласно квантовому условию $J - J^1 = \pm 1$, четвертый столбец содержит длины волн в воздухе, вычисленные из предыдущих волновых чисел с помощью дисперсионной формулы Эдлена [27] для стандартного воздуха, пятый и шестой столбцы содержат результаты отождествления линий Fe II и их интенсивности в спектре Солнца согласно таблицам RRT [1], седьмой столбец дает разности солнечной и лабораторной длины волны, в восьмом и девятом столбцах приведены потенциалы возбуждения нижнего и верхнего уровня перехода в эВ, вычисленные при переводном коэффициенте $1 \text{ эВ} = 8.0654477(32) \times 10^5 \text{ м}^{-1}$ [28].

Следует отметить, что точность измерений с фотографических пластинок длин волн в RRT [1] с учетом последующих поправок на замену первичного стандарта (D линии натрия) линией кадмия и введение вторичных стандартов (некоторые линии нейтрального железа) в 1928 и 1938 гг. Международным Астрономическим Союзом (МАС)

[29], достаточно высокая. Поэтому большое расхождение между измеренной солнечной длиной волны λ 3873.092 Å и вычисленной лабораторной длиной волны λ 3872.979 Å, следует приписать возможному наличию дополнительной бленды в солнечном спектре. Для остальных четырех линий средняя величина разности $\langle \Delta\lambda \rangle = \lambda_S - \lambda_{(lab)}$ равна ± 0.005 Å, что лежит в допустимых пределах.

3. Заключение

Как отмечено выше, в спектре Солнца имеется большое число слабых фраунгоферовых линий неизвестного происхождения. Здесь большой проблемой является блендирование, вызванными реальными и предсказываемыми (по неточным энергетическим уровням) линиями. Эта проблема может быть решена только после нового расчета спектров отдельных атомов, ионов и молекул по уточненным энергетическим уровням, определенным на основе высокоточных измерений длин волн. Такая попытка, в результате которой в спектре Солнца было отождествлено около 150 линий неизвестного происхождения, оказавшихся в принадлежности к спектру Fe I, была предпринята нами ранее [30-32]. Все эти линии с помощью [20] были также и классифицированы. Большим пособием для этой цели по линиям Fe I может служить также фундаментальный коллективный труд [21] заменивший часть классической работы [17].

С другой стороны, было бы особенно желательным получение фотоэлектрической регистрации спектра спокойного Солнца в прямых интенсивностях в широком диапазоне длин волн, с высоким пространственным и спектральным разрешением.

4. Благодарность

Автор благодарит В.Д. Галкина за ценные замечания.

Литература

1. *C.E. St. John, C.E. Moore, L.M. Ware et al.*, Carnegie Inst. Wash. Publ. № 396 (1928) (RRT).
2. *M. Minnaert, G.F.W. Mulders, J. Houtgast*, Photometric Atlas of the Solar Spectrum 3332 Å to 8771 Å, Amsterdam, Schnabel (1940).
3. *O.C. Mohler*, A Table of Solar Spectrum Wavelengths 11984 Å to 25578 Å, Univ. of Michigan Press, Ann Arbor (1955).
4. *J.W. Swensson, W.C. Benedict, L. Delbouille, G. Roland*, Mem. Soc. Roy. Sci., Liege, Spec. vol. 5 (1970).
5. *C.E. Moore, M.G.J. Minnaert, J. Houtgast*, NBS Monograph 61, 349 p. (1966) (SRRT).
6. *J.W. Pierce, J.B. Breckinridge*, Kitt Peak Nat. Obs. Contr. № 559 (1973); Addendum, (1974) (KPNO).
7. *R.L. Kurucz, E. Petermann*, Smithsonian Ap. Obs. Spec. Rep. 362, parts 1 – 3 (1975) (KP).
8. *C.E. Moore*, The Sun, ed. G. P. Kuiper, Univ. of Chicago. (1953) [Русск. пер. Ш. Э. Мур, «Солнце», ред. Дж. Койпер, ИЛ, М., 166 (1957)].
9. *C.E. Moore*, Science, 119, 449 (1954).
10. *U. Litzen, J. Verges*, Phys. Scripta, 13, 240 (1976).
11. *U. Litzen*, Phys. Scripta, 14, 165 (1976).
12. *E. Biemont, J.W. Brault, L. Delbouille, G. Roland*, Astr. Astrophys. Suppl. 61, 107 (1985).
13. *S.J. Adelman*, Astrophys. J. Suppl. 26, 1 (1973).
14. *C.R. Cowley, C.N. Arnold*, Astrophys. J. 226, 420 (1978).
15. *А.Г. Гасанализаде* (готовится к печати).
16. *G.R. Harrison*, Wavelength Tables, 2 nd. ed., MIT Press (1970).
17. *C.E. Moore*, NSRDS – NBS Monograph 40, Parts I – II (1972) (MT).
18. *H.H. Crosswhite*, J. Res. Nat. Bur. Std. 79A, 17 (1975) (C).
19. *А.Н. Зайдель, В.К. Прокофьев, С.М. Райский и др.*, Таблицы Спектральных Линий (М., Наука, 1977) 800 с.
20. *А.Г. Гасанализаде*, Система энергетических уровней и длины волн 26757 линий нейтрального железа, Fe I (1622 – 99948 Å) [Деп. ВИНТИ № 5794 – 5796, 1987, части 1 – 3] 549 с.

21. *G. Nave, S. Johansson, R.C.M. Learner, et al.*, *Astrophys. J. Suppl.* 94, 221 (1994).
22. *А.Г. Гасанализаде*, *Циркуляр ШАО АН АзССР*, № 76, с. 3 (1986).
23. *А.А. Боярчук, И.С. Саванов*, *Изв. Крым. Астрофиз. Обс.* 70, 57 (1985).
24. *А.Г. Гасанализаде* 1988 г. (не опубликована).
25. *J. Reader, J. Sugar*, *J. Phys. Chem. Ref. Data* 4, 353 (1975).
26. *C.H. Corliss, J. Sugar*, *J. Phys. Chem. Ref. Data* 11, 135 (1982).
27. *B. Edlen*, *Metrologia* 2, 71 (1966).
28. *P.J. Mohr, B.N. Taylor*, *Phys. Today*, B66 (Aug. 2003).
29. *Trans. IAU (Comission 14)* (1928, 1938).
30. *А.Г. Гасанализаде*, *Солн. данные*, № 10, 73 (1986).
31. *А.Г. Гасанализаде*, *Солн. данные*, № 11, 63 (1986).
32. *А.Г. Гасанализаде*, *Солн. данные*, № 10, 68 (1987).

**IDENTIFICATIONS AND CLASSIFICATIONS ABSORPTION LINES OF Fe II
IN THE REGION 3827–3873 Å IN SOLAR SPECTRUM**

Gasanalizade A.G.

Summary

From the direct comparisons of solar and (predicted) laboratory spectrums in the wavelength region from 3827 to 3873 Å, five solar lines of unknown origin have been identified as Fe II lines of a multiplet $b^2D - y^4F$.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Горшков В.Л., Миллер Н.О.

Дано краткое описание метода прогнозирования на основе сингулярного спектрального анализа в его реализации «Гусеница»-ССА. На материале параметров вращения Земли (ПВЗ) международной службы вращения Земли (МСВЗ) проведено исследование прогнозирования движения полюса и неравномерности вращения Земли этим методом. Исследованы различные возможности метода с целью выбора оптимальных параметров прогноза. Приводятся сравнение ошибок прогнозирования данным методом с применяемыми в МСВЗ.

Введение

В МСВЗ с октября 2005 года по март 2008 года проводилась кампания по оценке прогнозирования ПВЗ различными методами (http://www.cbk.waw.pl/EOP_PCC). В кампании принимали участие 11 представителей разных организаций с различными подходами к прогнозированию ПВЗ, начиная от обычного Фурье анализа с последующей аппроксимацией методом наименьших квадратов (МНК) наиболее значимых гармоник и кончая использованием нейронных сетей и моделей на основе нечёткой логики. Методы применялись для краткосрочных (до 10 дней), среднесрочных (до 30 дней) и долгосрочных прогнозов до 500 дней. Долгосрочный прогноз вычислялся раз в месяц, а краткосрочные – раз в неделю.

Во многих прогнозах помимо рядов ПВЗ дополнительно использовались геофизические данные, а именно, ряды атмосферного углового момента, являющиеся одним из возбуждающих факторов динамики движения полюса и вращения Земли. Именно использование этих данных в сочетании с фильтрацией Калмана обеспечило лучший прогноз неравномерности вращения Земли. Параметры движения полюса наиболее качественно предсказываются с помощью МНК экстраполяции полигармонической модели и авторегрессионного прогнозирования.

Качество прогноза оценивалось по среднему абсолютному уклонению (MAE) прогнозируемой величины от впоследствии наблюдаемой для k -ого дня прогноза ε_{ki} , где $i = 1, 2, \dots, N$. Здесь N – количество прогнозов, варьировавшееся в данной кампании от 7 до 100.

$$MAE_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\varepsilon_{k,i}|. \quad (1)$$

Среди применявшихся методов прогнозирования метод ССА не использовался для этих целей. В данной работе представлены прогностические возможности метода ССА и проведено их исследование с использованием данных МСВЗ и результатов вышеупомянутой международной кампании.

Описание метода прогнозирования

Метод сингулярного спектрального анализа (ССА) предназначен для исследования структуры временных рядов и совмещает в себе достоинства многих других методов, в частности, анализа Фурье и регрессионного анализа. Результатом применения метода является получение структуры ряда, т.е. разложение его на компоненты, которые могут быть интерпретированы как медленные тренды, сезонные и другие периодические или колебательные составляющие, а также шумовые компоненты. В случае про-

гнозирования выполняется продолжение структуры исходного ряда, выделенной при его анализе.

Метод «Гусеница»-ССА – в авторском названии модификации данного метода и его программной реализации (<http://www.gistatgroup.com/gus/>) неоднократно использовался для целей анализа ПВЗ в работах (Воротков и др., 2002; Горшков и др., 2000), и впервые был использован для целей прогноза ПВЗ в работе (Горшков, 2004).

Прогнозирование с помощью ССА включает в себя несколько различных этапов. Причём для каждого этапа, существуют различные возможности их реализации. Эти возможности можно рассматривать, как некоторые управляющие параметры. Исследование возможностей для каждого конкретного ряда позволяет подобрать оптимальные параметры для решаемой задачи прогнозирования. После выполнения исследования можно перейти в режим автоматического прогнозирования ряда. Подробное описание метода для целей прогнозирования можно найти в работах (Данилов, Жиглявский, 1997; Степанов, Голяндина, 2005). Описание того, как выбирать параметры при автоматическом выделении трендовых и периодических составляющих временного ряда, подробно описано в работе (Александров, Голяндина, 2005).

Можно предложить и другие подходы, которые просто использовать для исследования прогностических возможностей метода. Например, для этой цели можно использовать два критерия: либо выбирать одно и то же число компонент (K) для всех прогнозов, либо выбирать число компонент таким образом, чтобы суммарный вклад в общий процесс был не меньше определённого процента (например, 99.99%). Недостаток первого заключается в том, что на разных интервалах можно получать разное разложение по числу значимых компонент, и при таком способе можно ухудшить качество аппроксимации и как следствие – качество прогноза. Второй критерий в этом смысле является более надёжным, но требует дополнительного анализа.

Перечислим этапы работы метода и укажем на различные возможности варьирования параметров на каждом этапе. На первом задаётся длина окна M для выполнения преобразования ряда в матрицу. Длина окна M должна быть выбрана достаточной, чтобы разделить шумовой и информативной компоненты и в то же время не должна быть очень большой. Надо отметить, что при прогнозировании нет необходимости выполнять полное разложение ряда, главное отделить полезный сигнал от шума. Чем больше M , тем больше размер характеристического полинома в рекуррентной формуле при прогнозировании, что может привести к появлению побочных корней полинома.

Затем выполняется разложение матрицы на собственные вектора и главные компоненты и выбирается число компонент, по которым восстанавливается ряд и строится характеристический полином для аппроксимации ряда. Для ССА прогноза по виду и значимости главных компонент разложения можно оценить их количество, необходимое для прогноза. После этого по выбранному набору главных компонент с помощью диагонального усреднения получается восстановленный ряд, и затем выполняется аппроксимация ряда. Характеристический полином для прогнозирования в точности равен базису разложения. При этом нет необходимости в том, чтобы заранее знать параметрический вид тренда и периодических компонент.

Этап аппроксимации можно рассматривать как предварительный к этапу прогноза ряда. Как аппроксимация, так и прогноз заключаются в задании начальных точек и затем их продолжении. Используя аппроксимацию, можно понять, насколько ряд соответствует модели, заложенной в основу прогноза. Оба метода аппроксимации (и прогноза) используют рекуррентную формулу, сходную с формулой широко используемого в ПВЗ авторегрессионного прогнозирования, но имеющую точную размерность $M - 1$. Для прогнозирования и аппроксимации имеется два способа реализации – геометрический (векторный, V-метод) и аналитический (рекуррентный, R-метод). Для геометриче-

ского способа базовый вектор совпадает с восстановленным вектором, а для аналитического способа он может быть восстановленным (R_r), исходным (R_i) или аппроксимирующим (R_a). В дальнейшем на рисунках и в таблицах используются именно эти обозначения.

Геометрический (векторный) метод преобразует собственные вектора таким образом, чтобы первые $M - 1$ координат нового вектора были максимально близки к $M - 1$ последним координатам исходного вектора. Если выполнить несколько шагов такой процедуры, начав с базового восстановленного вектора, то в результате получится матрица, из которой с помощью процедуры диагонального усреднения получается ряд аппроксимации (или прогноза). В зависимости от того, делается ли диагональное усреднение до или после продолжения ряда, различают рекуррентный и векторный прогноз.

Аналитический (рекуррентный) метод аппроксимации использует рекуррентную формулу более явно. Начав с заданного вектора развертки восстановленного ряда, каждое следующее значение получается с помощью рекуррентной формулы, примененной к $M - 1$ предшествующим точкам. Поскольку в рекуррентном прогнозе используются в качестве начальных данных последние точки ряда, это может вызвать увеличение ошибок прогноза. В этом смысле векторный прогноз более консервативен, но менее адаптивен к меняющемуся концу ряда.

Близость этих прогнозов может свидетельствовать об устойчивости полученного прогноза.

Прогноз ПВЗ

Для **прогнозирования движения полюса Земли** (координат полюса X_p, Y_p) использовали ряд ПВЗ и их годичный прогноз USNO (ряд *finals*), вычисляемые срочной службой МСВЗ (<http://maia.usno.navy.mil/ser7/finals2000A.all>), и ряд комбинированных значений ПВЗ *C04* (http://hpiers.obspm.fr/iers/eop/eopc04_05/eopc04_IAU2000.62-now).

Перед тем как выполнять тестирование, было проведено небольшое исследование метода с целью выбора оптимальных параметров.

В результате сопоставления прогнозов для разных опорных интервалов от 3 до 24 лет (ряд *C04*) был сделан вывод, что для прогнозов разной длины нужно выбирать разные опорные интервалы. Оценка среднеквадратического отклонения (*rms*) была выполнена по 5 вариантам прогноза с длиной окна $M = 250$ и числом восстановленных компонент $K = 24$. Для базы прогноза был выбран интервал в 12 лет. Среднеквадратическое отклонение при такой длине базы соответствует средним для интервалов прогноза до 200 дней и наименьшим на более длительных интервалах.

На рис. 1. приводится пример прогноза ряда *Finals*, полученного разными модификациями метода ССА. База прогноза составляла 9 лет, длина окна $M = 2$ года (730 точек). Этот рисунок наглядно показывает разницу между прогнозом, полученным векторным методом и прогнозами, полученными аналитическими методами. Кроме того, он даёт возможность качественно сопоставить полученные прогнозы с исходными рядами и с прогнозами срочной службы МСВЗ.

Для тестирования метода был выбран далеко не самый простой интервал для прогнозирования с существенной особенностью в поведении X_p – координаты полюса (рис. 2). Представленный прогноз был получен с использованием восстановленного ряда в качестве базового вектора (тёмная линия). Из рисунка видно хорошее совпадение исходного и восстановленного ряда до начала прогноза и в первых точках самого прогноза. Этот прогноз выполнен для координаты X_p и является одним из прогнозов (первым) вошедших в конечный результат тестирования метода.

Тестирование метода производилось по 15 прогнозам координат полюса с шагом в 30 дней, с длиной опорного интервала -12 лет (4380 точек) и с окном $M = 438$ точек. На этапе восстановления выбиралось постоянное число компонент для X_p равное 24 и для Y_p - 22. Число компонент было выбрано таким образом, чтобы заведомо произошло отделение полезной информации от шума. Т.е. для некоторых разложений число компонент могло бы быть увеличено, но не уменьшено. Для аппроксимации был выбран рекуррентный модифицированный метод. Максимальная разница между исходным и аппроксимирующим рядами составила менее 0.6 mas.

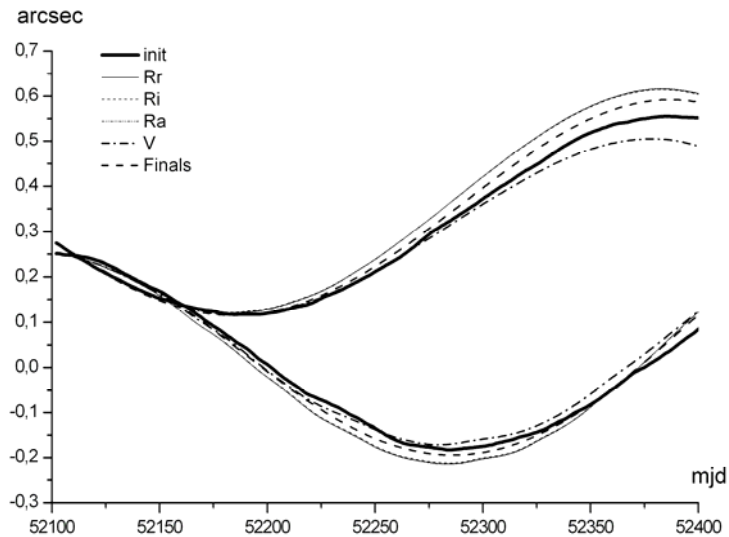


Рис. 1. Пример прогноза координат полюса USNO, полученного разными методами и сравнение его с прогнозом МСВЗ (нижние кривые – X_p , в верхние – Y_p , прогноз МСВЗ – Finals).

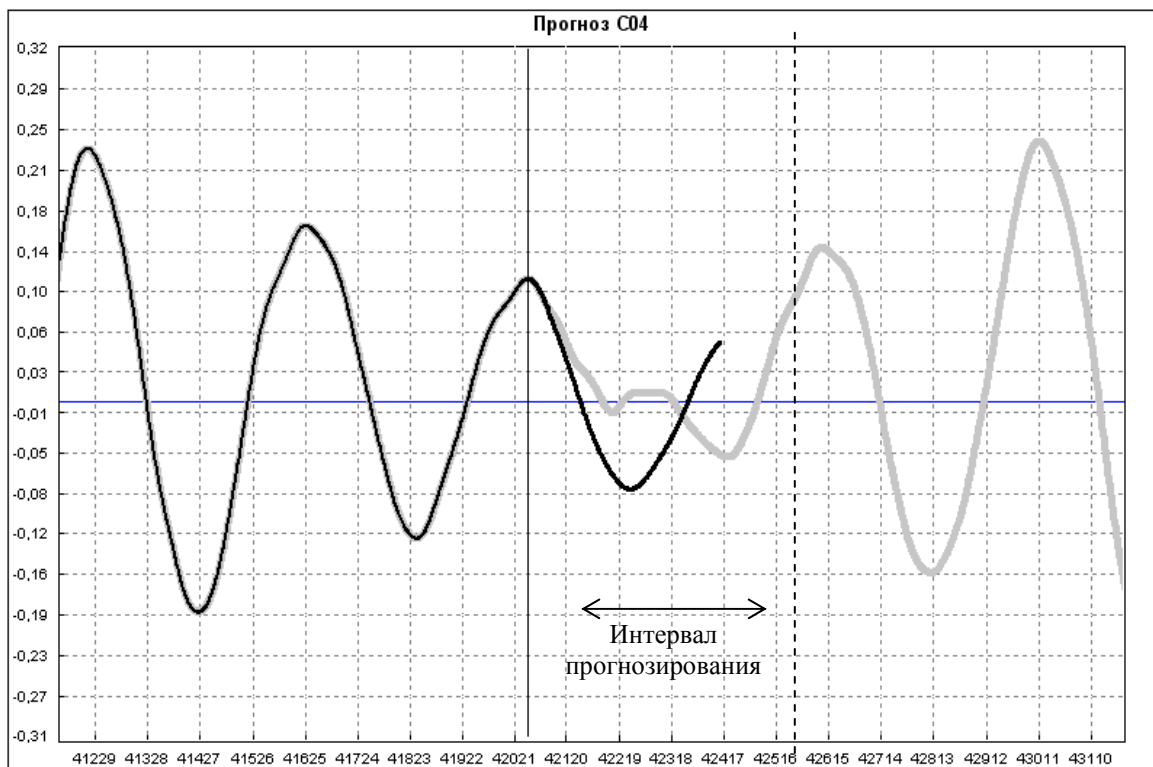


Рис. 2. Интервал, выбранный для оценки метода. Исходный ряд координаты X_p – серая линия, базовый вектор – черная линия, начало прогноза отмечено непрерывной вертикальной линией.

На рис. 3 и в табл. 1 представлены оценки тестирования прогноза координат полюса разными модификациями метода ССА. В таблице 1 даны среднеквадратичные отклонения между предсказанными координатами полюса и рядом *C04*. На рис. 3 приводится среднее абсолютное уклонение прогнозируемой величины от наблюдаемой (*MAE*), вычисленное по формуле (1).

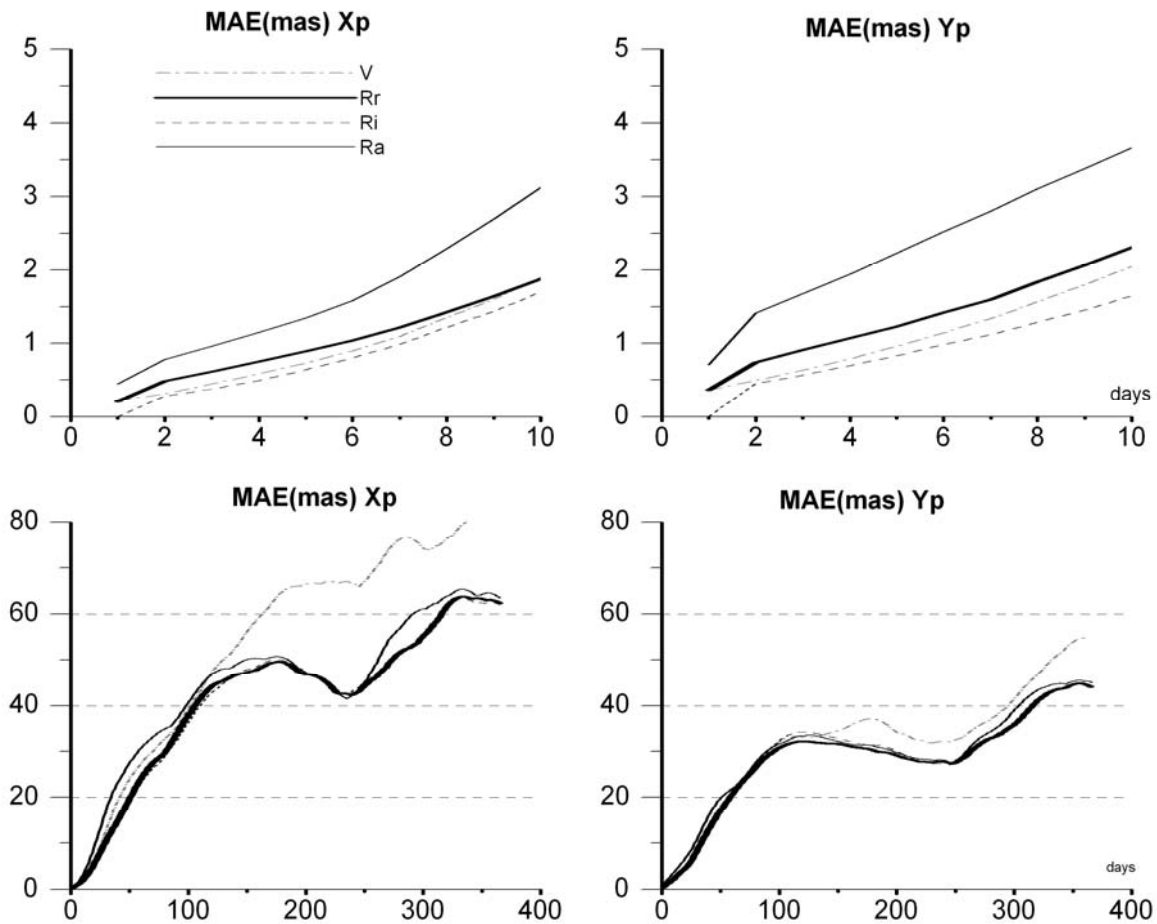


Рис. 3. Оценка прогноза координат полюса, полученного методом ССА.

Таблица 1. Среднеквадратичная (mas) ошибка прогноза координат полюса.

ПВЗ	Метод	Длина прогноза, сутки									
		10	20	30	40	60	90	120	150	180	365
Xp	V	1.31	4.24	8.91	13.43	17.18	15.00	26.60	36.06	33.29	45.07
	Rr	1.89	4.24	7.61	11.42	13.51	14.82	18.30	24.27	20.93	37.02
	Ri	1.38	3.51	7.3	11.72	15.52	18.12	22.13	23.85	20.65	37.70
	Ra	2.40	5.90	10.72	16.45	21.14	23.43	24.63	26.40	22.60	39.38
Yp	V	1.69	4.42	7.93	10.60	13.56	15.78	22.58	26.93	27.82	32.57
	Rr	1.87	4.44	6.40	8.47	13.06	17.26	22.44	25.84	27.61	33.48
	Ri	1.42	3.53	5.95	9.29	16.47	21.70	24.71	27.78	28.67	33.97
	Ra	2.85	6.14	8.88	10.76	17.27	21.35	27.96	30.67	30.14	35.31

Из приведённых результатов видно, что для прогнозов разной длины разные методы являются лучшими. На интервале до 30 дней лучшим является аналитический прогноз, с исходным базовым вектором, а также неплохие результаты получаются при

использовании векторного метода. Причём все прогностические возможности векторного метода для прогноза координат полюса в данной работе не исследовались.

На всем интервале в 365 дней прогноз координаты полюса Y_p получается лучше, чем прогноз X_p , и наблюдается хорошее согласование между всеми построенными прогнозами. На интервале до 120 дней векторный и аналитический прогнозы практически совпадают. Это может говорить об устойчивости данного прогноза на этом временном интервале. Таким образом, подтверждается вывод о том, что для более длительных прогнозов нужно выбирать другие управляющие параметры.

Для сравнения на рис. 4 представлены ошибки полученных прогнозов по данным МСВЗ кампании. Видно, что краткосрочный прогноз (до 10 дней) для координаты X_p имеет наименьшую ошибку и, следовательно, лучше всех представленных. Прогноз для остальных интервалов сопоставим с результатами МСВЗ (табл. 1 и рис. 3).

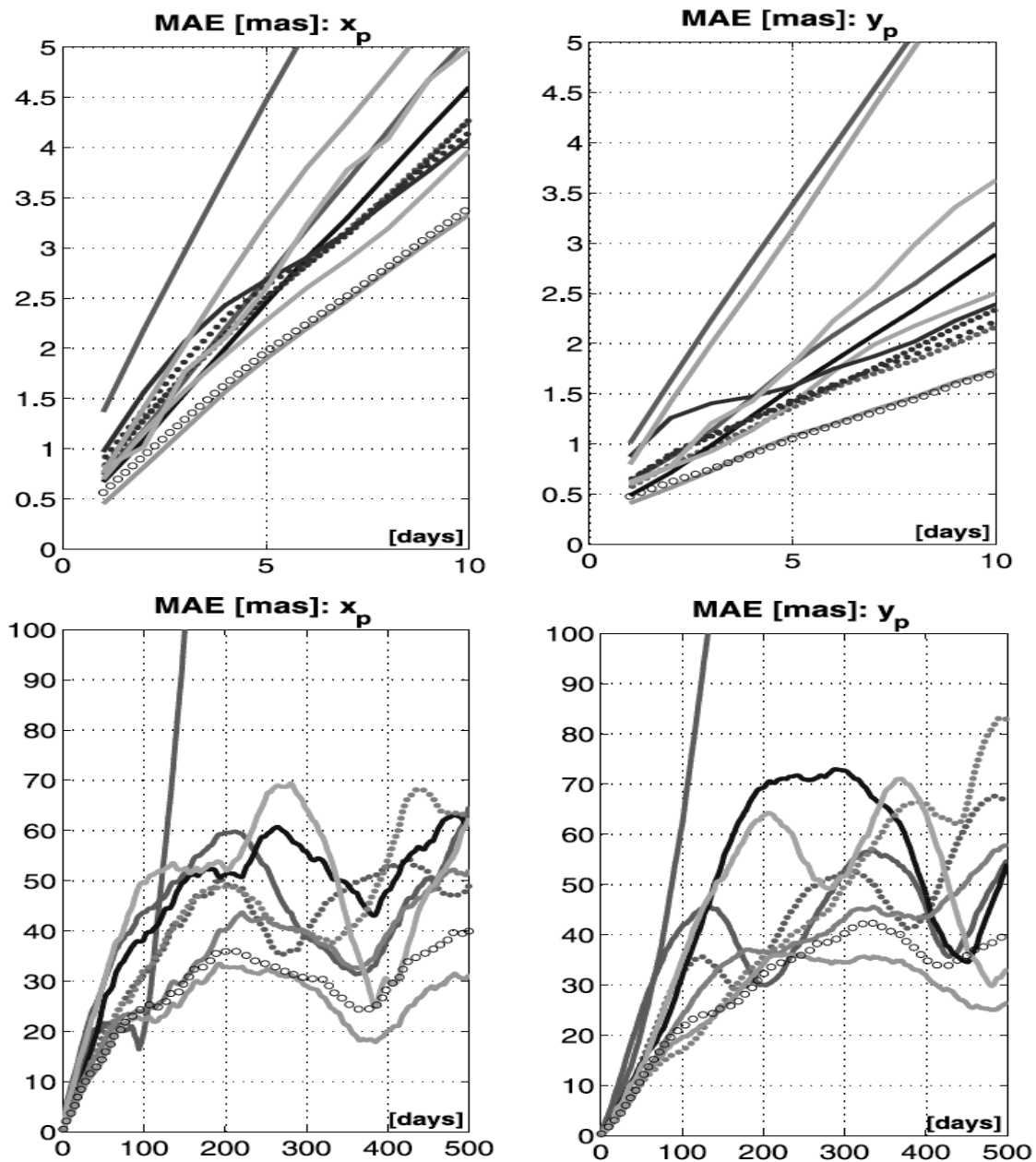


Рис. 4. Прогнозы координат полюса срочной службы МСВЗ.

Прогнозирование неравномерности вращения Земли отличается тем, что ряд $UTI - UTC$ имеет очень мощную нерегулярную низкочастотную составляющую (тренд и декадные вариации во вращении Земли), на порядки превосходящую прочие квазипериодические вариации во вращении Земли. Поэтому для прогноза $UTI - UTC$ придется раздельно исследовать низкочастотные и высокочастотные составляющие ряда, именно ввиду экономии вычислительного ресурса и однородности получаемых результатов.

Для анализа и прогноза неравномерности вращения Земли естественно использовать данные, во-первых, приведенные к непрерывной (без эпизодических секундных скачков) атомной шкале времени, то есть использовать $UTI - TAI$, а не $UTI - UTC$. Во-вторых, необходимо исключить из них известные зональные приливные вариации во вращении Земли в интервале периодов от 5.6 дней до 18.6 лет, то есть использовать ряд $UTIS - TAI$ (<http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/models/UT1/>).

Использовался ряд неравномерности вращения Земли *Finals* с 1986 года до начала 2008 года, на основе которого были составлены ежемесячные прогнозы на год вперед, начиная с февраля 2006 года до августа 2007 года. Выбор 1986 года в качестве начальной точки определяется резким уменьшением стохастической составляющей ряда *Finals* из-за прекращения использования оптических определений ПВЗ именно с этого года. Этот момент существенен для прогнозирования, т.к. ряд должен быть стохастически однородным.

Для прогноза трендовой составляющей применялся векторный метод с максимальным окном (M) равным половине реализации ряда. Как показал численный эксперимент возможно уменьшение M до четверти длины ряда практически без изменения первых трех используемых трендовых составляющих разложения. Это в 4 раза сокращает вычислительное время, весьма значительное ввиду длины ряда (22 года ежесуточных данных).

Однако векторный прогноз оказался нечувствительным к намечающейся к концу ряда изменению его тенденции (к смене производной, характерной для 2007 года). Поэтому стратегия прогнозирования, к сожалению, включает некоторую трудно алгоритмируемую изменчивость. В этом случае надо либо переходить на один из вариантов рекуррентного прогноза, либо увеличивать исходный ряд, включая данные до 1986 года, и/или увеличивать окно M .

Для прогноза высокочастотной (оперативной) составляющей применялся модифицированный рекуррентный метод с окном M не менее 4 лет (1460 точек). В большинстве случаев использование в качестве базового вектора исходного (R_i в применяемых здесь обозначениях) давало лучшие прогнозы, особенно существенные в долгосрочном прогнозировании. Выбор числа компонент для восстановления ряда осуществлялся по их суммарному вкладу не менее 99.95%, что составляет обычно около 100 компонент.

На рис. 5 представлены пример аппроксимации и прогноза обеих составляющих в неравномерности вращения Земли. Видно, что годичный компонент является доминирующим в высокочастотной составляющей ряда. Это, вероятно, и определило успех метода прогнозирования в кампании МСВЗ, основанного на использовании данных эффективного атмосферного углового момента, т.к. он является основным возбуждающим фактором годичной составляющей в неравномерности вращения Земли. Этот факт дает основание для дальнейшего развития данного (ССА) метода в плане использования его многомерной реализации с включением данных атмосферного углового момента.

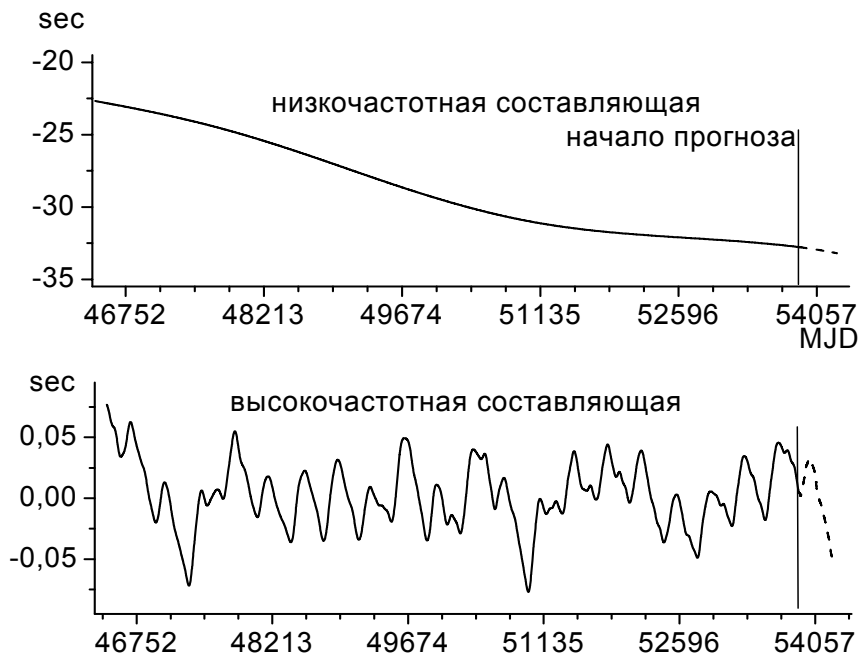


Рис. 5. Годичный прогноз с мая 2006. Каждое деление шкалы MJD соответствует году.

На рис. 6 представлены ошибки полученных прогнозов по данным прогностической кампании МСВЗ и на рис. 7 по нашим прогнозам, полученным по 15 реализациям. Видно, что прогноз $UTIS - TAI$ с помощью метода «Гусеница»-ССА уступает большинству прогнозов кампании в краткосрочном прогнозировании, сравним по качеству в среднесрочном прогнозировании (до 30 дней) и превосходит даже лучший долгосрочный прогноз в проведенной в течение трех лет кампании МСВЗ по изучению методов прогнозирования ПВЗ.

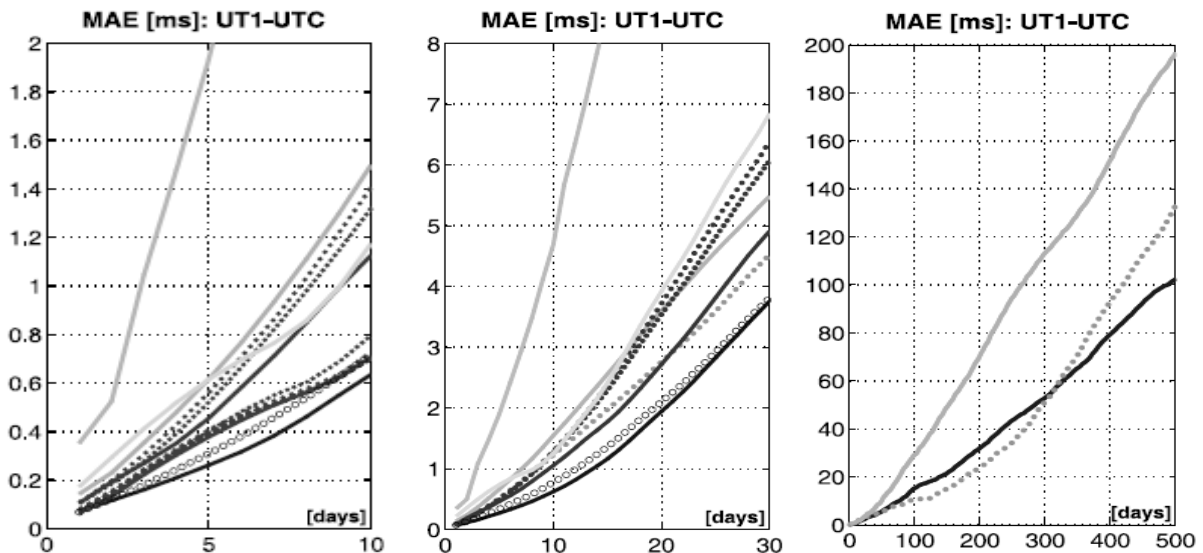


Рис. 6. $UT1 - UTC$ прогнозы срочной службы МСВЗ.

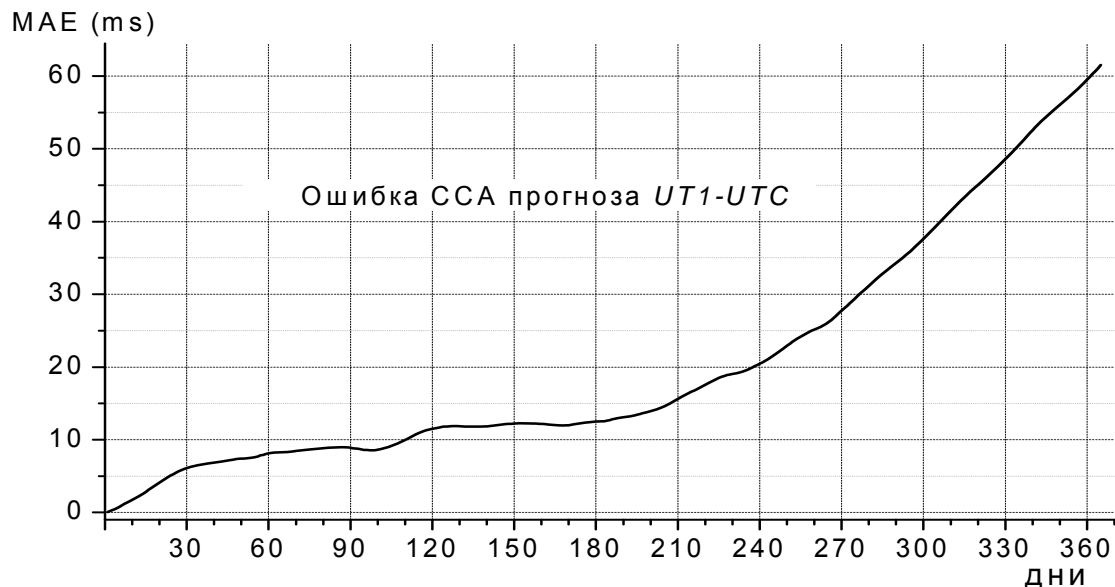


Рис. 7. Оценка прогноза $UT1 - UTC$, полученного методом ССА.

Выводы

Прогноз координат полюса, полученный с помощью ССА, сопоставим с прогнозами срочной службы МСВЗ. В частности, краткосрочный ССА прогноз для координаты X_p (до 10 дней) лучше всех представленных в проведенной в течение трех лет кампании МСВЗ по прогнозированию ПВЗ

Прогноз неравномерности вращения Земли ($UT1 - UTC$) уступает большинству прогнозов МСВЗ кампании в краткосрочном прогнозировании, сравним по качеству в среднесрочном прогнозировании (до 30 дней) и превосходит даже лучший долгосрочный прогноз (особенно до 250).

Полученный результат может быть улучшен, учитывая многочисленные возможности параметризации этого метода прогнозирования.

Литература

- Александров Ф., Голяндина Н.Э., 2005, Выбор параметров при автоматическом выделении трендовых и периодических составляющих временного ряда в рамках подхода «Гусеница»-SSA. Труды IV Международной конференции "Идентификация систем и задачи управления" SICPRO'05. Москва, 2005, с. 1849-1864
- Воротков М.В., Горшков В.Л., Миллер Н.О., Прудникова Е.Я., 2002, Исследование основных составляющих в движении полюса земли, Изв. ГАО, № 216, с. 406-409.
- Горшков В.Л., Миллер Н.О., Персиянинова Н.Р., Прудникова Е.Я., 2000, Исследование геодинимических рядов методом главных компонент, Изв. ГАО, № 214, с. 173-180.
- Горшков В.Л., 2004, О методах прогнозирования в геодинимике, Изв. ГАО РАН, №217, с. 365-378.
- Данилов Д.Л., Жиглявский А.А. (ред.), 1997, Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница», СПбГУ, с. 308.
- Степанов Д., Голяндина Н.Э., 2005, Варианты метода «Гусеница»-SSA для прогноза многомерных временных рядов. Труды IV Международной конференции "Идентификация систем и задачи управления" SICPRO'05. Москва, 2005, с. 1831-1848.

**THE FORECASTING OF EARTH ORIENTATION PARAMETERS BY SINGULAR
SPECTRUM ANALYSIS**

Gorshkov V.L., Miller N.O.

Summary

The short description of the prognostic possibilities of the sigular spectrum analysis in the “Caterpillar”-SSA program realization is given. The Earth orientaion parameters of the IERS were used for search of the optimal parametrization of this forecasting method. Some tens of the forecasts of the polar coordinates and the Earth’s rotation data (*UTI-UTC*) were made for that during two year. The quality of these prediction data were compared with similar data of the Prediction Comparison Campaign of the IERS. The main result of this comparison consist in the large forecasting possibilities of SSA method. In many cases the SSA forecasts were better than the better ones of IERS Campaign.

**АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ СПУТНИКОВ САТУРНА,
ПОЛУЧЕННЫЕ НА ЗЕРКАЛЬНОМ АСТРОГРАФЕ ЗА-320М
В 2006-2008 гг.**

**Девяткин А.В., Алешкина Е.Ю., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В.,
Бехтева А.С., Батурина Г.Д., Ибрагимов Ф.М., Верещагина И.А.,
Кракосевич О.В., Баршевич К.В.**

Приводятся результаты астрометрических наблюдений спутников Сатурна (Гиперион, Япет, Феба). Получены положения спутников в системе каталогов UCAC-2 и USNO-B1.0. Обработка наблюдений выполнена с использованием программных систем АПЕКС и АПЕКС-2 с учетом хроматической рефракции. Средняя точность наблюдений по прямому восхождению и склонению составляет 0".25.

С 1998 г. на зеркальном астрографе ЗА-320 ведутся регулярные астрометрические наблюдения избранных спутников Сатурна. С 2001 г. наблюдения проводятся в автоматическом режиме [1,3]. Обработка наблюдений выполнена в среде полуавтоматической программной системы АПЕКС [2] и автоматической программной системы обработки наблюдений АПЕКС-II. С их помощью были получены величины "O". Редукция наблюдений производилась методом 8 постоянных. Для учета хроматической рефракции были приняты следующие значения показателя цвета $V-V$: Гиперион – 0.78, Япет – 0.72, Феба – 0.70. Значения "C" были вычислены по эфемеридам, полученным через Интернет (telnet://ssd.jpl.nasa.gov).

В результате было получено 213 положений спутников Сатурна. В таблицах 1-3 представлены следующие данные: а) момент наблюдения – первая колонка, б) измеренные топоцентрические астрометрические прямые восхождения и склонения – вторая и третья колонки соответственно, в) величины $(O-C)_{\alpha \cos \delta}$ и $(O-C)_{\delta}$ – четвертая и пятая колонки, г) последняя колонка – обозначение наблюдателя (Девяткин – Dev, Алешкина – Ale, Горшанов – Gor, Куприянов – Kou, Бехтева – Bek., Ибрагимов – Ibr, Верещагина – Ver, Кракосевич – Kra, Баршевич – Bar.).

В таблице 4 приведены средние значения разностей $(O-C)$ за весь период наблюдений и оценки точности наблюдений (среднеквадратические ошибки), вычисленные по значениям $(O-C)$ за весь период наблюдений.

Таблица 1. Гиперион (S7). Результаты наблюдений 2006.12 – 2007.05.

Дата, UTC	α_{2000} h m s	δ_{2000} ° ' "	$(O-C)_{\alpha \cos \delta}$ "	$(O-C)_{\delta}$ "	Набл.
2006 12 26.032370	09 48 57.74	+14 26 15.61	0.37	0.23	Kou
2006 12 30.094281	09 48 21.24	+14 29 24.01	-0.07	0.33	Bek
2007 02 7.995005	09 37 58.13	+15 28 37.25	0.06	0.33	Ibr
2007 02 9.104279	09 37 37.15	+15 30 12.16	0.25	0.36	Ver
2007 02 9.105332	09 37 37.14	+15 30 12.15	0.39	0.26	Ver
2007 02 9.990752	09 37 21.44	+15 31 30.14	-0.10	0.52	Bek
2007 02 10.018207	09 37 20.97	+15 31 32.33	0.05	0.27	Bek
2007 02 11.089891	09 37 03.21	+15 33 09.49	0.42	0.30	Kou
2007 02 11.090828	09 37 03.19	+15 33 09.66	0.28	0.39	Bar
2007 03 25.021386	09 25 44.07	+16 29 09.05	0.29	0.16	Gor
2007 03 26.782185	09 25 31.64	+16 30 19.72	0.27	0.09	Kra

Дата, UTC	α_{2000} h m s	δ_{2000} ° ' "	$(O-C)_{\alpha\cos\delta}$ "	$(O-C)_{\delta}$ "	Набл.
2007 04 1.912514	09 25 02.32	+16 35 29.56	0.09	-0.08	Bar
2007 04 8.885955	09 23 57.90	+16 39 16.79	0.36	0.22	Gor
2007 04 8.886749	09 23 57.90	+16 39 16.78	0.39	0.21	Gor
2007 04 15.802858	09 23 27.94	+16 39 00.37	0.11	0.34	Ver
2007 04 15.803645	09 23 27.92	+16 39 00.39	-0.13	0.37	Ver
2007 04 15.979546	09 23 28.10	+16 38 59.89	0.10	0.54	Ver
2007 04 15.980337	09 23 28.10	+16 38 59.84	0.10	0.50	Ver
2007 04 16.848200	09 23 29.60	+16 38 58.06	0.16	0.43	Bek
2007 04 16.848990	09 23 29.60	+16 38 57.97	0.15	0.35	Bek
2007 04 30.944304	09 23 54.16	+16 37 58.53	0.74	0.74	Gor
2007 04 30.945096	09 23 54.14	+16 37 58.19	0.44	0.43	Gor
2007 05 1.828775	09 23 55.38	+16 37 22.19	0.57	0.46	Ibr
2007 05 1.829566	09 23 55.38	+16 37 22.00	0.56	0.28	Ibr
2007 05 5.818040	09 24 14.76	+16 34 16.89	0.03	0.45	Kou

Таблица 2. Япет (S8). Результаты наблюдений 2007.01 – 2007.04.

Дата, UTC	α_{2000} h m s	δ_{2000} ° ' "	$(O-C)_{\alpha\cos\delta}$ "	$(O-C)_{\delta}$ "	Набл.
2007 01 13.022578	09 47 15.05	+14 23 28.99	0.01	0.29	Bek
2007 01 24.897587	09 45 27.80	+14 47 37.71	0.64	0.50	Ibr
2007 01 25.093606	09 41 55.66	+15 05 53.47	0.16	0.32	Ver
2007 01 26.110476	09 41 52.15	+15 06 12.27	0.18	0.20	Ver
2007 01 26.117068	09 41 34.19	+15 07 50.79	0.03	0.16	Bek
2007 01 29.188240	09 41 34.07	+15 07 51.47	0.03	0.20	Bek
2007 01 31.124985	09 40 40.56	+15 12 51.32	0.16	0.21	Kou
2007 01 31.943917	09 40 07.42	+15 16 02.09	0.59	0.38	Gor
2007 01 13.022578	09 39 53.57	+15 17 22.66	0.46	0.14	Bek
2007 01 24.897587	09 45 27.79	+14 47 37.72	0.54	0.51	Ibr
2007 01 25.093606	09 41 55.66	+15 05 53.51	0.11	0.36	Ver
2007 01 26.110476	09 41 52.15	+15 06 12.81	0.21	0.74	Ver
2007 01 26.117068	09 41 34.18	+15 07 50.89	-0.10	0.26	Bek
2007 01 29.188240	09 41 34.07	+15 07 51.53	-0.05	0.27	Bek
2007 01 31.943917	09 40 40.58	+15 12 51.61	0.46	0.51	Kou
2007 01 31.124985	09 39 53.56	+15 17 22.58	0.22	0.06	Bek
2007 02 1.038587	09 40 07.41	+15 16 01.88	0.43	0.18	Gor
2007 02 7.995934	09 39 51.93	+15 17 32.09	0.21	0.24	Bek
2007 02 9.105332	09 37 57.23	+15 29 00.60	-0.05	0.15	Ver
2007 02 10.018207	09 37 39.36	+15 30 50.35	0.11	0.37	Bek
2007 02 11.090828	09 37 24.75	+15 32 20.41	-0.07	0.28	Ibr
2007 03 28.014361	09 37 07.64	+15 34 05.78	-0.04	0.16	Kra
2007 03 30.894377	09 25 24.75	+16 32 36.88	0.61	0.28	Ver
2007 03 31.858648	09 24 49.95	+16 34 33.75	0.25	0.34	Kra
2007 04 1.833055	09 24 39.20	+16 35 08.85	0.11	0.25	Kra
2007 04 4.003347	09 24 28.82	+16 35 42.48	-0.06	0.34	Ibr
2007 04 5.882541	09 24 07.60	+16 36 49.78	0.25	0.21	Gor
2007 04 5.886465	09 23 51.48	+16 37 40.23	0.23	0.26	Bek
2007 04 6.923479	09 23 51.46	+16 37 40.43	0.35	0.37	Bek
2007 04 8.884965	09 23 43.48	+16 38 04.90	0.32	0.28	Bek

Дата, UTC	α_{2000} h m s	δ_{2000} ° ' "	$(O-C)_{\alpha}\cos\delta$ "	$(O-C)_{\delta}$ "	Набл.
2007 04 8.953035	09 23 30.31	+16 38 45.34	0.39	0.38	Bar
2007 04 14.777389	09 23 29.87	+16 38 46.55	0.22	0.40	Bar
2007 04 14.961910	09 23 06.19	+16 39 57.04	0.19	0.04	Kra
2007 04 9.905938	09 23 05.80	+16 39 58.21	0.31	0.23	Kra
2007 04 15.785043	09 23 24.42	+16 39 02.87	0.04	0.23	Kou
2007 04 15.970492	09 23 04.41	+16 40 02.57	-0.06	0.55	Bar
2007 04 16.838187	09 23 04.14	+16 40 03.00	-0.07	0.41	Bar
2007 04 20.964490	09 23 03.33	+16 40 05.23	0.23	0.20	Ale
2007 04 27.848270	09 23 06.13	+16 39 54.83	0.17	0.20	Ibr
2007 04 30.943383	09 23 55.12	+16 37 10.59	0.34	0.61	Kou

Таблица 3. Феба (S9). Результаты наблюдений 2006.12 – 2007.04.

Дата, UTC	α_{2000} h m s	δ_{2000} ° ' "	$(O-C)_{\alpha}\cos\delta$ "	$(O-C)_{\delta}$ "	Набл.
2006 12 26.024493	09 47 43.75	+14 29 59.84	0.23	0.58	Kou
2006 12 30.096230	09 47 11.93	+14 33 34.31	0.20	0.22	Bek
2007 01 13.020909	09 44 39.57	+14 49 21.17	0.08	0.47	Ibr
2007 01 24.896013	09 41 46.01	+15 06 08.82	0.14	0.46	Ver
2007 01 25.088656	09 41 42.92	+15 06 26.07	0.31	0.35	Ver
2007 01 26.115320	09 41 26.51	+15 07 58.72	0.76	0.03	Bek
2007 01 29.186630	09 40 36.32	+15 12 39.88	0.47	-0.62	Kou
2007 01 31.117467	09 40 04.13	+15 15 40.79	0.53	0.75	Gor
2007 01 31.942419	09 39 50.25	+15 16 57.53	0.13	0.36	Bek
2007 02 7.993232	09 37 49.14	+15 28 01.30	0.11	0.19	Ver
2007 02 9.102388	09 37 29.85	+15 29 46.21	0.47	0.59	Bek
2007 02 11.079423	09 36 55.38	+15 32 51.97	0.36	0.43	Kra
2007 03 25.024259	09 26 46.35	+16 25 08.19	0.56	0.54	Ibr
2007 03 26.777997	09 26 31.03	+16 26 23.56	0.27	0.41	Ale
2007 03 26.786687	09 26 30.96	+16 26 23.75	0.46	0.24	Ale
2007 03 26.797702	09 26 30.85	+16 26 24.33	0.21	0.36	Ale
2007 03 26.807840	09 26 30.77	+16 26 24.74	0.36	0.36	Ale
2007 03 26.817650	09 26 30.68	+16 26 25.31	0.16	0.52	Ale
2007 03 26.827900	09 26 30.60	+16 26 25.49	0.30	0.28	Ale
2007 03 26.857322	09 26 30.34	+16 26 26.70	0.26	0.28	Ale
2007 03 26.869625	09 26 30.24	+16 26 27.05	0.36	0.13	Ale
2007 03 26.883123	09 26 30.11	+16 26 27.96	0.20	0.49	Ale
2007 03 26.894628	09 26 30.03	+16 26 28.36	0.34	0.42	Ale
2007 03 26.907914	09 26 29.91	+16 26 28.86	0.31	0.38	Ale
2007 03 26.915063	09 26 29.86	+16 26 29.17	0.42	0.40	Ale
2007 03 26.931423	09 26 29.70	+16 26 29.71	0.17	0.28	Ale
2007 03 26.946922	09 26 29.57	+16 26 30.55	0.28	0.50	Ale
2007 03 26.957593	09 26 29.50	+16 26 30.94	0.51	0.46	Ale
2007 03 26.971672	09 26 29.38	+16 26 31.54	0.50	0.49	Ale
2007 03 26.983454	09 26 29.26	+16 26 32.02	0.19	0.50	Ale
2007 03 26.997746	09 26 29.15	+16 26 32.49	0.37	0.39	Ale
2007 03 28.016300	09 26 20.84	+16 27 13.33	0.65	0.52	Ver
2007 03 31.786900	09 25 53.38	+16 29 27.14	0.07	0.31	Kra
2007 04 1.764389	09 25 47.13	+16 29 57.38	0.10	0.22	Dev

Дата, UTC	α_{2000} h m s	δ_{2000} ° ' "	$(O-C)_{\alpha} \cos \delta$ "	$(O-C)_{\delta}$ "	Набл.
2007 04 1.767825	09 25 47.12	+16 29 57.61	0.24	0.34	Dev
2007 04 1.892239	09 25 46.35	+16 30 01.53	0.64	0.58	Ibr
2007 04 5.888505	09 25 24.81	+16 31 45.27	0.23	0.36	Bek
2007 04 5.890037	09 25 24.82	+16 31 45.48	0.41	0.54	Bek
2007 04 5.891569	09 25 24.81	+16 31 45.33	0.34	0.36	Bek
2007 04 5.963697	09 25 24.48	+16 31 46.92	0.57	0.40	Bek
2007 04 5.965231	09 25 24.47	+16 31 46.93	0.53	0.38	Bek
2007 04 6.927034	09 25 20.24	+16 32 07.30	0.21	0.42	Bek
2007 04 6.928569	09 25 20.23	+16 32 07.25	0.20	0.35	Bek
2007 04 6.930106	09 25 20.22	+16 32 07.42	0.17	0.48	Bek
2007 04 8.984691	09 25 12.43	+16 32 44.51	0.21	0.37	Bar
2007 04 8.899137	09 25 12.75	+16 32 43.17	0.46	0.35	Bar
2007 04 8.902195	09 25 12.73	+16 32 43.21	0.32	0.34	Bar
2007 04 8.984691	09 25 12.43	+16 32 44.51	0.21	0.37	Bar
2007 04 8.986220	09 25 12.44	+16 32 44.82	0.34	0.66	Bar
2007 04 9.909687	09 25 09.48	+16 32 58.82	0.19	0.47	Kou
2007 04 9.911222	09 25 09.48	+16 32 58.71	0.13	0.33	Kou
2007 04 9.912756	09 25 09.46	+16 32 58.57	0.04	0.17	Kou
2007 04 14.856688	09 24 59.51	+16 33 45.89	0.14	0.65	Kra
2007 04 14.858225	09 24 59.52	+16 33 45.71	0.34	0.46	Kra
2007 04 14.859764	09 24 59.51	+16 33 45.74	0.24	0.48	Kra
2007 04 15.790360	09 24 58.76	+16 33 49.14	0.20	0.38	Bar
2007 04 15.982134	09 24 58.67	+16 33 49.30	0.91	0.16	Bar
2007 04 15.983669	09 24 58.59	+16 33 49.29	-0.27	0.15	Bar
2007 04 15.985205	09 24 58.63	+16 33 50.08	0.45	0.93	Bar
2007 04 16.912807	09 24 58.30	+16 33 50.78	0.33	0.27	Ale
2007 04 16.924969	09 24 58.28	+16 33 50.68	0.21	0.17	Ale
2007 04 16.977008	09 24 58.30	+16 33 50.50	0.66	0.02	Ale
2007 04 27.853229	09 25 20.81	+16 31 59.08	0.36	0.52	Ibr
2007 04 27.854765	09 25 20.81	+16 31 59.13	0.29	0.60	Ibr
2007 04 27.856302	09 25 20.82	+16 31 58.53	0.29	0.03	Ibr
2007 05 10.859893	09 26 49.27	+16 24 49.31	0.58	0.43	Gor
2007 05 10.861435	09 26 49.27	+16 24 49.31	0.49	0.50	Gor
2007 05 10.862968	09 26 49.27	+16 24 48.95	0.15	0.21	Gor
2007 05 12.865168	09 27 08.62	+16 23 15.58	0.52	0.46	Kra
2007 05 15.881062	09 27 40.47	+16 20 40.49	0.06	-0.07	Gor
2007 05 17.870147	09 28 03.30	+16 18 49.58	0.13	-0.32	Bek
2007 05 17.871683	09 28 03.33	+16 18 50.10	0.33	0.28	Bek
2007 05 17.873214	09 28 03.30	+16 18 49.86	-0.29	0.13	Bek
2008 01 6.066470	10 39 33.87	+10 18 54.37	0.04	0.25	Ver
2008 01 6.068003	10 39 33.85	+10 18 54.69	-0.05	0.49	Ver
2008 01 6.069536	10 39 33.83	+10 18 54.51	-0.15	0.21	Ver
2008 01 28.895859	10 35 10.05	+10 49 19.05	0.29	0.25	Ale
2008 01 28.898368	10 35 09.98	+10 49 19.01	-0.21	-0.05	Ale
2008 01 28.908743	10 35 09.83	+10 49 20.27	-0.15	0.20	Ale
2008 01 28.910281	10 35 09.85	+10 49 20.21	0.50	-0.01	Ale
2008 01 28.917213	10 35 09.75	+10 49 21.17	0.54	0.26	Ale
2008 01 28.921769	10 35 09.63	+10 49 21.66	-0.15	0.32	Ale

Дата, UTC	α_{2000} h m s	δ_{2000} ° ' "	$(O-C)_{\alpha} \cos \delta$ "	$(O-C)_{\delta}$ "	Набл.
2008 02 16.067332	10 30 05.27	+11 21 18.78	0.56	0.18	Pav
2008 02 16.068868	10 30 05.23	+11 21 19.12	0.32	0.36	Pav
2008 02 16.070408	10 30 05.21	+11 21 19.25	0.46	0.32	Pav
2008 02 20.049064	10 28 52.91	+11 28 37.53	-0.33	0.04	Gor
2008 02 25.834081	10 27 07.00	+11 39 11.23	-0.09	0.24	Ale
2008 02 25.837453	10 27 06.96	+11 39 11.20	0.20	-0.16	Ale
2008 02 25.846165	10 27 06.80	+11 39 12.59	0.19	0.28	Ale
2008 02 25.849631	10 27 06.74	+11 39 12.82	0.22	0.14	Ale
2008 02 25.885444	10 27 06.05	+11 39 16.71	-0.06	0.13	Ale
2008 03 6.063202	10 24 20.06	+11 55 25.68	-0.02	-0.02	Ver
2008 03 21.800067	10 20 02.27	+12 19 32.25	0.47	0.20	Pav
2008 03 21.803106	10 20 02.18	+12 19 32.74	-0.10	0.45	Pav
2008 03 21.900559	10 20 00.74	+12 19 39.93	0.04	-0.16	Pav
2008 03 24.739864	10 19 20.19	+12 23 20.17	0.23	0.36	Ale
2008 03 24.743318	10 19 20.13	+12 23 19.86	0.17	-0.21	Ale
2008 03 24.929884	10 19 17.50	+12 23 34.16	0.05	0.16	Ale
2008 03 24.931531	10 19 17.48	+12 23 34.17	0.18	0.05	Ale
2008 03 24.933847	10 19 17.45	+12 23 34.30	0.13	0.01	Ale
2008 03 25.010457	10 19 16.34	+12 23 40.17	-0.29	0.22	Ale
2008 03 25.020024	10 19 16.21	+12 23 41.14	-0.35	0.48	Ale
2008 03 25.021731	10 19 16.21	+12 23 40.84	-0.02	0.06	Ale
2008 03 27.912175	10 18 37.45	+12 27 08.05	0.38	0.08	Bek
2008 03 27.914007	10 18 37.41	+12 27 08.35	0.20	0.26	Bek
2008 03 28.790149	10 18 26.16	+12 28 07.89	0.07	0.11	Pav
2008 03 28.792593	10 18 26.14	+12 28 07.98	0.21	0.03	Pav
2008 03 28.795111	10 18 26.10	+12 28 08.19	0.09	0.08	Pav
2008 03 28.812585	10 18 25.87	+12 28 09.49	0.03	0.20	Pav
2008 03 28.889271	10 18 24.89	+12 28 14.49	0.34	0.07	Pav
2008 03 28.891413	10 18 24.86	+12 28 14.74	0.28	0.17	Pav
2008 03 28.893476	10 18 24.84	+12 28 14.78	0.27	0.08	Pav
2008 03 28.895591	10 18 24.81	+12 28 14.90	0.30	0.05	Pav
2008 03 29.847413	10 18 12.87	+12 29 17.92	0.30	0.19	Kra
2008 03 29.849355	10 18 12.81	+12 29 17.96	-0.29	0.11	Kra
2008 03 29.853339	10 18 12.80	+12 29 18.16	0.37	0.05	Kra
2008 03 29.938535	10 18 11.70	+12 29 23.88	-0.03	0.26	Kra
2008 03 29.942462	10 18 11.64	+12 29 24.20	-0.32	0.32	Kra
2008 03 31.746853	10 17 49.90	+12 31 17.93	0.22	-0.03	Ale
2008 03 31.749676	10 17 49.88	+12 31 17.96	0.45	-0.17	Ale
2008 03 31.751642	10 17 49.84	+12 31 18.54	0.25	0.29	Ale
2008 03 31.861019	10 17 48.53	+12 31 25.18	0.29	0.22	Ale
2008 03 31.865328	10 17 48.50	+12 31 25.30	0.55	0.08	Ale
2008 04 1.006309	10 17 46.77	+12 31 33.69	-0.25	-0.07	Ale
2008 04 1.008776	10 17 46.77	+12 31 33.82	0.25	-0.08	Ale
2008 04 3.839244	10 17 14.98	+12 34 18.03	0.36	0.20	Bek
2008 04 3.856161	10 17 14.79	+12 34 18.90	0.27	0.15	Bek
2008 04 4.782509	10 17 04.98	+12 35 08.81	0.12	0.11	Pav
2008 04 4.785095	10 17 04.97	+12 35 09.21	0.34	0.38	Pav
2008 04 4.787433	10 17 04.91	+12 35 09.35	-0.14	0.39	Pav

Дата, UTC	α_{2000} h m s	δ_{2000} ° ' "	$(O-C)_{\alpha} \cos \delta$ "	$(O-C)_{\delta}$ "	Набл.
2008 04 4.859887	10 17 04.18	+12 35 12.80	0.41	0.02	Pav
2008 04 4.862437	10 17 04.16	+12 35 12.96	0.47	0.05	Pav
2008 04 4.866983	10 17 04.10	+12 35 13.12	0.36	-0.03	Pav
2008 04 5.843906	10 16 54.09	+12 36 03.64	0.15	0.06	Kra
2008 04 5.845821	10 16 54.06	+12 36 04.00	-0.03	0.33	Kra
2008 04 5.852473	10 16 54.01	+12 36 04.33	0.31	0.32	Kra
2008 04 21.790170	10 15 01.75	+12 44 43.41	-0.15	0.05	Ale
2008 04 21.793591	10 15 01.76	+12 44 43.58	0.15	0.17	Ale
2008 04 21.906993	10 15 01.30	+12 44 45.33	0.24	0.38	Ale
2008 04 21.910753	10 15 01.29	+12 44 45.24	0.18	0.24	Ale
2008 04 24.878659	10 14 51.65	+12 45 16.28	0.04	0.35	Bek
2008 04 24.888727	10 14 51.62	+12 45 16.24	0.11	0.26	Bek
2008 04 28.868578	10 14 44.40	+12 45 24.63	0.02	-0.08	Ale
2008 04 28.874309	10 14 44.40	+12 45 25.06	0.07	0.37	Ale
2008 05 3.956484	10 14 44.79	+12 44 41.28	0.16	-0.05	Kra
2008 05 15.863197	10 15 28.00	+12 39 02.08	0.31	0.04	Bek
2008 05 15.897384	10 15 28.18	+12 39 00.30	0.02	-0.27	Bek
2008 05 16.868187	10 15 34.30	+12 38 18.37	0.18	-0.14	Pav

Таблица 4. Средние значения и ошибки наблюдений.

Спутник	N	$\overline{(O-C)_{\alpha} \cos \delta}$	$\sigma_{\alpha}'' \cos \delta$	$\overline{(O-C)_{\delta}}$	σ_{δ}''
Гиперион	25	0.24"	0.22	0.34"	0.16
Япет	41	0.20	0.20	0.30	0.15
Феба	74	0.22	0.23	0.25	0.22

Литература

1. Бекяшев Р.Х., Канаев И.И., Девяткин А.В., Горшанов Д.Л., Грицук А.Н., Кулиш А.П., Сви́дунович А.Г., Шумахер А.В. Зеркальный астрограф ЗА-320 // Изв. ГАО, 1998, N 213, с.249-258.
2. Девяткин А.В., Грицук А.Н., Горшанов Д.Л., Корнилов Э.В. АПЕКС — программная система для обработки ПЗС-изображений в астрономии // Изв. ГАО, 2000, №214, с.455–468.
3. Девяткин А.В., Канаев И.И., Кулиш А.П., Рафальский В.Б., Шумахер А.В., Куприянов В.В., Бехтева А.С. Автоматизация астрономических наблюдений на зеркальном астрографе ЗА-320.П. // Изв. ГАО, 2004, №217, с.505-530.
4. telnet://ssd.jpl.nasa.gov

ASTROMETRIC OBSERVATIONS OF SATELLITES OF SATURN ON MIRROR ASTROGRAPH ZA-320M IN 2006-2008

Devyatkin A.V., Gorshanov D.L., Kouprianov V.V., Aleshkina E.Yu., Bekhteva A.S.,
Baturina G.D., Ibragimov F.M., Vereschagina I.A., Krakosevich O.V., Barshevich K.V.

Summary

Astrometric observations in 2006-2008 of Saturn's satellites (Hyperion, Iapetus, Phoebe) were made in Pulkovo Observatory with ZA-320M Mirror Astrograph. Processing of the observations was done by means of APEX program system in UCAC-2, USNO-B1.0 catalogues system in view of chromatic refraction.

АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ МАЛЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ЗЕРКАЛЬНОМ АСТРОГРАФЕ ЗА-320М В 2006-2008 гг.

Девяткин А.В., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Алешкина Е.Ю., Бехтева А.С., Батурина Г.Д., Ибрагимов Ф.М., Верещагина И.А., Кракосевич О.В., Баршевич К.В., Павловский С.Е., Павловский К.С.

Проведены астрометрические наблюдения астероидов и комет. Получены положения для 393 астероидов и для 4 комет в системе каталогов USNO-B1.0 и UCAC-2. Обработка наблюдений выполнена с использованием программных систем АПЕКС и АПЕКС-1. Средняя точность наблюдений по прямому восхождению и склонению составляет 0".3.

С 1998 г. на телескопе ЗА-320 [1, 2, 7, 8] проводятся наблюдения малых тел Солнечной системы. С 2002 года на телескопе была начата программа наблюдений объектов, сближающихся с Землей, которая осуществляется в рамках темы “Пулковская программа изучения объектов, сближающихся с Землей” [4, 6, 10, 13]. В программу наблюдений малых тел Солнечной системы на ЗА-320 включены следующие объекты: 1) астероиды из Critical List MPC; 2) астероиды, которые недавно открыты; 3) двойные астероиды; 4) астероиды, имеющие орбиты, схожие с кометными; 5) астероиды в моменты тесных сближений; 6) астероиды в момент видимых сближений; 7) астероиды, названные именами пулковских астрономов; 8) астероиды, к которым летят космические зонды; 9) астероиды, покрывающие звезды; 10) кометы. Всего за отчетный период нами наблюдалось 397 объектов. Для двойных и кратных астероидов выполнялись плотные фотометрические ряды наблюдений с целью исследования кривых блеска.

Наблюдения на ЗА-320 проводились в автоматическом режиме [2, 8]. Обработка ПЗС наблюдений была выполнена при помощи автоматической программной системы АПЕКС-И и частично при помощи полуавтоматической программной системы АПЕКС-1 [5]. Редукция наблюдений производилась методом 8 постоянных. Обработка наблюдений была проведена в системе каталогов USNO-B1.0 и UCAC-2. С помощью систем АПЕКС были получены величины “O”. Для учета хроматической рефракции использовались значения показателя цвета $B-V$, если они были известны [11], а для остальных объектов было принято значение $B-V = 0.80$. Значения “C” вычислялись с использованием программы ЭПОС [9]. Эфемериды малых планет определялись с использованием каталога элементов `astorb.dat` (<ftp://ftp.lowell.edu/pub/elgb/astorb.html>).

В таблицах 1-2 приведены результаты обработки наблюдений и данные по наблюдаемым объектам. Обозначение столбцов следующее: Объект — название объекта, N — количество наблюдений, $\overline{(O-C)}_{\alpha} \cos \delta$ — среднее значение разностей (O-C) по прямому восхождению за весь период наблюдений, $\sigma_{\alpha}'' \cos \delta$ — внешняя ошибка одного наблюдения по прямому восхождению (оценка по разностям (O-C) за весь период наблюдений), $\overline{(O-C)}_{\delta}$ — среднее значение разностей (O-C) по склонению за весь период наблюдений, σ_{δ}'' — внешняя ошибка одного наблюдения по склонению (оценка по разностям (O-C) за весь период наблюдений), “Z диапазон” — диапазон наблюдений объекта по зенитному расстоянию.

Для комет, в случае большого тренда в O-C, оценка точности была проведена по отклонениям индивидуальных точек от кривой не более второго порядка, проведенной методом МНК через эти точки. Оценки точности наблюдений (среднеквадратические

ошибки одного наблюдения) вычислялись для каждого объекта. Средняя точность наблюдений по прямому восхождению и склонению составляет 0".30.

Топоцентрические астрометрические положения астероидов и комет на эпоху J2000 были опубликованы в Minor Planet Circular [13-31]. Часть наблюдений не вошла в данные публикации, т.к. MPC в свою базу данных принимает только два наблюдения одного и того объекта, полученные в одну ночь наблюдений.

Таблица 1. Результаты обработки наблюдений малых планет и данные по наблюдаемым объектам.

Объект	N	$\overline{(O-C)}_{\alpha} \cos \delta$	$\sigma_{\alpha} \cos \delta$	$\overline{(O-C)}_{\delta}$	σ_{δ}	Z диапазон
16 Psyche	3	-0.11"	0.45"	0.34"	0.40"	55°
22 Kalliope	879	-0.02	0.11	0.08	0.14	26-73
26 Proserpina	2	-0.01	-	-0.11	-	65
39 Laetitia	563	0.09	0.10	0.10	0.12	49-72
45 Eugenia	105	0.11	0.16	0.17	0.10	45-62
75 Eurydike	2	0.12	-	0.15	-	65
79 Eurynome	22	-0.10	0.15	0.01	0.14	74-75
87 Sylvia	763	-0.06	0.09	0.05	0.09	27-63
88 Thisbe	6	0.02	0.08	-0.03	0.05	46-62
90 Antiope	761	0.04	0.10	0.04	0.12	34-66
144 Vibia	4	0.10	0.22	0.08	0.03	47-48
176 Iduna	4	0.20	0.10	-0.12	0.32	51
247 Eukrate	15	-0.18	0.06	0.04	0.12	9-26
296 Phaetusa	1	-0.01	-	-0.26	-	75
433 Eros	14	0.06	0.27	-0.02	0.16	68-75
519 Sylvania	2	0.32	-	-0.31	-	52
623 Chimaera	2	-0.18	-	-0/08	-	23
707 Steina	2	-0.07	-	-0.22	-	75
788 Hohensteina	2	-0.13	-	-0.06	-	57
792 Metcalfia	1	0.09	-	0.29	-	67
843 Nicolaia	2	0.37	-	-0.19	-	39-40
882 Swetlana	55	0.03	0.22	0.11	0.18	57-75
953 Painleva	2	0.58	-	0.40	-	53
1036 Ganymed	18	0.11	0.10	0.20	0.16	70-76
1118 Hanskya	2	0.09	-	-0.21	-	63
1211 Bressole	2	0.01	-	0.10	-	61
1313 Berna	237	0.00	0.20	-0.14	0.14	19-61
1325 Inanda	4	-0.16	0.17	0.21	0.45	71-73
1350 Rosselia	2	0.20	-	0.06	-	71
1620 Geographos	8	-0.08	0.12	-0.01	0.09	61-70
1621 Druzhba	70	0.01	0.16	0.14	0.16	46-72
1627 Ivar	43	-0.02	0.31	-0.11	0.26	71-41
1685 Toro	29	0.06	0.27	-0.07	0.23	61-75
1751 Herget	4	-0.15	0.40	-0.09	0.20	50-55
1862 Apollo	3	0.36	0.29	-0.06	0.27	75

Объект	N	$\overline{(O-C)_\alpha \cos \delta}$	$\sigma_\alpha'' \cos \delta$	$\overline{(O-C)_\delta}$	σ_δ''	Z диапазон
1864 Daedalus	34	0.16	0.49	0.33	0.55	50-75
1866 Sisyphus	57	0.02	0.22	0.01	0.21	15-46
1943 Anteros	30	0.10	0.28	0.02	0.34	42-68
1980 Tezcatlipoca	112	0.12	0.34	-0.12	0.22	13-75
1981 Midas	41	-0.03	0.25	0.05	0.15	12-62
2059 Baboquivari	30	-0.04	0.28	0.01	0.35	57-71
2091 Sampo	1	-0.38	-	0.46	-	75
2100 Ra-Shalom	9	1.35	0.32	0.18	0.16	62-72
2126 Gerasimovich	2	0.15	-	0.25	-	45
2212 Hephaistos	68	0.02	0.25	-0.14	0.20	9-68
2329 Orthos	3	0.12	0.13	0.02	0.50	68-74
2338 Bokhan	6	0.18	0.13	-0.13	0.14	63-73
2411 Zellner	6	0.12	0.07	-0.40	0.1	44-45
2706 Borovsky	14	0.22	0.28	-0.19	0.27	49-57
2740 Tsoj	2	-0.45	-	-0.45	-	75
3103 Eger	48	-0.13	0.19	-0.08	0.20	22-67
3109 Machin	6	-0.39	0.07	-0.18	0.06	41-53
3199 Nefertiti	28	-0.17	0.33	-0.20	0.27	49-75
3200 Phaethon	43	-0.27	0.32	0.18	0.35	7-58
3269 Vibert-Douglas	1	-0.36	-	-0.28	-	69
3288 Seleucus	15	-0.20	0.31	0.09	0.13	54-76
3332 Raksha	2	1.20	-	-0.52	-	66
3481 Xianglupeak	8	-0.21	0.20	-0.05	0.16	63-65
3526 Jeffbell	8	-0.11	0.24	-0.34	0.39	30-45
3553 Mera	7	0.31	0.30	-0.23	0.47	23-42
3554 Amun	44	0.02	0.36	0.00	0.30	9-70
3691 Bede	50	0.09	0.24	0.01	0.23	50-66
3752 Camillo	2	-0.17	-	0.13	-	19
3773 Smithsonian	2	0.51	-	0.28	-	60
3801 Thrasymedes	2	-0.07	-	-0.04	-	43
3932 Edshay	2	-0.47	-	-0.37	-	46-49
4055 Magellan	6	-0.33	0.46	-0.34	0.23	49-67
4157 Izu	25	-0.12	0.47	0.24	0.52	46-64
4257 Ubasti	40	0.09	0.31	0.04	0.30	22-71
4341 Poseidon	3	-0.33	0.37	0.27	0.38	66-69
4450 Pan	33	-0.38	0.24	0.10	0.15	61-75
4492 Debussy	81	-0.27	0.24	-0.22	0.20	24-60
4503 Cleobulus	2	0.52	-	-0.04	-	74-75
4510 Shawna	1	-0.52	-	0.07	-	56
4514 Vilen	2	-0.30	-	-0.21	-	45
4544 Xanthus	35	-0.05	0.33	-0.07	0.49	19-62
4954 Eric	405	-0.07	0.17	0.01	0.19	1-75
5011 Ptah	36	0.32	0.35	-0.17	0.26	56-67
5131 1990 BG	4	0.36	0.39	0.01	0.20	37-65

Объект	N	$\overline{(O-C)}_{\alpha} \cos \delta$	$\sigma_{\alpha}'' \cos \delta$	$\overline{(O-C)}_{\delta}$	σ_{δ}''	Z диапазон
5143 Heracles	88	-0.11	0.30	-0.23	0.26	25-75
5232 Jordaens	1	0.09	-	0.82	-	70
5407 1992 AX	529	-0.09	0.15	-0.13	0.15	27-60
5584 Izenberg	3	-0.07	0.05	-0.16	0.09	57-62
5587 1990 SB	3	-0.33	0.34	0.77	0.27	67-70
5626 1991 FE	46	-0.08	0.32	-0.15	0.25	48-75
5646 1990 TR	9	-0.12	0.19	-0.27	0.22	26-38
5693 1993 EA	18	-0.16	0.27	-0.24	0.26	36-66
5697 Arrhenius	1	-0.77	-	-0.59	-	51
5719 Krizik	3	0.28	0.52	0.29	0.30	75
5743 Kato	2	0.06	-	0.38	-	43-52
5751 Zao	6	0.51	0.23	-0.03	0.57	63-68
5836 1993 MF	2	0.22	-	-0.30	-	73-75
5988 Gorodnitskij	11	0.07	0.44	0.28	0.49	66-68
6601 1988 XK1	14	0.05	0.10	-0.16	0.12	50-59
6709 Hiromiyuki	2	-0.09	-	0.06	-	45-46
6722 Bunichi	8	-0.16	0.14	-0.16	0.08	48-50
6750 Katgert	2	-0.29	-	-0.29	-	64
6976 Kanatsu	2	-0.25	-	0.01	-	60
7092 Cadmus	2	0.07	-	0.69	-	63-65
7096 Napier	34	-0.13	0.29	-0.06	0.26	47-69
7183 1991 RE16	1	-0.19	-	-0.22	-	60
7254 Kuratani	1	-0.34	-	-0.49	-	39
7268 Chigorin	2	-0.37	-	-0.38	-	62
7341 1991 VK	46	0.07	0.34	-0.04	0.28	39-73
7370 Krasnogolovets	1	0.65	-	0.28	-	67
7375 1980 PZ	2	0.05	-	-0.28	-	44-45
7604 Kridsadaporn	7	0.03	0.25	0.40	0.24	71-75
7726 Olegbykov	18	-0.10	0.25	0.25	0.22	67-72
7735 Scorzelli	4	0.02	0.14	-0.10	0.04	60-62
8598 Tatrix	2	0.17	-	0.01	-	45-46
8820 Anjandersen	14	-0.08	0.21	-0.43	0.16	35-58
9109 1997 AH7	2	0.20	-	0.01	-	63
10101 Fourier	1	0.83	-	0.79	-	72
10115 1992 SK	22	0.00	0.35	-0.07	0.23	35-61
10165 1995 BL2	6	0.08	0.40	0.03	0.33	7-26
10230 1997 WU35	2	0.42	-	-0.31	-	63
10320 Reiland	6	0.04	0.11	-0.44	0.06	66-69
10559 Yukihiisa	1	-0.04	-	0.22	-	45
11353 Guillaume	3	0.51	0.24	0.25	0.11	46-63
11398 1998 YP11	8	-0.20	0.22	0.14	0.24	8-39
11405 1999 CV3	10	0.41	0.11	-0.08	0.29	60-75
11408 Zahradnik	1	-0.37	-	0.18	-	50
11500 1989 UR	6	-0.17	0.45	0.03	0.21	23-30

Объект	N	$\overline{(O-C)_\alpha \cos \delta}$	$\sigma_\alpha'' \cos \delta$	$\overline{(O-C)_\delta}$	σ_δ''	Z диапазон
11570 1993 LE	1	-0.64	-	-0.49	-	60
12342 Kudohmichiko	2	0.37	-	-0.24	-	56
12734 Haruna	2	-0.15	-	0.15	-	52
12975 Efremov	9	0.21	0.20	0.10	0.24	66-70
13532 1991 RY8	2	-0.01	-	0.08	-	59
14124 Kamil	2	0.34	-	-0.30	-	51
14209 1999 CV81	2	0.43	-	-0.16	-	37-46
14617 Lasvergnas	1	0.59	-	-0.71	-	63
14689 2000 AM2	2	-0.12	-	-0.20	-	47
14789 GAISH	4	0.02	0.07	-0.32	0.07	66-68
15463 1999 AT2	2	-0.05	-	0.13	-	65
15647 4556 P-L	2	-0.06	-	0.25	-	51
15948 1998 BE	2	-0.22	-	-0.83	-	72
16036 Moroz	2	-0.29	-	-0.43	-	56
16345 2391 T-3	1	0.55	-	-0.53	-	49
16441 Kirchner	1	-0.86	-	-1.00	-	62
16636 1993 QP	86	0.06	0.23	-0.08	0.24	39-66
16750 Marisandoz	2	-0.12	-	-0.30	-	38
16834 1997 WU22	15	-0.08	0.28	-0.19	0.21	37-69
16928 1998 FF70	2	-0.96	-	0.16	-	40
16971 1998 WJ3	5	-0.06	0.30	-0.64	0.23	30-49
17208 Pokrovska	2	0.09	-	-0.47	-	39
17859 Galinaryabova	18	-0.57	0.41	-1.34	0.85	42-52
18045 1999 RR100	1	-0.77	-	0.48	-	66
18609 1998 BN48	17	0.01	0.14	0.06	0.24	46-50
18736 1998 NU	2	0.06	-	-0.26	-	39
20663 1999 UU2	2	0.02	-	-0.25	-	49
20736 1999 XV170	1	-0.45	-	-0.28	-	66
21041 1990 QO1	20	-0.17	0.33	-0.39	0.25	26-44
21088 1992 BL2	10	0.19	0.31	0.26	0.33	54-70
21374 1997 WS22	5	-0.14	0.27	0.13	0.15	46-61
22099 2000 EX106	2	-0.15	-	-0.37	-	55
22771 1999 CU3	33	-0.02	0.27	-0.04	0.28	13-73
23173 2000 HF26	1	-0.57	-	-0.37	-	29
23231 2000 WT59	2	0.43	-	-0.14	-	45
23262 Thiagoolson	1	0.08	-	-0.61	-	56
23686 Songyuan	1	0.40	-	0.07	-	49
24443 2000 OG	23	-0.04	0.34	-0.07	0.23	39-63
24641 Enver	2	0.02	-	0.35	-	31
25108 1998 RV55	8	0.30	0.27	0.26	0.17	45-50
25916 2001 CP44	33	0.08	0.36	-0.09	0.27	57-71
26218 1997 WJ13	1	0.57	-	-0.48	-	41
26421 1999 XP113	2	0.30	-	-0.26	-	31-32
26612 2000 FL55	4	0.21	0.13	0.19	0.24	46-48

Объект	N	$\overline{(O-C)}_{\alpha} \cos \delta$	$\sigma_{\alpha}'' \cos \delta$	$\overline{(O-C)}_{\delta}$	σ_{δ}''	Z диапазон
26760 2001 KP41	18	0.26	0.37	0.03	0.25	57-67
26784 2103 T-3	3	0.19	0.22	-0.01	0.19	62-63
26916 1996 RR2	2	-0.15	-	-0.51	-	47-48
27128 1998 WB25	1	0.56	-	0.47	-	71
27130 Diraola	2	0.12	-	-0.06	-	44
27181 1999 CX1	9	-0.10	0.18	-0.21	0.16	39
27273 2000 AT34	1	-0.24	-	-0.46	-	24
27460 2000 GW42	2	-0.02	-	-0.16	-	50
27781 1992 EE19	1	0.85	-	0.05	-	68
28641 2000 FS49	1	-0.83	-	0.08	-	50
29372 1996 GA	2	-0.11	-	-0.06	-	70
29899 1999 HU1	1	-0.35	-	0.34	-	63
30534 2001 OA5	2	0.30	-	0.18	-	42-43
30572 2001 OE98	1	-0.11	-	-0.42	-	60
30579 2001 OW107	10	-0.05	0.26	-0.31	0.26	27-29
31221 1998 BP26	32	-0.01	0.25	-0.17	0.20	21-73
31735 1999 JJ72	1	0.31	-	-0.59	-	34
31850 2000 EB22	1	0.17	-	-0.24	-	44
31884 2000 FK27	1	0.48	-	0.59	-	62
32491 2000 UU107	2	0.15	-	-0.04	-	46
33689 1999 JM126	2	-0.02	-	-0.01	-	51
34309 2000 QY186	1	0.06	-	0.01	-	71
35107 1991 VH	66	-0.09	0.25	-0.07	0.31	16-57
35257 1996 HM14	10	0.28	0.32	-0.22	0.35	66-67
37873 1998 FM29	1	0.19	-	0.19	-	58
40267 1999 GJ4	11	-0.35	0.34	-0.11	0.33	24-32
40565 1999 RD124	1	0.67	-	-0.09	-	47
41876 2000 WB101	1	-0.29	-	-0.72	-	39
42081 2001 AX7	2	0.04	-	-0.37	-	51
42286 2001 TN41	21	0.34	0.31	0.08	0.40	19-59
42914 1999 RA232	2	0.56	-	0.25	-	37
43224 Tonypensa	4	-0.58	0.34	-0.44	0.37	56-62
43264 2000 DZ52	2	-0.11	-	-0.15	-	55
43571 2001 FD165	1	-0.21	-	-0.04	-	24
45423 2000 AR162	9	0.24	0.12	-0.20	0.10	21-30
46710 1997 GB7	2	0.17	-	-0.26	-	45
47452 1999 XY221	12	-0.03	0.31	0.05	0.22	47-54
50131 2000 AS125	1	0.29	-	-0.72	-	55
50891 2000 GH41	2	0.23	-	0.35	-	50
51077 2000 GT163	1	-0.13	-	0.35	-	64
51219 2000 JE23	8	0.10	0.43	-0.26	0.31	35-48
52610 1997 UK1	16	0.12	0.23	-0.19	0.32	28-34
52621 1997 VW4	2	-0.25	-	-0.12	-	34-35
53426 1999 SL5	40	-0.12	0.39	0.04	0.24	3-51

Объект	N	$\overline{(O-C)}_{\alpha} \cos \delta$	$\sigma_{\alpha}'' \cos \delta$	$\overline{(O-C)}_{\delta}$	σ_{δ}''	Z диапазон
53435 1999 VM40	45	-0.20	0.22	-0.13	0.22	16-61
53727 2000 ET34	1	-0.04	-	0.05	-	30
53789 2000 ED104	2	-0.19	-	-0.36	-	63-64
54451 2000 NV10	2	0.14	-	-0.35	-	60
55114 2001 QD160	2	-0.36	-	0.26	-	49
55361 2001 SN176	1	0.38	-	-1.04	-	20
55872 1997 UW5	2	0.32	-	-0.74	-	58
56096 1999 BA9	11	-0.19	0.25	-0.55	0.15	39-47
56390 2000 EH91	5	0.21	0.37	0.03	0.37	67-71
58139 1981 EP46	18	-0.02	0.08	-0.15	0.17	28-34
58507 1996 VX32	1	0.27	-	0.48	-	47
66063 1998 RO1	1	0.08	-	0.24	-	38
66146 1998 TU3	4	0.22	0.29	0.13	0.45	73-74
66251 1999 GJ2	4	0.21	0.39	0.45	0.12	59-66
66898 1999 VS114	2	-0.22	-	-0.72	-	60
68024 2000 YY19	2	0.05	-	-0.26	-	29-30
68216 2001 CV26	32	-0.16	0.32	-0.16	0.24	45-73
68359 2001 OZ13	1	0.07	-	-0.76	-	33
70517 1999 TU105	2	0.29	-	-0.49	-	47
70296 1999 RZ127	7	-0.43	0.21	-0.74	0.14	35-44
74391 1998 XC41	1	0.26	-	-0.14	-	47
75598 2000 AY23	2	0.21	-	0.01	-	47-48
77289 2001 FX66	2	-0.42	-	-0.22	-	67
78493 2002 RS62	2	0.45	-	-0.36	-	62
80066 1999 JD92	1	-0.47	-	0.60	-	57
85275 1994 LY	54	0.01	0.15	0.00	0.17	49-72
85709 1998 SG36	21	0.22	0.45	-0.10	0.37	46-71
85713 1998 SS49	6	-0.10	0.31	0.15	0.17	26-45
85804 1998 WQ5	2	0.15	-	-0.54	-	19-20
86039 1999 NC43	22	0.05	0.42	0.03	0.37	55-73
86324 1999 WA2	119	0.03	0.18	-0.04	0.23	3-73
86667 2000 FO10	2	0.11	-	-0.23	-	67
86829 2000 GR146	73	-0.01	0.24	-0.45	0.21	6-58
87309 2000 QP	32	0.25	0.43	0.30	0.19	21-56
87859 2000 SX225	2	0.16	-	-0.21	-	27
88513 2001 QB155	2	-0.27	-	-0.22	-	38
88996 2001 TY75	7	-0/07	0.12	-0.58	0.26	33-36
89830 2002 CE	23	-0.11	0.34	0.07	0.35	29-58
91326 1999 GV51	1	0.10	-	0.74	-	72
93991 2000 XM17	9	0.17	0.36	-0.23	0.30	30-37
96404 1998 DB28	2	0.44	-	-0.46	-	47
96518 1998 RO3	1	0.53	-	0.25	-	63
96631 1999 FP59	2	0.44	-	-0.23	-	62
96846 1999 RC211	1	-0.90	-	-0.82	-	69

Объект	N	$\overline{(O-C)}_{\alpha} \cos \delta$	$\sigma_{\alpha}'' \cos \delta$	$\overline{(O-C)}_{\delta}$	σ_{δ}''	Z диапазон
97442 2000 BF7	1	0.29	-	-0.22	-	49
97679 2000 GG2	4	-0.15	0.45	0.44	0.55	26-29
99907 1989 VA	10	-0.29	0.15	0.07	0.37	25-56
99935 2002 AV4	4	0.11	0.25	0.00	0.14	26-27
101053 1998 QN110	1	0.14	-	-0.55	-	64
101788 1999 GN33	2	-0.02	-	-0.27	-	61
101921 1999 RT15	5	-0.11	0.28	-0.10	0.33	28-31
102352 1999 TY126	2	0.02	-	-0.19	-	48-55
105140 2000 NL10	47	-0.40	0.48	-0.02	0.46	1-51
107945 2001 FX117	1	0.87	-	0.00	-	59
109569 2001 QR267	2	-0.19	-	0.08	-	51
111270 2001 XE32	1	-0.02	-	-0.27	-	62
114408 2002 YS20	3	-0.22	0.50	1.13	0.21	46-48
122180 2000 KV43	2	0.06	-	0.39	-	71
129997 1999 VH28	1	-0.60	-	-0.83	-	48
130411 2000 OU44	1	0.50	-	-0.38	-	64
134690 1999 XP61	1	-0.05	-	-0.34	-	66
135069 Gagnereau	2	0.65	-	0.32	-	59
136076 2003 AC8	1	0.05	-	-0.32	-	49
136108 2003 EL61	62	-0.23	0.24	-0.29	0.24	39-52
136472 2005 FY9	44	-0.10	0.19	-0.32	0.19	30-50
136549 6702 P-L	2	0.09	-	-0.10	-	61
136900 1998 HL49	13	-0.11	0.30	-0.19	0.20	64-75
137032 1998 UO1	22	-3.58	7.61 ?	-3.62	4.58	6-48
137062 1998 WM	12	0.03	0.31	-0.09	0.21	47-59
137078 1998 XZ4	4	0.15	0.34	0.03	0.32	16-41
137084 1998 XS16	3	-0.30	0.43	-0.12	0.32	41-67
137170 1999 HF1	286	-0.05	0.14	-0.19	0.18	1-54
137427 1999 TF211	8	0.08	0.45	0.24	0.39	21-58
137802 1999 YT	4	0.11	0.21	0.47	0.15	66-68
137805 1999 YK5	2	0.29	-	-0.31	-	43
137925 2000 BJ19	3	0.04	0.24	-0.51	0.29	57-63
138095 2000 DK79	8	0.03	0.38	0.09	0.23	48-55
138127 2000 EE14	10	0.22	0.32	0.00	0.31	36-38
138883 2000 YL29	27	-0.31	0.35	-0.23	0.28	46-69
138937 2001BK16	6	0.22	0.29	-0.09	0.43	50-69
139622 2001 QQ142	25	0.93	0.35	0.80	0.36	12-58
140158 2001SX169	2	0.61	-	0.42	-	60
141018 2001 WC47	8	0.25	0.25	-0.08	0.22	31-38
141052 2001 XR1	27	-0.20	0.34	-0.01	0.36	2-40
141851 2002 PM6	9	-0.36	0.42	-0.14	0.32	52-57
142464 2002 TC9	48	0.28	0.34	0.01	0.41	21-63
143381 2003 BC21	14	-0.02	0.50	-0.19	0.29	43-49
143678 2003SA224	14	0.15	0.23	-0.15	0.18	22-48

Объект	N	$\overline{(O-C)_\alpha \cos \delta}$	$\sigma_\alpha'' \cos \delta$	$\overline{(O-C)_\delta}$	σ_δ''	Z диапазон
143992 2004 AF	1	0.35	-	0.11	-	54
143947 2003 YQ117	11	-0.18	0.42	0.19	0.27	50-57
144900 2004 VG64	6	-0.28	0.54	-0.13	0.13	48-74
145656 4788 P-L	110	-0.03	0.43	-0.02	0.26	41-76
146829 2002 AB5	18	-0.17	0.27	-0.07	0.27	58-67
152754 1999 GS6	11	-0.32	0.36	-0.32	0.21	71-75
152931 2000 EA107	2	0.59	-	0.87	-	59-67
153415 2001 QP153	7	-0.10	0.56	-0.14	0.52	52-69
153591 2001 SN263	24	0.01	0.19	0.02	0.15	15-69
154347 2002 XK4	4	-0.36	0.18	-0.14	0.09	22
154453 2003 CJ11	35	-0.11	0.20	-0.20	0.22	7-47
154807 2004 PP97	7	0.22	0.33	-0.25	0.40	56-65
155341 2006 SA218	12	0.47	0.35	-0.21	0.36	44-73
159889 2004 TR14	12	-0.12	0.35	-0.08	0.36	49-70
160618 1999 TV103	1	0.00	-	-0.15	-	66
162117 1998 SD15	25	0.16	0.17	-0.02	0.34	33-76
162173 1999 JU3	48	0.22	0.27	-0.24	0.19	41-61
162299 1999VW180	1	0.18	-	-0.01	-	45
163899 2003 SD220	5	0.10	0.41	-0.88	0.20	47-48
164201 2004 EC	11	0.04	0.33	-0.10	0.28	49-53
167444 2003 XK7	1	0.56	-	-0.45	-	46
168064 2005 SG	8	-0.12	0.55	0.11	0.36	48-67
168847 2000 UU34	2	-0.26	-	0.23	-	48-51
170891 2004 TY16	19	-0.06	0.26	-0.09	0.15	19-76
170903 2004 WS2	1	0.07	-	-0.47	-	47
172311 2002 TO275	1	0.21	-	-0.04	-	67
186789 2004 EF8	4	-0.22	0.61	-3.54	0.08	42-43
187026 2005 EK70	7	-0.34	0.48	0.19	0.33	33-57
1999 SK10	3	-0.12	0.67	-0.23	0.64	61-71
2000 SB1	39	-0.01	0.23	-0.08	0.26	21-60
2001 VE	10	0.16	0.24	0.04	0.28	36-63
2001WC47	2	0.59	-	-0.24	-	33
2001 XR130	2	4.78	-	-3.31	-	49
2001 YH142	2	-0.73	-	-2.98	-	41
2002AN11	2	0.78	-	0.29	-	24-65
2002 HM16	3	0.39	0.23	-0.13	0.40	49-55
2002 QU113	1	0.28	-	-0.75	-	33
2002 RC118	22	0.04	0.20	0.04	0.33	25-72
2002 SV	9	0.29	0.23	-0.27	0.38	43-60
2002 TD60	9	0.25	0.27	-0.24	0.44	26-44
2002VF13	2	0.36	-	-0.57	-	53
2002 VQ6	43	0.44	0.33	0.13	0.27	52-60
2004 EZ99	1	-0.25	-	-0.45	-	59
2004 FX31	22	0.21	0.46	-0.07	0.30	43-67

Объект	N	$\overline{(O-C)}_{\alpha} \cos \delta$	$\sigma_{\alpha}'' \cos \delta$	$\overline{(O-C)}_{\delta}$	σ_{δ}''	Z диапазон
2004 QY2	2	0.10	-	-0.01	-	69
2004 XL14	4	1.44	0.10	1.01	0.11	21-22
2004 XP14	40	6.13 ?	1.40	1.67	0.25	4-15
2005 BE2	8	0.09	0.53	0.09	0.57	2-46
2005 NB7	32	-0.13	0.26	0.14	0.24	9-73
2005 TF49	5	0.34	0.20	1.12	0.04	29-55
2005 TU45	2	-0.10	-	0.23	-	59
2005 UH493	1	-0.69	-	0.44	-	72
2005 WJ56	16	-0.12	0.22	0.09	0.38	22-56
2005 WY3	16	-0.14	0.31	0.05	0.39	58-76
2006 BQ6	5	0.34	0.15	-0.13	0.17	33-34
2006 BZ8	2	0.30	-	-0.60	-	43
2006 EX52	2	0.32	-	0.79	-	38
2006 HR30	29	-0.02	0.19	-0.21	0.16	39-51
2006 NM	41	0.01	0.34	-0.09	0.24	24-74
2006 OA5	11	0.44	0.70	3.01	0.52	24-34
2006 OB5	28	1.09	0.32	0.23	0.34	60-65
2006 OZ	3	-0.03	0.34	-0.25	0.50	63-73
2006 PA1	5	0.05	0.21	-0.11	0.28	37-72
2006 QE	4	-0.49	0.40	-0.19	0.14	17-33
2006 QL39	33	0.09	0.30	0.02	0.38	57-71
2006 QU90	1	0.39	-	-1.35	-	63
2006QW18	1	-1.03	-	-0.23	-	65
2006 RO36	5	0.27	0.35	0.14	0.19	27-43
2006 RZ	26	-0.01	0.31	0.02	0.23	54-36
2006 SF6	2	-0.28	-	0.16	-	38
2006 SJ134	13	-0.21	0.39	0.02	0.33	41-68
2006 UM	4	-0.17	0.23	0.26	0.18	48-60
2006 UN216	5	-0.12	0.22	-0.33	0.25	13-45
2006 UQ17	9	1.43	0.78	-0.22	0.95	20-47
2006 VA14	8	-0.01	0.20	-0.25	0.28	11-35
2006 VV2	201	0.02	0.21	-0.42	0.54	1-74
2006 WH1	2	0.71	-	0.01	-	62
2006 YU1	1	0.21	-	0.36	-	41
2007 AB2	5	0.06	0.07	-0.07	0.19	43-55
2007 AG	1	0.39	-	0.09	-	62
2007 AT2	7	0.23	0.11	-0.15	0.23	42-64
2007 BB50	2	-0.09	-	-0.08	-	53
2007 BD	330	114.90	7.22	-88.15	2.06	24-42
2007 DB83	9	-0.03	0.25	-0.38	0.34	21-61
2007 DS84	116	0.46	0.33	-0.45	0.50	9-71
2007 DT103	104	0.18	0.31	0.08	0.46	45-73
2007 KH7	14	-0.18	0.39	0.03	0.31	54-73
2007 LR32	128	-0.01	0.17	-0.13	0.12	24-66

Объект	N	$\overline{(O-C)}_{\alpha} \cos \delta$	$\sigma_{\alpha}'' \cos \delta$	$\overline{(O-C)}_{\delta}$	σ_{δ}''	Z диапазон
2007 PU11	33	0.09	0.22	-0.07	0.25	33-74
2007 TG8	3	-0.42	0.51	0.64	0.45	30-35
2007 VQ4	9	-0.12	0.30	0.02	0.42	9-49
2007 VR183	1	0.67	-	-0.58	-	73
PLS 6204	1	-0.75	-	0.99	-	75

Таблица 2. Результаты обработки наблюдений малых планет, названных именами пулковских астрономов и данные по наблюдаемым объектам.

Объект	N	$\overline{(O-C)}_{\alpha} \cos \delta$	$\sigma_{\alpha}'' \cos \delta$	$\overline{(O-C)}_{\delta}$	σ_{δ}''	Z диапазон
7726 Olegbykov	18	-0.10	0.25	0.25	0.22	67-72
2126 Gerasimovich	2	0.15	-	0.25	-	45

Таблица 3. Результаты обработки наблюдений комет и данные по наблюдаемым объектам

Объект	N	$\overline{(O-C)}_{\alpha} \cos \delta$	$\sigma_{\alpha}'' \cos \delta$	$\overline{(O-C)}_{\delta}$	σ_{δ}''	Z диапазон
73P-B	9	-0.59''	1.58''	-0.66''	1.10''	31°-71°
C/2002 VQ94	86	-0.10	0.45	-0.09	0.37	20-67
C/2003 WT42	68	-0.34	0.56	-0.54	0.42	35-50
C/2006 M4	11	0.07	0.23	0.28	0.29	48-72

Авторы выражают свою благодарность В.Н. Львову и С.Д. Цекмейстер за эфемеридную поддержку наблюдений.

Литература

1. Бекяшев Р.Х., Канаев И.И., Девяткин А.В. и др. Зеркальный астрограф ЗА-320. // Изв. ГАО, 1998, № 213, с. 249-258.
2. Девяткин А.В., Канаев И.И., Кулиш А.П. и др. Автоматизация астрономических наблюдений на зеркальном астрографе ЗА-320.П. // Изв.ГАО, 2004, №217, с.505-530.
3. А.В. Девяткин, В.Н. Львов, М.Ю. Сидоров, Р.И. Смехачева. Результаты наблюдения звезды 2559 каталога Hipparcos 111 Ate 10 сентября 2000 года, Тезисы ВАК-2001, СПб, 6-12 августа, 2001, с.57.
4. Девяткин А.В., Львов В.Н., Смехачева Р.И. и др. Пулковская программа изучения объектов сближающихся с Землей // Межрегиональная конференция «Экология космоса», Санкт-Петербург, 2002, с.26-27.
5. А.В. Девяткин, А.Н. Грицук, Д.Л. Горшанов, Э.В. Корнилов. АПЕКС — программная система для обработки ПЗС-изображений в астрономии // Изв. ГАО, 2000, №214, с.455-468.
6. Девяткин А.В., Грицук А.Н., Горшанов Д.Л. и др. Наблюдения сближающихся малых планет на зеркальном астрографе ЗА-320 в 1998-1999 гг. // Изв.ГАО, 2000, N 214, с.370-381.
7. Канаев И.И., Девяткин А.В., Кулиш А.П. и др. // Система наведения зеркального астрографа ЗА-320, Изв. ГАО, 2000, № 214, с. 523-532.
8. Канаев И.И., Девяткин А.В., Кулиш А.П. и др. Автоматизация астрономических наблюдений на зеркальном астрографе ЗА-320 // Изв.ГАО, 2002, №216, с.128-156.
9. В.Н. Львов, Р.И. Смехачева, С.Д. Цекмейстер. ЭПОС. Программная система для решения эфемеридных задач, связанных с объектами Солнечной системы. Руководство пользователя, 1999, ГАО РАН, 28 с.
10. В.Н. Львов, А.В. Девяткин, Р.И. Смехачева и др. Пулковская программа изучения объектов, сближающихся с Землей // Изв.ГАО, 2004, №216, с.127-127.
11. D. Matson, Ed. IRAS Asteroid and Comet Survey: Preprint Version No.1 (1986). (JPL internal document No. 3698.

12. *I.I. Kanaev, A.S. Sochilina, V.N. L'vov et al.* Pulkovo Programm for Research of the Near-Earth Space Objects, "Fifth US-Russian Space Surveillance Workshop", 2003, 24-27 September, Pulkovo, p.6-7.
13. *Devyatkin, A.V., Kulish, A.P., Kouprianov, V.V. et al.* The observations of Near Earth Objects by the automatic mirror astrograph ZA-320M at Pulkovo observatory Near Earth Objects, our Celestial Neighbors: Opportunity and Risk, Proceedings of IAU Symposium 236. Edited by G.B. Valsecchi and D. Vokrouhlicky. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, pp.391-398.
14. *Devyatkin, A.V., Bekhteva, A.S., Gorshanov, D.L. et al.* Comet Observations, Minor Planet Circular 55911, 3 (2006).
15. *Ticha, J.; Tichy, M.; Devyatkin, A.V. et al.* Observations of Comets, Minor Planet Electronic Circ., 2006-C20 (2006).
16. *Devyatkin, A.V.; Bekhteva, A.S.; Gorshanov, D.L.; et al.* Observations of Comets, Minor Planet Electronic Circ., 2006-D08 (2006).
17. *Devyatkin, A.V.; Bekhteva, A.S.; Gorshanov, D.L. et al.* Minor Planet Observations, Minor Planet Circular 56149, 8 (2006).
18. *Bekhteva, A.S.; Gorshanov, D.L.; Kouprianov, V.V. et al.* Comet Observations, Minor Planet Circular 56557, 3 (2006).
19. *Devyatkin, A.V.; Bekhteva, A.S.; Gorshanov, D.L.; et al.* Minor Planet Observations, Minor Planet Circular 57111, 8 (2006).
20. *Bekhteva, A.S.; Gorshanov, D.L.; Kouprianov, V.V. et al.* Observations of Comets, Minor Planet Electronic Circ., 2006-N36 (2006).
21. *Bekhteva, A.S.; Gorshanov, D.L.; Kouprianov, V.V. et al.* Comet Observations, Minor Planet Circular 57382, 1 (2006).
22. *Devyatkin, A.V.; Bekhteva, A.S.; Gorshanov, D.L. et al.* Minor Planet Observations, Minor Planet Circular 57574, 7 (2006)
23. *Khovritchev, M.Yu.; Devyatkin, A.V.; Gorshanov, D.L. et al.* Minor Planet Observations, Minor Planet Circular 58098, 1 (2006)
24. *Bekhteva, A.S.; Gorshanov, D.L.; Kouprianov, V.V. et al.* Comet Observations, Minor Planet Circular 58733, 2 (2007)
25. *Khovritchev, M.Yu.; Devyatkin, A.V.; Gorshanov, D.L. et al.* Minor Planet Observations, Minor Planet Circular 58765, 5 (2007)
26. *Khovritchev, M.Yu.; Vereshchagina, I.A.; Kouprianov, V.V. et al.* Minor Planet Observations, Minor Planet Circular 59306, 1 (2007)
27. *Bekhteva, A.S.; Gorshanov, D.L.; Kouprianov, V.V. et al.,* Comet Observations , Minor Planet Circular 60237, 3 (2007)
28. *Khovritchev, M.Yu.; Devyatkin, A.V.; Vereshchagina, I.A. et al.* Minor Planet Observations , Minor Planet Circular 60269, 2 (2007)
29. *Descamps, P.; Marchis, F.; Pollock, J. et al.* New determination of the size and bulk density of the binary asteroid, 22 Kalliope from observations of mutual eclipses, Icarus, Volume 196, Issue 2, p. 578-600
30. *Devyatkin, A.V.; Bekhteva, A.S.; Gorshanov, D.L. et al.* Minor Planet Observations, Minor Planet Circular 63364, 1 (2008)
31. *Devyatkin, A.V.; Bekhteva, A.S.; Gorshanov, D.L. et al.* Comet Observations, Minor Planet Circular 63320, 2 (2008)

ASTROMETRIC OBSERVATION OF MINOR BODIES OF SOLAR SYSTEM ON MIRROR ASTROGRAPH ZA-320M IN 2006-2008

**Devyatkin A.V., Gorshanov D.L., Kouprianov V.V., Aleshkina E.Yu, Bekhteva A.S.,
Baturina G.D., Ibragimov F.M., Vereschagina I.A., Krakosevich O.V., Barshevich K.V.,
Pavlovsky S.E., Pavlovsky K.S.,**

Summary

Observations of minor bodies of solar systems were made. Positions were obtained for 397 of such objects in UCAC-2 and USNO-B1.0 reference frame. The APEX-II program was used for process the observations. Accuracy of the positions was estimated. The mean error is about 0".3 for right ascension and declination.

АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ УРАНА НА ЗЕРКАЛЬНОМ АСТРОГРАФЕ ЗА-320М В 2007 г.

**Девяткин А.В., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Алешкина Е.Ю., Бехтева А.С.,
Батурина Г.Д., Ибрагимов Ф.М., Верещагина И.А., Кракосевич О.В.,
Павловский С.Е., Баршевич К.В.**

Проведены астрометрические наблюдения Урана на зеркальном астрографе ЗА-320М в Пулкове. Получено 180 положений в системе каталогов UCAC-2 и USNO-B1.0. Обработка наблюдений проведена с использованием программных системы АПЕКС-I и АПЕКС-II.

На автоматическом комплексе зеркальном астрографе ЗА-320М с 1999 г. ведутся астрометрические наблюдения системы Урана [3-5]. Наблюдения на ЗА-320М проводились в автоматическом режиме [2, 8]. Наблюдения проводились на зенитных расстояниях 65-71°. При наблюдениях использовались экспозиции от 2^s до 10^s. Обработка наблюдений выполнена в среде программных систем АПЕКС-I и АПЕКС-II. С их помощью были получены величины “O”. Редукция наблюдений производилась методом 8 постоянных. При обработке ПЗС-наблюдений Урана использовались звездные опорные каталоги UCAC2 и USNO B1.0. Эфемеридные значения “C” вычислялись по теории движения DE406 с использованием программы ЭПОС [9].

В результате было получено 180 положений Урана. Ниже в таблице 1 представлены результаты наблюдений планеты Уран. В таблице 1 приведены следующие данные: а) момент наблюдения – первая колонка, б) измеренные топоцентрические астрометрические прямые восхождения и склонения на J2000 — вторая и третья колонки соответственно, в) величины $(O-C)_{\alpha} \cos \delta$ и $(O-C)_{\delta}$ — четвертая и пятая колонки, г) опорный каталог, д) последняя колонка - обозначение наблюдателя (Алешкина – Ale, Горшанов — Gor, Куприянов — Kou, Бехтева - Bek., Ибрагимов – Ibr, Верещагина – Ver, Кракосевич – Kra, Баршевич – Bar.).

В таблице 2 приведены данные о точности наблюдений Урана (среднеквадратические ошибки одного наблюдения). Точность наблюдений при использовании опорного каталога UCAC2 несколько выше, чем при использовании каталога USNO B1.0.

Таблица 1. Топоцентрические астрометрические координаты Урана, полученные в 2007 г.

Дата наблюдения, UTC	α_{2000} h m s	δ_{2000} ° ' "	DE200 (O-C) $_{\alpha} \cos \delta$ "	DE200 (O-C) $_{\delta}$ "	Наблюдатель
2007 08 05.966056	23 16 39.93	-05 31 59.73	+0.03	-0.17	Ibragimov
2007 08 05.966210	23 16 39.94	-05 31 59.86	+0.27	-0.30	Ibragimov
2007 08 05.966354	23 16 39.94	-05 31 59.72	+0.23	-0.15	Ibragimov
2007 08 05.966499	23 16 39.92	-05 31 59.74	-0.02	-0.15	Ibragimov
2007 08 06.014534	23 16 39.61	-05 32 01.96	+0.06	+0.04	Ibragimov
2007 08 06.014686	23 16 39.62	-05 32 01.64	+0.33	-0.18	Ibragimov
2007 08 06.014836	23 16 39.57	-05 32 01.78	-0.29	-0.30	Ibragimov
2007 08 06.014987	23 16 39.60	-05 32 02.15	+0.01	-0.01	Ibragimov
2007 08 06.927520	23 16 33.37	-05 32 41.92	-0.53	+0.26	Verestchagina
2007 08 06.927786	23 16 33.39	-05 32 42.48	-0.15	-0.02	Verestchagina
2007 08 06.927892	23 16 33.38	-05 32 42.50	-0.30	-0.15	Verestchagina

Дата наблюдения, UTC	α_{2000} h m s	δ_{2000} ° ' "	DE200 (O-C) $_{\alpha} \cos \delta$ "	DE200 (O-C) $_{\delta}$ "	Наблюдатель
2007 08 06.928023	23 16 33.40	-05 32 42.64	+0.02	-0.15	Verestchagina
2007 08 06.928212	23 16 33.40	-05 32 42.39	-0.03	-0.01	Verestchagina
2007 08 06.928453	23 16 33.40	-05 32 42.01	+0.08	+0.26	Verestchagina
2007 08 06.928789	23 16 33.37	-05 32 40.80	-0.05	+0.43	Verestchagina
2007 08 08.960819	23 16 19.24	-05 34 15.32	-0.14	-0.41	Bekhteva
2007 08 08.960979	23 16 19.26	-05 34 15.20	+0.13	-0.29	Bekhteva
2007 08 08.961298	23 16 19.24	-05 34 15.18	-0.07	-0.26	Bekhteva
2007 08 09.942833	23 16 12.25	-05 35 00.89	-0.08	+0.11	Bekhteva
2007 08 09.942983	23 16 12.25	-05 35 00.88	-0.01	+0.15	Bekhteva
2007 08 09.943135	23 16 12.25	-05 35 01.05	-0.07	-0.01	Bekhteva
2007 08 09.943287	23 16 12.25	-05 35 00.98	-0.12	+0.07	Bekhteva
2007 08 10.946180	23 16 05.00	-05 35 48.16	+0.03	-0.18	Verestchagina
2007 08 10.946366	23 16 04.99	-05 35 48.12	-0.05	-0.15	Verestchagina
2007 08 10.946553	23 16 04.97	-05 35 47.96	-0.24	-0.03	Verestchagina
2007 08 10.946736	23 16 05.00	-05 35 48.28	+0.18	-0.31	Verestchagina
2007 08 11.958278	23 15 57.57	-05 36 36.48	+0.10	-0.46	Ibragimov
2007 08 11.958466	23 15 57.55	-05 36 36.42	-0.09	-0.40	Ibragimov
2007 08 12.956718	23 15 50.14	-05 37 24.43	-0.20	0.92	Ibragimov
2007 08 12.956906	23 15 50.15	-05 37 24.81	+0.16	-0.06	Ibragimov
2007 08 12.957093	23 15 50.14	-05 37 25.27	-0.08	-0.09	Ibragimov
2007 08 12.957280	23 15 50.13	-05 37 25.17	-0.33	0.21	Ibragimov
2007 08 13.966803	23 15 42.54	-05 38 13.71	+0.13	+0.37	Krakosevich
2007 08 13.906847	23 15 42.98	-05 38 11.40	-0.21	-0.11	Krakosevich
2007 08 13.907039	23 15 42.99	-05 38 11.35	-0.02	-0.05	Krakosevich
2007 08 13.907233	23 15 42.98	-05 38 11.45	-0.11	-0.02	Krakosevich
2007 08 13.967389	23 15 42.51	-05 38 16.36	-0.01	-0.41	Krakosevich
2007 08 13.907426	23 15 42.97	-05 38 11.68	-0.31	-0.14	Krakosevich
2007 08 16.022042	23 15 26.76	-05 39 56.29	+0.38	-0.41	Verestchagina
2007 08 16.022437	23 15 26.74	-05 39 56.21	+0.19	-0.33	Verestchagina
2007 08 16.022624	23 15 26.70	-05 39 56.09	-0.37	-0.21	Verestchagina
2007 08 16.927062	23 15 19.69	-05 40 42.00	+0.03	+0.11	Bekhteva
2007 08 16.927248	23 15 19.67	-05 40 42.15	-0.13	-0.01	Bekhteva
2007 08 16.927437	23 15 19.67	-05 40 42.27	-0.16	-0.12	Bekhteva
2007 08 16.927632	23 15 19.68	-05 40 41.98	+0.06	+0.17	Bekhteva
2007 08 17.016838	23 15 18.97	-05 40 46.41	+0.23	-0.44	S.Pavlovsky
2007 08 17.017023	23 15 18.96	-05 40 46.57	-0.25	+0.49	S.Pavlovsky
2007 08 17.017224	23 15 18.98	-05 40 46.46	+0.40	-0.45	S.Pavlovsky
2007 08 17.017410	23 15 18.99	-05 40 46.70	+0.27	+0.40	S.Pavlovsky
2007 08 17.984847	23 15 11.33	-05 41 35.85	+0.26	-0.76	Ibragimov
2007 08 17.985034	23 15 11.33	-05 41 35.97	-0.16	0.71	Ibragimov
2007 08 17.985236	23 15 11.30	-05 41 35.97	-0.60	0.72	Ibragimov
2007 08 17.985427	23 15 11.30	-05 41 36.31	-0.56	0.39	Ibragimov
2007 08 18.929466	23 15 03.82	-05 42 24.67	+0.23	-0.01	Verestchagina
2007 08 18.929838	23 15 03.82	-05 42 24.66	+0.20	+0.04	Verestchagina
2007 08 18.930025	23 15 03.80	-05 42 24.63	-0.04	+0.09	Verestchagina
2007 08 19.002423	23 15 03.21	-05 42 28.32	-0.08	-0.03	Verestchagina
2007 08 19.002612	23 15 03.22	-05 42 28.17	+0.11	+0.13	Verestchagina
2007 08 19.002800	23 15 03.22	-05 42 28.37	+0.16	+0.13	Verestchagina

Дата наблюдения, UTC	α_{2000} h m s	δ_{2000} ° ' "	DE200 (O-C) $_{\alpha} \cos \delta$ "	DE200 (O-C) $_{\delta}$ "	Наблюдатель
2007 08 19.002989	23 15 03.22	-05 42 28.71	+0.10	-0.19	Verestchagina
2007 08 19.905880	23 14 55.95	-05 43 15.05	-0.23	0.84	Barshevich
2007 08 19.906068	23 14 55.92	-05 43 15.58	-0.56	0.32	Barshevich
2007 08 19.906257	23 14 55.91	-05 43 15.12	-0.66	0.80	Barshevich
2007 08 20.020339	23 14 55.02	-05 43 21.13	-0.05	0.73	Barshevich
2007 08 20.020529	23 14 54.99	-05 43 21.53	-0.45	0.33	Barshevich
2007 08 20.020717	23 14 55.00	-05 43 21.44	-0.38	0.43	Barshevich
2007 08 23.921067	23 14 22.92	-05 46 47.36	-0.23	0.69	S.Pavlovsky
2007 08 23.921253	23 14 22.92	-05 46 47.60	-0.22	0.46	S.Pavlovsky
2007 08 23.921625	23 14 22.92	-05 46 47.44	-0.16	0.64	S.Pavlovsky
2007 08 23.960673	23 14 22.62	-05 46 49.72	+0.32	-0.03	S.Pavlovsky
2007 08 23.960860	23 14 22.61	-05 46 49.49	+0.23	+0.20	S.Pavlovsky
2007 08 23.961045	23 14 22.61	-05 46 49.45	+0.31	+0.24	S.Pavlovsky
2007 08 23.997431	23 14 22.27	-05 46 51.37	-0.06	+0.08	S.Pavlovsky
2007 08 23.997617	23 14 22.27	-05 46 50.85	+0.12	-0.29	S.Pavlovsky
2007 08 23.997801	23 14 22.29	-05 46 51.43	+0.16	+0.02	S.Pavlovsky
2007 08 23.997987	23 14 22.25	-05 46 51.04	-0.06	-0.48	S.Pavlovsky
2007 08 24.898832	23 14 14.74	-05 47 40.06	-0.00	+0.22	Ibragimov
2007 08 24.899018	23 14 14.73	-05 47 40.01	-0.10	+0.28	Ibragimov
2007 08 24.899203	23 14 14.72	-05 47 39.90	-0.22	+0.39	Ibragimov
2007 08 24.899389	23 14 14.72	-05 47 40.20	-0.12	+0.08	Ibragimov
2007 08 25.034360	23 14 13.59	-05 47 47.06	+0.22	+0.15	Ibragimov
2007 08 25.034551	23 14 13.59	-05 47 47.37	+0.07	+0.07	Ibragimov
2007 08 25.034743	23 14 13.59	-05 47 47.40	+0.17	+0.07	Ibragimov
2007 08 25.034934	23 14 13.58	-05 47 47.28	+0.07	-0.07	Ibragimov
2007 09 01.032631	23 13 13.45	-05 54 10.57	0.06	0.73	Ibragimov
2007 09 01.032819	23 13 13.46	-05 54 10.54	0.16	0.78	Ibragimov
2007 09 01.033192	23 13 13.45	-05 54 10.48	0.15	0.86	Ibragimov
2007 09 04.868489	23 12 39.70	-05 57 44.34	-0.55	+0.11	Gorshanov
2007 09 04.868674	23 12 39.68	-05 57 45.12	-0.44	0.11	Gorshanov
2007 09 04.868859	23 12 39.70	-05 57 44.55	-0.48	-0.10	Gorshanov
2007 09 04.869045	23 12 39.69	-05 57 45.37	-0.37	-0.12	Gorshanov
2007 09 04.925108	23 12 39.21	-05 57 48.49	-0.04	-0.10	Gorshanov
2007 09 04.925356	23 12 39.19	-05 57 47.84	-0.32	0.56	Gorshanov
2007 09 04.978067	23 12 38.72	-05 57 50.83	-0.20	0.53	Gorshanov
2007 09 04.978252	23 12 38.73	-05 57 50.90	-0.11	0.46	Gorshanov
2007 09 04.978438	23 12 38.73	-05 57 51.01	0.03	0.37	Gorshanov
2007 09 04.978624	23 12 38.73	-05 57 50.68	0.01	0.71	Gorshanov
2007 09 04.916017	23 12 39.25	-05 57 47.64	-0.53	-0.07	Gorshanov
2007 09 04.916203	23 12 39.27	-05 57 47.45	-0.22	+0.14	Gorshanov
2007 09 04.916403	23 12 39.28	-05 57 47.31	-0.04	+0.31	Gorshanov
2007 09 04.916590	23 12 39.28	-05 57 47.02	-0.14	+0.63	Gorshanov
2007 09 04.918869	23 12 39.26	-05 57 47.50	-0.17	+0.42	Gorshanov
2007 09 04.919013	23 12 39.26	-05 57 47.52	-0.03	+0.41	Gorshanov
2007 09 04.919456	23 12 39.25	-05 57 47.36	-0.11	+0.62	Gorshanov
2007 09 04.919607	23 12 39.25	-05 57 47.80	-0.17	+0.20	Gorshanov
2007 09 05.840803	23 12 31.08	-05 58 38.68	-0.30	+0.24	Verestchagina
2007 09 05.840987	23 12 31.08	-05 58 38.81	-0.31	+0.13	Verestchagina

Дата наблюдения, UTC	α_{2000} h m s	δ_{2000} ° ' "	DE200 (O-C) $_{\alpha} \cos \delta$ "	DE200 (O-C) $_{\delta}$ "	Наблюдатель
2007 09 05.841174	23 12 31.10	-05 58 39.13	+0.01	-0.16	Verestchagina
2007 09 05.841360	23 12 31.08	-05 58 38.98	-0.21	+0.00	Verestchagina
2007 09 05.907864	23 12 30.48	-05 58 42.77	-0.13	-0.56	Verestchagina
2007 09 06.032919	23 12 29.39	-05 58 49.09	+0.35	+0.07	Verestchagina
2007 09 06.033115	23 12 29.38	-05 58 49.64	+0.28	-0.08	Verestchagina
2007 09 06.033311	23 12 29.38	-05 58 49.44	+0.19	-0.05	Verestchagina
2007 09 06.033507	23 12 29.38	-05 58 49.21	+0.21	+0.01	Verestchagina
2007 09 07.839561	23 12 13.34	-06 00 31.02	-0.13	-0.38	Ibragimov
2007 09 07.839752	23 12 13.33	-06 00 31.18	-0.27	+0.31	Ibragimov
2007 09 07.839942	23 12 13.34	-06 00 31.15	-0.17	+0.34	Ibragimov
2007 09 07.840134	23 12 13.34	-06 00 31.43	-0.16	+0.06	Ibragimov
2007 09 07.957898	23 12 12.28	-06 00 37.58	-0.26	0.75	Ibragimov
2007 09 07.958078	23 12 12.31	-06 00 37.94	0.15	0.40	Ibragimov
2007 09 07.958258	23 12 12.30	-06 00 37.51	0.04	0.83	Ibragimov
2007 09 07.958438	23 12 12.30	-06 00 38.09	0.04	0.26	Ibragimov
2007 09 07.997385	23 12 11.94	-06 00 39.62	-0.01	0.92	Ibragimov
2007 09 07.997569	23 12 11.95	-06 00 39.76	0.18	0.78	Ibragimov
2007 09 07.997752	23 12 11.94	-06 00 39.88	-0.03	0.68	Ibragimov
2007 09 08.833612	23 12 04.51	-06 01 26.95	-0.10	-0.13	Krakosevich
2007 09 08.833795	23 12 04.49	-06 01 26.80	-0.42	+0.03	Krakosevich
2007 09 08.833978	23 12 04.50	-06 01 27.08	-0.18	-0.22	Krakosevich
2007 09 08.834161	23 12 04.50	-06 01 26.93	-0.16	-0.05	Krakosevich
2007 09 09.020720	23 12 02.86	-06 01 37.45	0.27	0.45	Krakosevich
2007 09 09.022242	23 12 02.82	-06 01 37.64	-0.02	0.34	Krakosevich
2007 09 09.862008	23 11 55.35	-06 02 24.43	-0.16	-0.07	Barshevich
2007 09 09.862193	23 11 55.35	-06 02 24.27	-0.03	+0.11	Barshevich
2007 09 09.862564	23 11 55.34	-06 02 24.46	-0.18	-0.04	Barshevich
2007 09 10.014069	23 11 54.01	-06 02 32.48	+0.52	+0.25	Barshevich
2007 09 10.014438	23 11 53.99	-06 02 32.94	+0.24	-0.21	Barshevich
2007 09 10.828234	23 11 46.75	-06 03 18.17	-0.32	+0.02	S.Pavlovsky
2007 09 10.948135	23 11 45.68	-06 03 25.32	+0.18	-0.43	Barshevich
2007 09 10.948489	23 11 45.67	-06 03 25.29	+0.11	-0.41	Barshevich
2007 09 10.948677	23 11 45.67	-06 03 25.15	+0.22	-0.26	Barshevich
2007 09 10.948858	23 11 45.67	-06 03 25.26	+0.19	-0.38	Barshevich
2007 09 11.847413	23 11 37.70	-06 04 15.35	0.11	0.78	Gorshanov
2007 09 11.847598	23 11 37.67	-06 04 15.26	-0.40	0.87	Gorshanov
2007 09 11.847784	23 11 37.67	-06 04 15.57	-0.27	0.57	Gorshanov
2007 09 11.847971	23 11 37.68	-06 04 15.68	-0.20	0.47	Gorshanov
2007 09 11.949975	23 11 36.78	-06 04 21.10	-0.05	+0.30	Gorshanov
2007 09 11.950161	23 11 36.76	-06 04 21.21	-0.30	+0.21	Gorshanov
2007 09 11.950347	23 11 36.76	-06 04 21.25	-0.27	+0.18	Gorshanov
2007 09 11.950533	23 11 36.75	-06 04 21.15	+0.07	-0.35	Gorshanov
2007 09 11.977766	23 11 36.53	-06 04 22.66	+0.16	+0.35	Gorshanov
2007 09 11.977952	23 11 36.52	-06 04 22.68	+0.09	+0.34	Gorshanov
2007 09 11.978137	23 11 36.51	-06 04 22.49	+0.30	-0.23	Gorshanov
2007 09 11.978321	23 11 36.52	-06 04 22.48	+0.42	-0.22	Gorshanov
2007 09 14.860071	23 11 10.92	-06 07 02.84	+0.15	-0.32	Ibragimov
2007 09 14.860255	23 11 10.89	-06 07 03.13	-0.22	-0.61	Ibragimov

Дата наблюдения, UTC	α_{2000} h m s	δ_{2000} ° ' "	DE200 (O-C) $_{\alpha} \cos \delta$ "	DE200 (O-C) $_{\delta}$ "	Наблюдатель
2007 09 14.860440	23 11 10.92	-06 07 03.00	-0.02	+0.52	Ibragimov
2007 09 14.860625	23 11 10.91	-06 07 03.65	-0.23	-0.13	Ibragimov
2007 09 14.938984	23 11 10.22	-06 07 07.35	+0.17	-0.77	Ibragimov
2007 09 14.939169	23 11 10.23	-06 07 07.70	0.06	0.51	Ibragimov
2007 09 14.939355	23 11 10.22	-06 07 07.26	+0.20	-0.65	Ibragimov
2007 09 14.939542	23 11 10.22	-06 07 07.39	-0.03	0.85	Ibragimov
2007 09 19.962077	23 10 26.04	-06 11 43.56	+0.01	+0.11	Verestchagina
2007 09 19.997476	23 10 25.68	-06 11 45.00	-0.57	+0.01	Verestchagina
2007 09 29.818855	23 09 02.51	-06 20 20.20	+0.14	-0.33	Krakosevich
2007 09 29.819250	23 09 02.47	-06 20 19.82	-0.41	+0.04	Krakosevich
2007 09 29.819445	23 09 02.46	-06 20 19.80	-0.28	-0.29	Krakosevich
2007 09 21.839725	23 10 09.74	-06 13 25.00	-0.04	-0.22	Ibragimov
2007 09 21.839920	23 10 09.74	-06 13 24.63	-0.08	+0.15	Ibragimov
2007 09 21.840116	23 10 09.73	-06 13 24.69	-0.24	+0.09	Ibragimov
2007 09 29.903915	23 09 01.81	-06 20 24.32	-0.04	-0.11	Krakosevich
2007 09 29.904109	23 09 01.81	-06 20 24.24	-0.01	-0.02	Krakosevich
2007 09 29.904300	23 09 01.80	-06 20 24.20	-0.11	+0.05	Krakosevich
2007 09 29.904491	23 09 01.84	06 20 24.23	+0.41	+0.04	Krakosevich
2007 10 01.814182	23 08 46.35	-06 21 59.08	+0.34	+0.58	S.Pavlovsky
2007 10 01.814374	23 08 46.35	-06 21 59.10	+0.37	+0.56	S.Pavlovsky
2007 10 01.814565	23 08 46.33	-06 21 59.45	+0.07	+0.21	S.Pavlovsky
2007 10 01.814757	23 08 46.33	-06 21 59.66	+0.10	-0.01	S.Pavlovsky
2007 10 18.776294	23 06 44.09	-06 34 19.49	-0.22	+0.38	Bekhteva
2007 10 18.776479	23 06 44.11	-06 34 19.48	-0.27	+0.24	Bekhteva
2007 10 18.776664	23 06 44.11	-06 34 19.57	-0.00	+0.28	Bekhteva
2007 10 18.776850	23 06 44.11	-06 34 19.52	-0.20	+0.22	Bekhteva
2007 10 31.898226	23 05 34.77	-06 41 06.02	+0.12	+0.36	S.Pavlovsky
2007 10 31.898815	23 05 34.74	-06 41 05.69	-0.30	+0.74	S.Pavlovsky
2007 11 05.728523	23 05 16.01	-06 42 52.35	0.12	0.56	Aleshkina
2007 11 05.728710	23 05 16.01	-06 42 52.19	0.16	0.72	Aleshkina
2007 11 05.728899	23 05 16.00	-06 42 52.14	-0.03	0.78	Aleshkina
2007 11 16.828767	23 04 48.29	-06 45 17.67	0.14	0.81	Bekhteva
2007 11 16.828958	23 04 48.27	-06 45 17.86	-0.26	0.62	Bekhteva
2007 11 16.829148	23 04 48.31	-06 45 18.01	0.31	0.47	Bekhteva
2007 11 16.829338	23 04 48.31	-06 45 17.60	0.32	0.88	Bekhteva
2007 11 17.743329	23 04 47.01	-06 45 23.45	-0.04	0.69	Krakosevich
2007 11 17.743698	23 04 47.00	-06 45 23.72	-0.21	0.42	Krakosevich
2007 11 17.743883	23 04 47.01	-06 45 23.44	+0.42	-0.38	Krakosevich
2007 11 20.726223	23 04 43.93	-06 45 35.00	0.09	0.71	Gorshanov
2007 11 20.726409	23 04 43.94	-06 45 34.83	0.23	0.88	Gorshanov
2007 11 20.746444	23 04 43.88	-06 45 35.34	-0.08	+0.13	Gorshanov
2007 11 20.746639	23 04 43.88	-06 45 35.34	-0.09	+0.12	Gorshanov
2007 11 20.746838	23 04 43.90	-06 45 35.42	+0.09	+0.04	Gorshanov
2007 11 20.747022	23 04 43.90	-06 45 35.40	+0.13	+0.04	Gorshanov
2007 12 20.643325	23 05 46.09	-06 37 49.09	-0.06	0.58	Bekhteva
2007 12 20.643513	23 05 46.07	-06 37 49.31	-0.25	0.35	Bekhteva
2007 12 20.643697	23 05 46.09	-06 37 48.71	-0.03	0.93	Bekhteva
2007 12 20.643883	23 05 46.11	-06 37 48.57	+0.64	+0.31	Bekhteva

Дата наблюдения, UTC	α_{2000} h m s	δ_{2000} ° ' "	DE200 (O-C) $_{\alpha}\cos\delta$ "	DE200 (O-C) $_{\delta}$ "	Наблюдатель
2007 12 20.678242	23 05 46.26	-06 37 47.63	+0.49	-0.31	Bekhteva
2007 12 20.678432	23 05 46.27	-06 37 47.53	+0.74	-0.22	Bekhteva
2007 12 20.678624	23 05 46.27	-06 37 47.13	+0.74	+0.16	Bekhteva
2007 12 20.678819	23 05 46.26	-06 37 47.97	0.06	0.55	Bekhteva
2007 12 21.749050	23 05 51.63	-06 37 11.39	+0.53	-0.10	Bekhteva

Таблица 2. Точность наблюдений

(N — количество наблюдений, $(O-C)_{\alpha}\cos\delta$ и $(O-C)_{\delta}$ — средние значения положений, σ — внешняя ошибка одного наблюдения)

Каталог	N	$\overline{(O-C)_{\alpha}\cos\delta}$	$\sigma_{\alpha}\cos\delta$	$\overline{(O-C)_{\delta}}$	σ_{δ}
	"	"	"	"	"
UCAC 2	118	-0.18	0.19	+0.57	0.17
USNO B1.0	62	-0.14	0.26	+0.58	0.23

Основные результаты

На зеркальном астрографе ЗА-320М в Пулкове в 2007 г. проведены астрометрические наблюдения планеты Уран (получено 180 положений). Обработка наблюдений проведена в системе каталогов UCAC-2 и USNO-B1.0 с использованием программных систем АПЕКС-I и АПЕКС-II.

Авторы выражают свою благодарность В.Н. Львову и С.Д. Цекмейстер за эфемеридную поддержку наблюдений.

Литература

1. Аллен К.У. Астрофизические величины, 1977, М., Мир, 446 с.
2. Бекашев Р.Х., Канаев И.И., Девяткин А.В. и др. // Зеркальный астрограф ЗА-320, Изв. ГАО, 1998, № 213, с. 249–258.
3. Канаев И.И., Девяткин А.В., Кулиш А.П. и др. // Система наведения зеркального астрографа ЗА-320, Изв. ГАО, 2000, N 214, с. 523-532.
4. Девяткин А.В., Канаев И.И., Кулиш А.П. и др. Автоматизация астрономических наблюдений на зеркальном астрографе ЗА-320. // Изв.ГАО, 2004, №217, с.505-530.
5. Львов В.Н., Смехачева Р.И., Цекмейстер С.Д. ЭПОС. Программная система для решения эфемеридных задач, связанных с объектами Солнечной системы. Руководство пользователя, 1999, ГАО РАН, 28 с.

**THE ASTROMETRIC OBSERVATIONS OF URANUS ON THE MIRROR ASTROGRAPH
ZA-320 IN 2007**

**Devyatkin A.V., Gorshanov D.L., Kouprianov V.V., Aleshkina E.Yu, Bekhteva A.S.,
Baturina G.D., Ibragimov F.M., Vereschagina I.A., Krakosevich O.V.,
Pavlovsky S.E., Barshevich K.V.**

Summary

The astrometric observations of Uranus are made on the mirror astrograph ZA-320M in Pulkovo Observatory and 180 positions in the system of the UCAC-2 and USNO-B1.0 catalogues are obtained. The processing of the observations is executed with use of the program systems APEX-I and APEX-II.

ПЕРСПЕКТИВЫ НАЗЕМНЫХ ОПТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНОГО ДЛЯ ЗЕМЛИ АСТЕРОИДА АРОРНИС

Девяткин А.В., Львов В.Н., Цекмейстер С.Д.

*Обсуждаются перспективы наземных наблюдений самого опасного в настоящий момент для Земли астероида *Aporhis*. Обращается внимание на возможность массового привлечения любителей астрономии к наблюдению покрытий звёзд астероидом в 2013 году.*

Для уточнения обстоятельств тесного сближения астероида *Aporhis* с Землёй в апреле 2029 года требуется непрерывный мониторинг этого объекта. Если оставить в стороне космические средства, то с сожалением приходится признать, что наблюдения с Земли малодоступны в ближайшее время. На Рисунках 1 и 2 показаны графики изменения видимой звёздной величины и элонгации астероида *Aporhis* на интервале времени 2008–2029 гг.

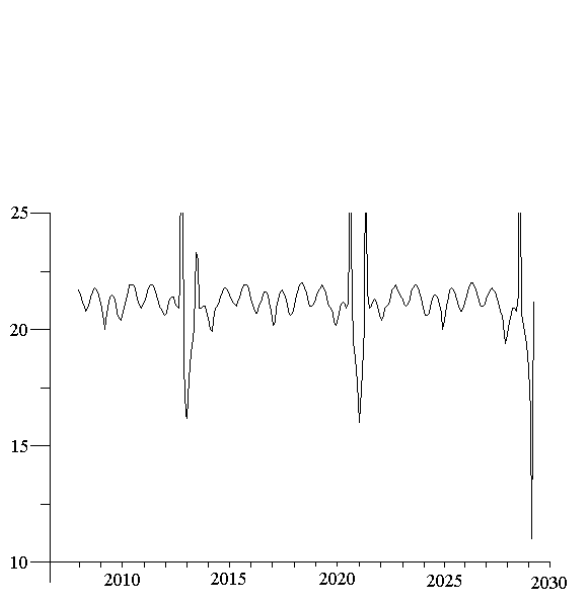


Рис. 1. Видимая звёздная величина астероида.

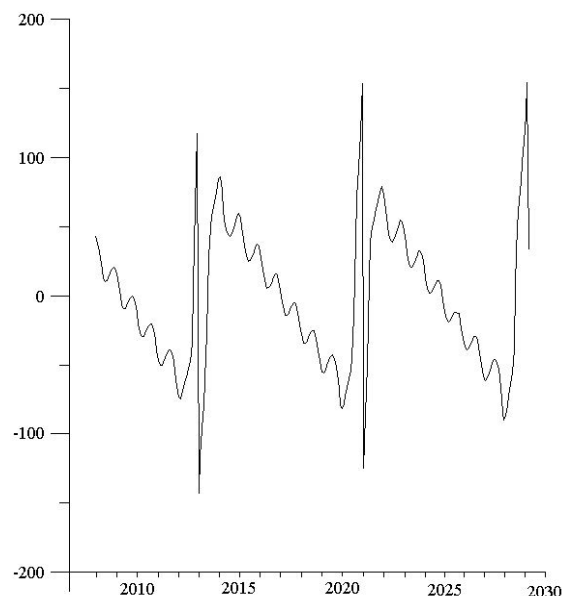


Рис. 2. Элонгация астероида.

Очевидно, что блеск астероида слишком мал, а его угловое расстояние от Солнца для большей части интервала явно недостаточно. Такой объект трудно наблюдать даже на больших инструментах. Исключение представляют кратковременные интервалы сближений астероида с Землей в 2013 и в 2021 годах. Тогда наблюдения могут производиться и на малых телескопах силами любителей.

Однако помимо позиционных наблюдений возможны наблюдения покрытий астероидом звёзд. Такие явления становятся более частыми, когда увеличивается видимый угловой размер покрываемого объекта, т.е. именно в периоды максимальных сближений. Обстоятельства возможных покрытий астероидом *Aporhis* звёзд каталога USAC2 на интервале времени ноябрь 2012 г. – май 2013 г. были вычислены с помощью программы OCCULT, использующей для своей работы среду и данные ПС ЭПОС [1, 2].

В Таблице 1 приведена статистика этих явлений. Выбраны только те из них, которые имеют продолжительность более 0.1 секунды для звёзд ярче 13 звёздной величини.

ны. Столбцы таблицы содержат следующие величины: год, месяц, общее число явлений N в текущем месяце, число покрытий N_R , наблюдения которых возможны на территории Российской Федерации, минимальная и максимальная величины продолжительности ΔT покрытий.

Таблица 1. Статистика возможных покрытий звёзд астероидом Aporhis

Год	Месяц	N	N_R	ΔT сек	Год	Месяц	N	N_R	ΔT сек
2012	Октябрь	1	-	0.25	2013	Февраль	89	27	0.14 – 0.24
2012	Ноябрь	23	-	0.13 – 0.17	2013	Март	31	4	0.16 – 0.24
2012	Декабрь	81	2	0.16 – 0.18	2013	Апрель	15	-	0.13 – 0.15
2013	Январь	331	57	0.14 – 0.16	2013	Май	5	-	0.13 – 0.16

Здесь нет необходимости детально описывать обстоятельства каждого покрытия, отметим лишь их основные особенности. Полоса покрытия, как правило, начинается довольно далеко к югу от границ РФ, проходит через ближайшие регионы соседних стран и заканчивается на южных рубежах, лишь иногда проникая вглубь территории страны. Направления полос в январе и феврале – с юго-востока на северо-запад – в марте меняется на противоположное – с запада на восток. В некоторые даты может быть несколько явлений, при этом полосы покрытий перемещаются с востока на запад страны.

На Рис. 3, 4 приведены примеры карт покрытий (при таком размере астероида полоса вырождается в линию).

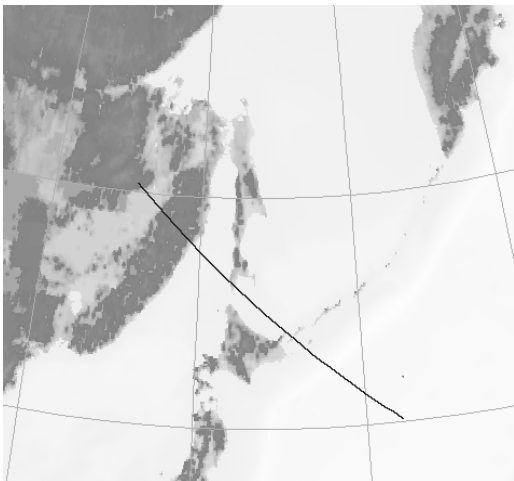


Рис. 3. Полоса покрытия 7 января 2013 г.

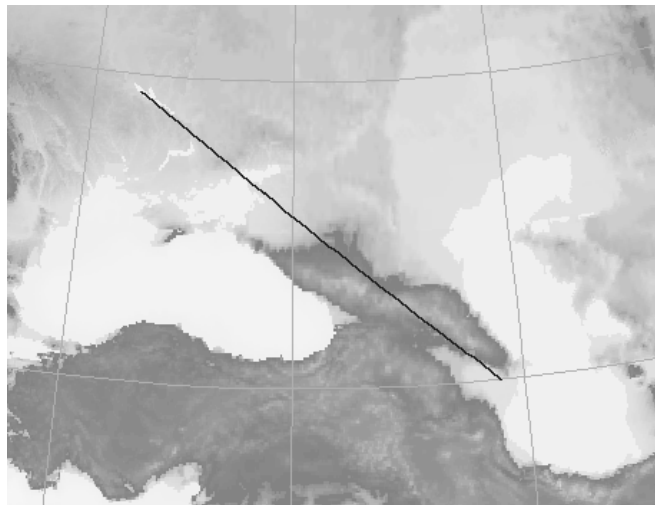


Рис. 4. Полоса покрытия 3 февраля 2013 г.

Из изложенного следует ряд требований к наблюдениям такого рода. Во-первых, требуется несколько команд наблюдателей, работающих в разных регионах. Во-вторых, они должны быть оснащены телескопами с диаметром объектива не менее 30 см. Количество телескопов будет зависеть от оптимальной стратегии наблюдений, позволяющей “поймать” явление в полосе шириной около полукилометра. В-третьих, необходимо стандартное оборудование для быстрой фотометрии, позволяющее уверенно регистрировать изменения блеска звезды с большой частотой. Наконец, требуется постоянное уточнение обстоятельств покрытий и доведение их до наблюдателей. Координация деятельности, финансовое и ресурсное обеспечение проекта представляют хотя и серьёзную, но вполне решаемую проблему.

Успешное проведение наблюдений на значительном диапазоне изменения гелиоцентрической долготы объекта позволит оптической астрономии добиться точности определения положений астероида, сравнимой с точностью радарных наблюдений. А это позволит существенно уточнить орбиту столь опасного для Земли объекта.

Литература

1. *В.Н.Львов, Р.И.Смехачева, С.Д.Цекместер.* ЭПОС – пакет программ для работ по изучению объектов Солнечной системы. Сборник трудов конференции "Околосемная астрономия XXI века", Звенигород, 21-25 мая 2001 г., с. 235-240. Москва. ГЕОС. 2001.
2. <http://neopage.nm.ru/RUS/ESUPP/main.htm>

THE PROSPECTS OF THE GROUND-BASED OPTICAL OBSERVATIONS OF POTENTIALLY HAZARDOUS ASTEROID APOPHIS

Devyatkin A.V., L'vov V.N., Tsekmejster S.D.

Summary

The mass ground-based optical observations of potentially hazardous asteroid Apophis will be available in the early 2013. The observations of the stellar occultations by this asteroid and the participation of amateur astronomers in this campaign are discussed.

КОМПИЛЯТИВНЫЙ КАТАЛОГ ПЛЕЯД И ЕГО АНАЛИЗ

Ермаков Б.К., Гусева И.С.

Выполнена компиляция всех доступных в 2008 г. данных о звездах области скопления Плеяды, отбор звезд скопления и предварительный анализ основных параметров скопления.

Введение

Исследованию Плеяд, одного из ближайших рассеянных скоплений, посвящено огромное количество публикаций. К сожалению, не всегда исходные данные, послужившие основой исследований, становятся общедоступными, что исключает возможность сравнительного анализа полученных результатов. В то же время, например, оценки расстояний до центра скопления Плеяды колеблются от 110 до 139 парсек, различаются и оценки других параметров. Целью настоящей работы является компиляция всей общедоступной информации (имеющейся в международных базах астрономических данных) о звездах области скопления (астрометрических, фотометрических, спектроскопических и иных данных), предварительная оценка критериев принадлежности звезд собственно рассеянному скоплению и предварительная оценка по этим данным основных параметров скопления.

Исходные данные (каталоги)

HIP2 – новая версия каталога HIPPARCOS – результат более тщательной переработки исходных данных, полученных миссией HIPPAROS [1]. Заявлена более высокая точность (в среднем в 2.2 раза) по сравнению с оригинальным каталогом. HIP2 опубликован в 2007 г., но до 16 сентября 2008 г. в базах данных была размещена неверная версия. Основным достоинством каталога является высокая точность положений и наличие параллаксов для всех звезд со средней ошибкой примерно 1 mas. Каталог содержит 117955 ярких звезд по всему небу.

Tycho-2 – каталог в системе ICRS, полученный на основе данных наблюдений инструмента Tycho в процессе миссии HIPPARCOS [2]. Tycho-2 содержит положения, собственные движения (полученные с использованием большого числа наземных каталогов ранних эпох) и фотометрические данные в двух собственных полосах, близких к В и V, для 2.5 миллионов звезд неба до 13 звездной величины (полнота каталога на уровне 90% – до $V = 11.5$ mag, на уровне 99% – до $V = 11.0$ mag). Заявленные ошибки положений 7 mas для $V < 7$ mag и порядка 60 mas для всех звезд. Среднестатистическая точность собственных движений составляет 2.5 mas/уг. Среднеквадратическая ошибка фотометрии: 0.013 mag для $V < 9$ mag и 0.10 mag для всех звезд.

UCAC2 – второй (2004 г.) промежуточный выпуск каталога проекта UCAC (The U.S. Naval Observatory CCD Astrograph Catalog) [3], направленного на определение с помощью наземного ПЗС-астрографа координат звезд всего неба до 16 звездной величины в полосе, близкой к R. В качестве опорной системы используется каталог Tycho-2. Заявленные ошибки положений составляют примерно 20 mas для звезд 10-14 звездных величин и примерно 70 mas для предельных ($R \sim 16$ mag) звездных величин. UCAC2 содержит 48 330 571 звезду, покрывает небо всего южного полушария и значительной части северного, от -90 до $+40$ градусов по склонению, в некоторых областях до $+52$ градусов (область Плеяд включена, хотя в этой области «глубина» каталога не превышает $R = 15$ mag). Положения и собственные движения (полученные с использованием большого числа наземных каталогов ранних эпох) даны в ICRS на эпоху J2000.0. Фотометрическая часть каталога состоит из собственных данных в полосе 579-649 nm, а

также звездных величин в полосах J, H, K из каталога 2MASS. Основными достоинствами каталога UCAC2 являются высокая точность астрометрических данных и плотность каталога.

GCTP – The General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes [4] – 4-я версия каталога (1995 г.), содержащая параллаксы 8112 звезд. Примерно 2300 из них отсутствуют в каталоге Hipparcos. Заявленная точность параллаксов варьируется от 0".016 для более ранних определений до 0".004 для более поздних. Каталог снабжен дополнительными данными.

CRVAD-2 – The catalogue of radial velocities of galactic stars with high precision astrometric data, the 2nd version (2007 г.) – каталог лучевых скоростей 54907 звезд с высокоточными астрометрическими данными [5], полученный в результате дополнения первой версии GCRV новыми опубликованными данными о лучевых скоростях, а также дополнения каталога астрометрическими данными каталога ASCC-2.5, фотометрическими B и V величинами, информацией о спектральных типах, кратности и переменности звезд.

Tycho-2 Spectral Type Catalog (2003 г.) – каталог спектральных типов 351863 звезд [6], полученный пересечением Tycho-2 с каталогами спектральной классификации (the Michigan Catalogs III/31, III/51, III/80, III/133, and III/214; the Catalog of Stellar Spectra Classified in the Morgan-Keenan System III/18; the MK Classification Extension III/78; the FK5 catalog parts I and II I/149 and I/175; and the PPM North and South catalogs I/146 and I/193). Каталог содержит координаты звезд (J2000), BT и VT из каталога Tycho-2, спектральные типы, классы светимости, эффективные температуры звезд и пр.

TASS 4 (2006 г.) – TASS Mark IV patches photometric catalog, version 2 [7] – содержит координаты и фотометрические V и I величины с их индивидуальными ошибками для 4353670 звезд ($7 < V < 13$).

Отбор предполагаемых членов скопления

Традиционный метод отбора звезд, принадлежащих рассеянному скоплению, можно описать следующим образом: определяются средние значения собственных движений звезд, образующих данное скопление, а затем по отклонениям индивидуального собственного движения звезды от среднего значения и с учетом расстояния звезды от центра скопления вычисляется вероятность принадлежности каждой звезды скоплению. Разумеется, этот метод не дает полной гарантии. Только имея трехмерную картину положений и скоростей звезд можно с уверенностью определить, является ли звезда членом гравитационно-связанной группы. Это означает, что помимо координат и собственных движений звезд, крайне важны определения параллаксов и лучевых скоростей звезд. Являясь одним из ближайших скоплений, Плеяды дают редкую возможность детально исследовать этот яркий во всех отношениях образец, своего рода тренажер для проверки разнообразных астрофизических гипотез и теорий. Нашей задачей на данном этапе являлся сбор всей доступной информации о звездах скопления и ее предварительный анализ.

Базовым каталогом для первого этапа работы явился каталог UCAC2 [3], содержащий высокоточные координаты и собственные движения звезд до $R \sim 15\text{-}16^m$. Одновременно был использован более значимый, но менее плотный каталог Tycho-2.

Первый вопрос, который возникает при отборе членов скопления – размер области, в которой могут находиться члены скопления, и тут в литературе встречаются самые разнообразные оценки. Принимая во внимание расчетный (с учетом галактических приливных эффектов) радиус скопления, который должен быть примерно 15 парсек [9], что соответствует для Плеяд радиусу 7 градусов, из каталогов UCAC2 и Tycho-2 вы-

брана зона с центром RA – 03^h47^m24^s, Dec – +24°07'00" и радиусом 7° (более 111 тысяч звезд). Диаграмма собственных движений этих звезд представлена на Рис. 1.

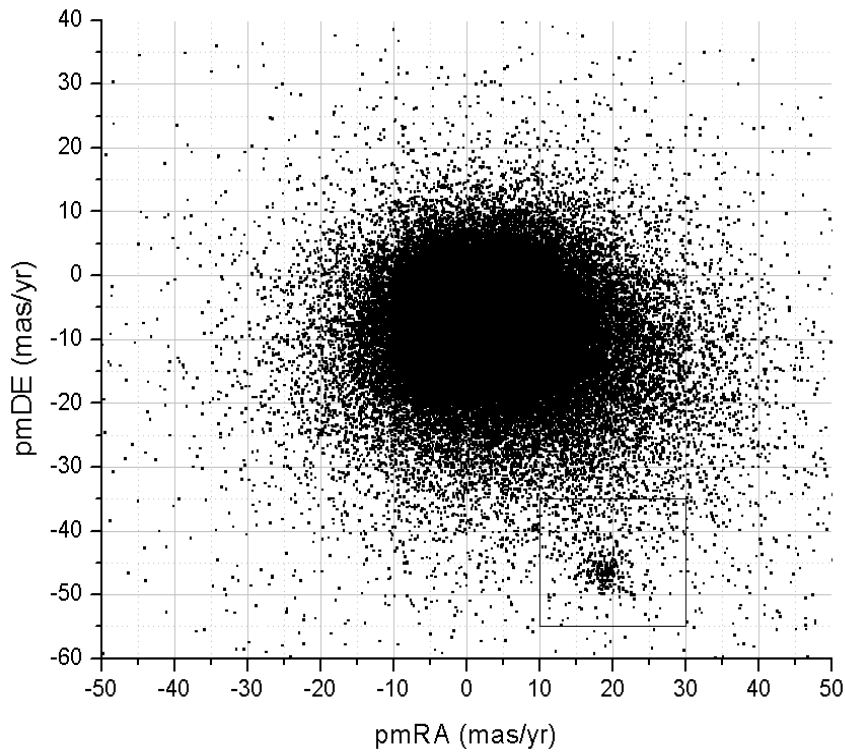


Рис. 1. Диаграмма собственных движений звезд области Плеяд: звезды скопления находятся в правом нижнем секторе.

Таблица 1. Распределение звезд предварительного списка по собственным движениям

<u>μδϖα</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>14</u>	<u>15</u>	<u>16</u>	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>		
<u>-55</u>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<u>-54</u>	0	1	1	1	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	9
<u>-53</u>	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	7
<u>-52</u>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
<u>-51</u>	0	4	1	0	0	2	0	0	0	1	1	2	1	2	0	2	0	0	0	0	0	16
<u>-50</u>	0	0	0	0	0	1	3	0	5	2	3	3	2	0	1	2	0	1	0	0	0	23
<u>-49</u>	0	0	0	0	0	1	3	1	5	5	3	3	2	0	2	0	0	0	1	0	0	26
<u>-48</u>	0	1	1	0	4	1	3	4	9	9	7	3	2	0	0	1	0	1	0	0	0	46
<u>-47</u>	0	0	1	1	0	3	6	7	16	15	9	2	1	0	3	0	0	0	0	0	1	65
<u>-46</u>	0	0	0	0	0	2	0	8	8	18	11	2	4	0	0	0	1	0	0	0	0	54
<u>-45</u>	0	3	1	1	2	0	7	4	9	5	7	5	2	0	1	0	0	1	1	0	0	49
<u>-44</u>	0	1	2	2	1	2	0	5	9	4	6	6	3	0	1	0	1	0	0	0	0	43
<u>-43</u>	2	0	2	3	0	2	0	2	2	1	4	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	24
<u>-42</u>	0	0	3	0	4	2	1	1	5	1	3	1	0	1	2	1	1	1	2	0	0	29
<u>-41</u>	1	4	3	0	1	0	2	4	2	3	0	1	2	0	0	0	1	1	0	2	0	27
<u>-40</u>	1	0	1	1	1	1	2	0	4	0	1	5	2	4	1	1	1	0	3	0	0	29
<u>-39</u>	0	1	1	6	3	1	2	1	0	2	2	1	0	1	1	0	0	2	0	0	0	24
<u>-38</u>	1	2	5	0	2	5	3	2	5	1	2	2	1	0	1	0	2	2	2	0	0	38
<u>-37</u>	3	2	4	2	6	0	1	4	0	3	3	4	2	3	2	1	1	2	0	0	0	43
<u>-36</u>	4	1	1	4	3	4	2	2	3	4	1	1	1	0	0	2	1	5	3	1	0	43
	12	21	27	24	28	29	35	47	82	76	65	43	27	12	18	12	12	16	13	4		

Из этого множества звезд были отобраны те, у которых собственные движения находились (по предварительной оценке) в интервалах $10 < \mu\alpha < 30$, $-55 < \mu\delta < -35$ mas/yr. После слияния двух каталогов, UCAC2 и Tycho-2, осталось 603 звезды, соответствующие заданным ограничениям.

Далее были построены гистограммы распределения звезд по собственным движениям отдельно по прямым восхождениям (Рис. 2) и склонениям (Рис.3 и 4)

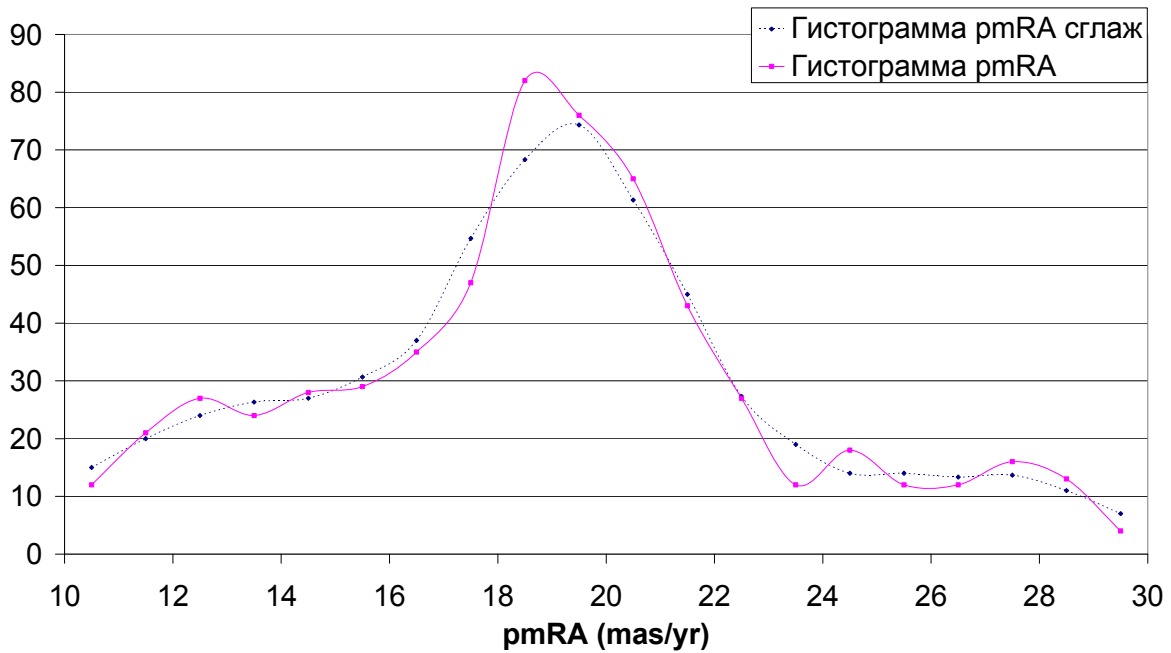


Рис. 2. Гистограмма распределения собственных движений по RA.

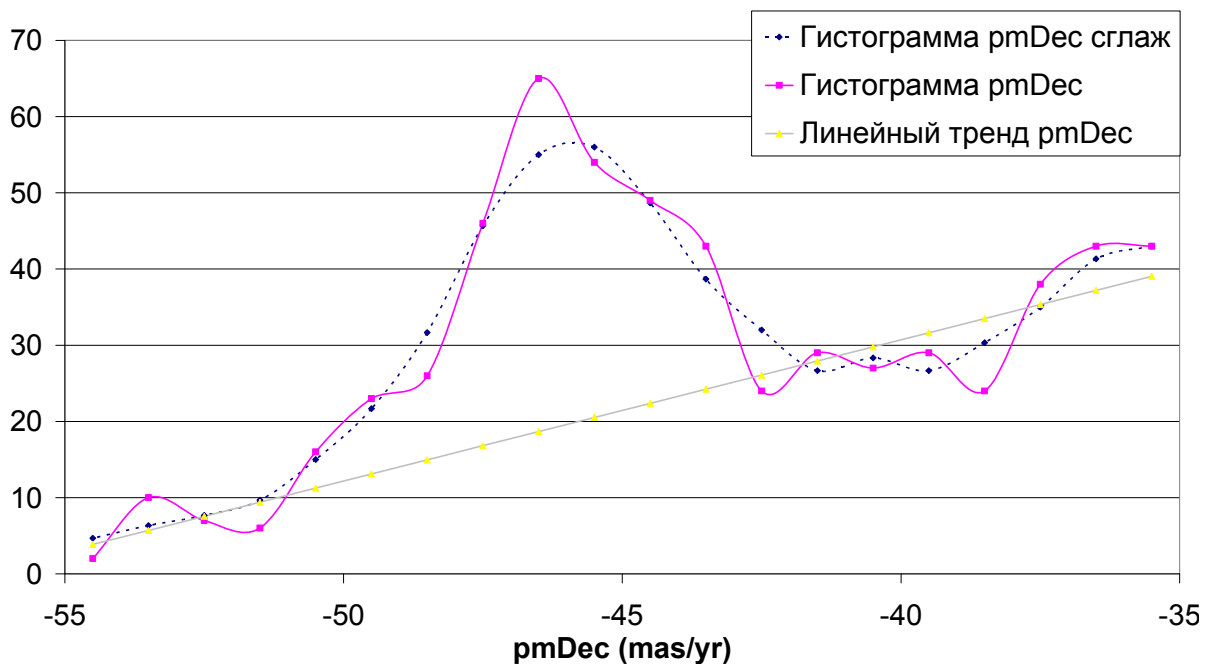


Рис. 3. Гистограмма распределения собственных движений по Dec.

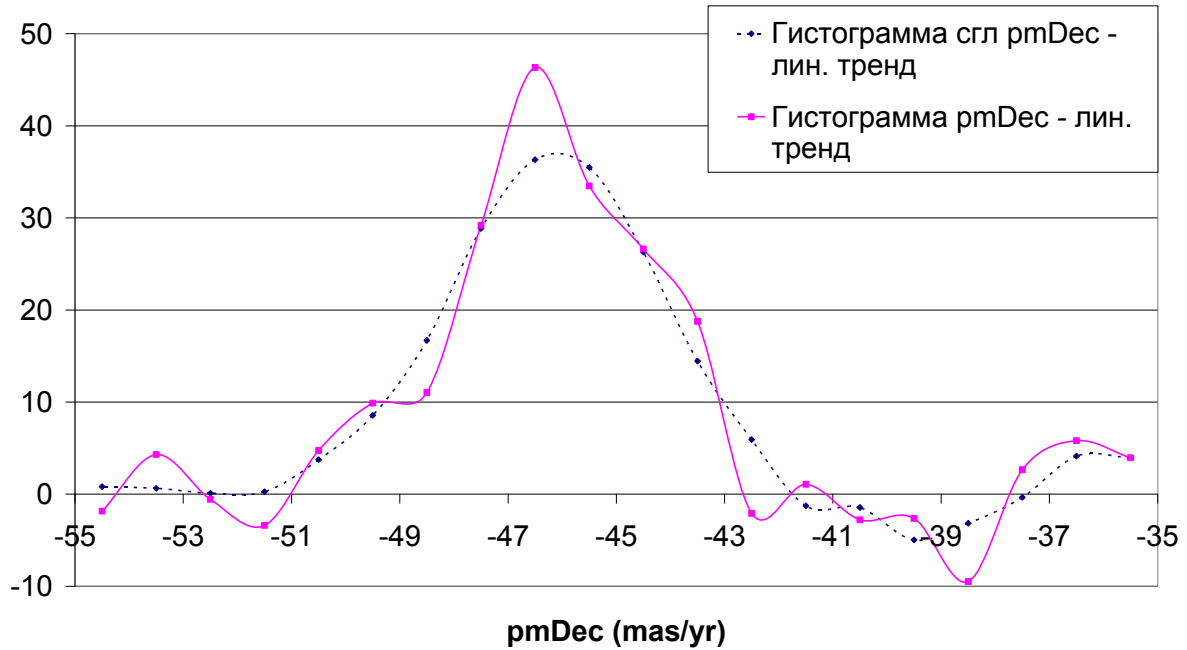


Рис. 4. Гистограмма распределения собственных движений по Dec после исключения тренда.

Полученные гистограммы позволяют сделать предварительные выводы об области собственных движений звезд скопления, отделив их от случайных звезд фона. Наиболее вероятными значениями скорости скопления можно принять 19 mas/yr по прямому восхождению и – 47 mas/yr по склонению. «Радиус» области составляет примерно 5 mas/yr.

Этим критериям соответствует 285 звезд (для сравнения, в работе S. Vasilevskis и др. [8] из 146 звезд в центральной области были выделены 84 члена скопления). Разумеется, действительное число членов скопления намного больше, но для уверенного их выделения нужны высокоточные данные о более слабых звездах.

Выбранные звезды были дополнены данными из каталогов Hipparcos, GCTP, Tycho2-SP, CRAVD-2, TASS4.

Таблица 2. Полнота данных о предполагаемых членах скопления

	Количество	К-во, %
Число звезд N, отобранных по принятым критериям для собственным движениям	285	100
Число звезд из N с фотометрическими данными B и V	193	68
Число звезд из N с данными спектральной классификации	119	42
Число звезд из N с измеренными тригонометрическими параллаксами	80	28
Число звезд из N с измеренными лучевыми скоростями	102	36

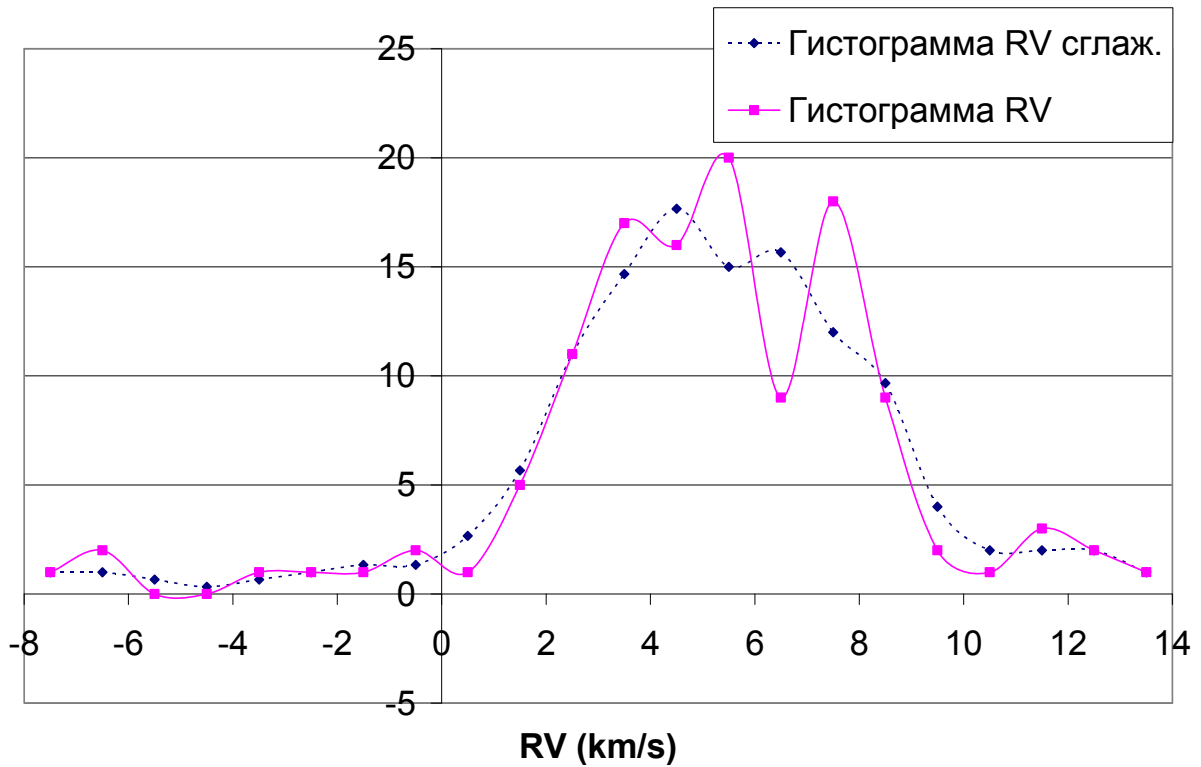


Рис. 5. Гистограмма лучевых скоростей предполагаемых звезд скопления.

Гистограмма лучевых скоростей звезд позволяет оценить наиболее вероятный диапазон лучевых скоростей для членов скопления от +1 до +11 km/s.

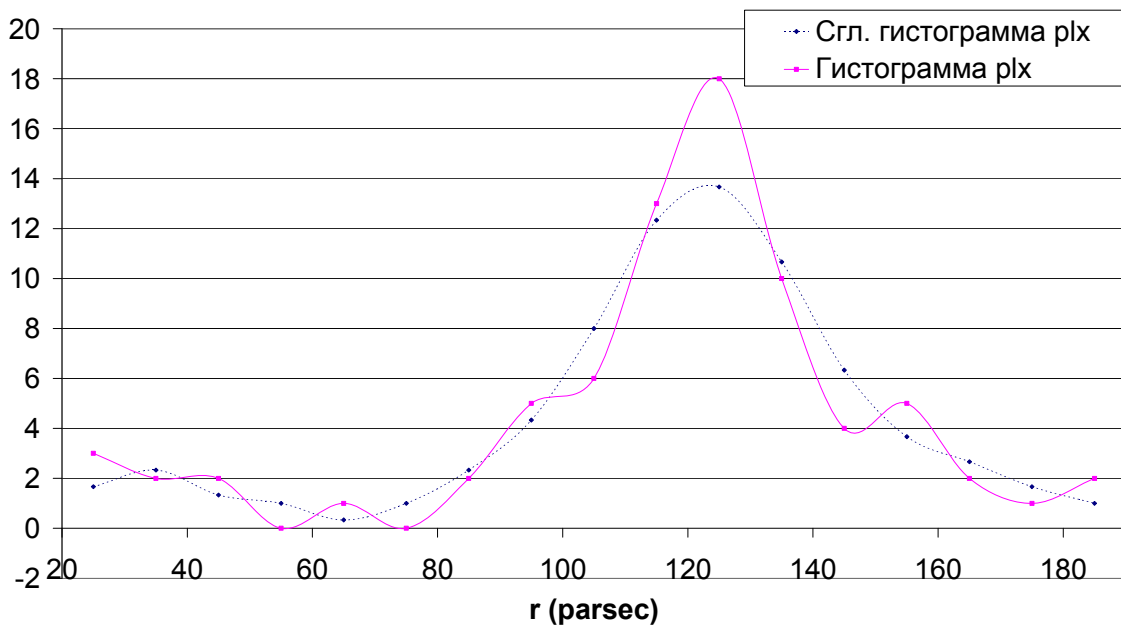


Рис. 6. Гистограмма параллакс предполагаемых звезд скопления.

По гистограмме параллакс предполагаемых членов скопления можно сделать оценку расстояния до центра скопления – 125 парсек, а также размер скопления в направлении по лучу зрения: от 90 до 160 парсек.

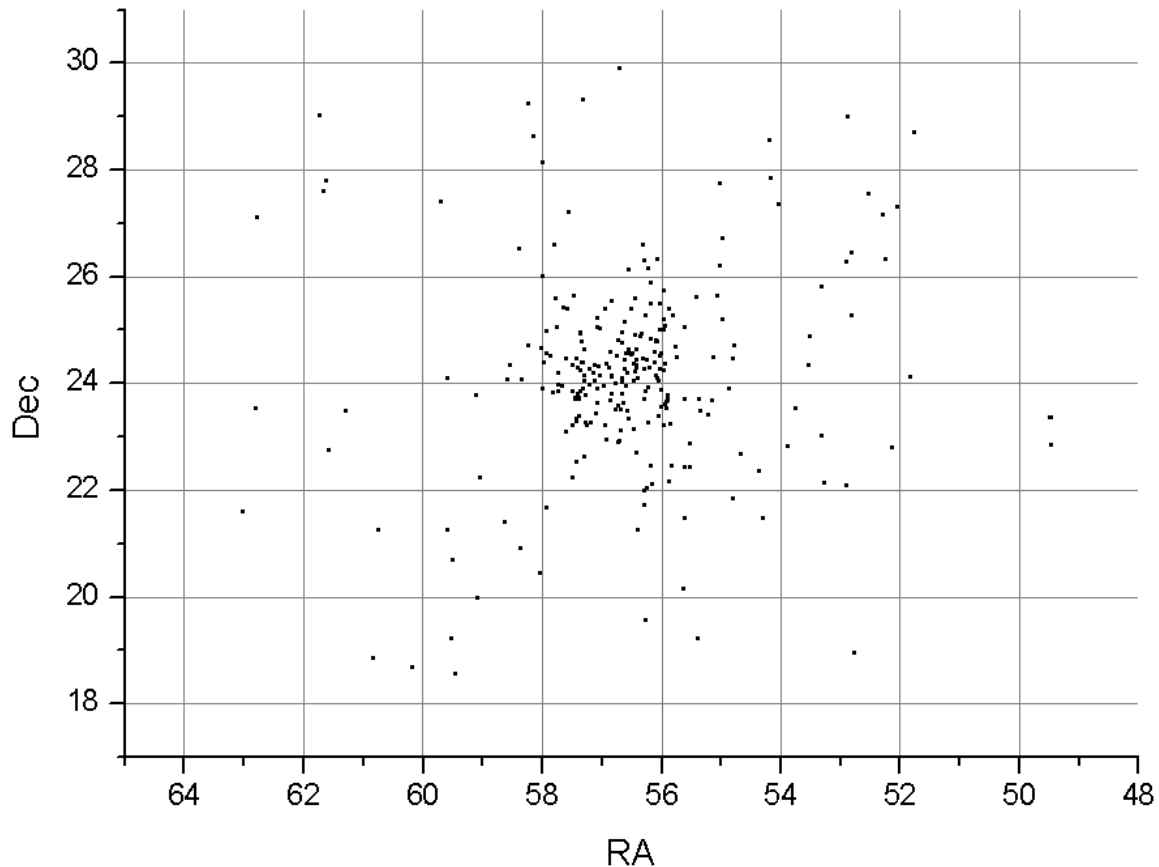


Рис. 7. Карта предполагаемых звезд скопления (260).

Звезды с параллаксами и лучевыми скоростями, не попадающими в указанные интервалы, были исключены из числа предполагаемых членов скопления. В результате осталось 260 звезд (нет уверенности, что все они – искомые объекты, поскольку для большинства нет ни параллаксов, ни лучевых скоростей).

Пространственное распределение отобранных предполагаемых звезд скопления находится в хорошем соответствии с теоретическими оценками размеров скопления Плеяды [9] – радиус группы составляет примерно 6 градусов (вместо изначально принятого значения 7 градусов, больший кажущийся размер по прямому восхождению необходимо умножить на $\cos(\text{Dec})$). На расстоянии 125 парсек, полученном нами по данным Hip2 [1], радиус скопления оценивается в 13 парсек, диаметр – 26 парсек.

Сравнение данных каталогов

Представляет интерес оценка достоверности данных, опубликованных в различных каталогах, путем сравнения этих данных. Некоторые результаты приведены на следующих графиках.

В целом график согласуется с опубликованными данными о фотометрической точности каталогов Tycho-2 и TASS 4 [7] (точность Tycho-2 довольно резко падает после $V = 10^m$).

На Рис. 9 приведено сравнение спектральных классов звезд в каталогах Tycho2 Spectral Type [6] и CRAVD-2 [5] в зависимости от звездной величины: (10 единиц по ординате соответствуют различию спектров звезд на 1 спектральный класс). График показывает, что большинство спектров звезд взято из одних и тех же источников (так как каталоги скомпилированы по результатам отдельных работ и публикаций). Для не-

совпадающих спектров заметно увеличение разброса при возрастании звездной величины.

Рис. 10 отражает распределение выделенных нами звезд по спектральным классам. Отсутствие на гистограмме звезд класса К и более поздних говорит, скорее всего, о недостаточной глубине (по звездным величинам) и полноте имеющихся данных, чем на отсутствие в скоплении звезд поздних спектральных классов. В последние годы появился ряд публикаций об обнаружении в Плеядах коричневых карликов [14, 15], но эти работы носят «штучный» характер.

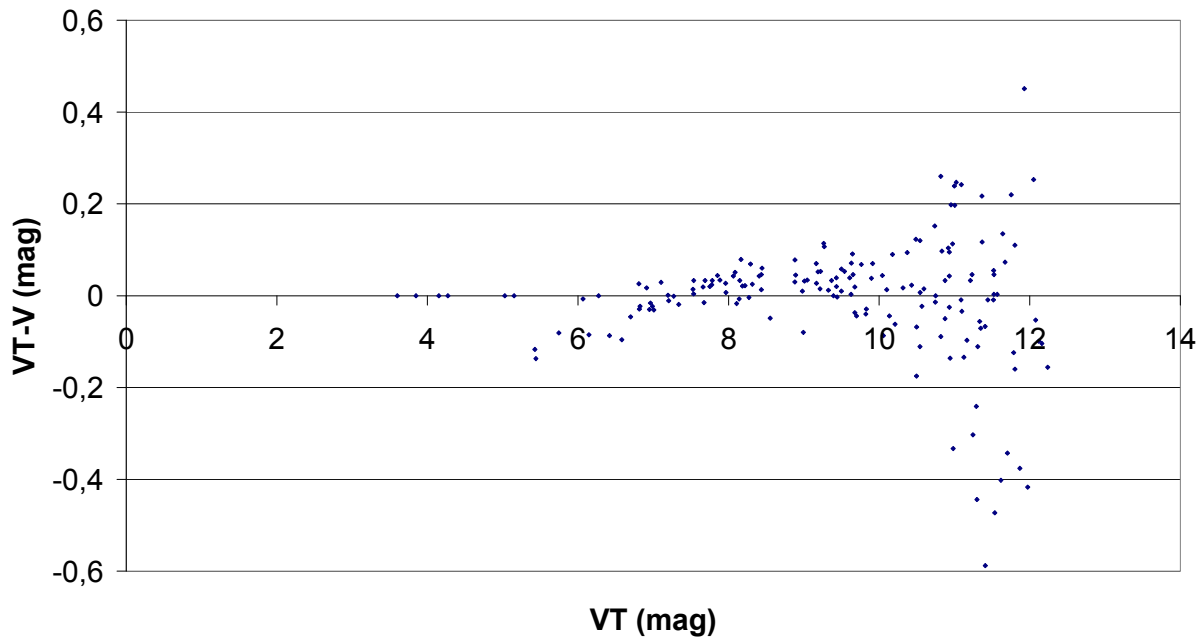


Рис. 8. Сравнение VT из Tycho-2 с V из каталога TASS 4.

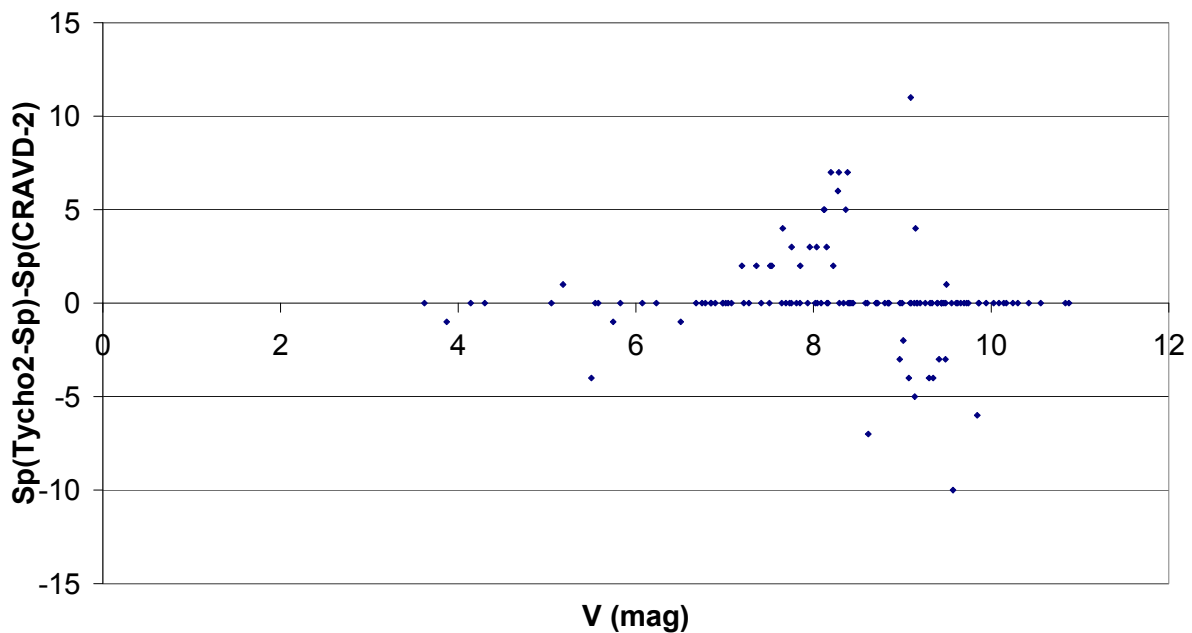


Рис. 9. Сравнение спектральных классов звезд по каталогам Tycho2-Sp [6] и CRAVD-2 [5].

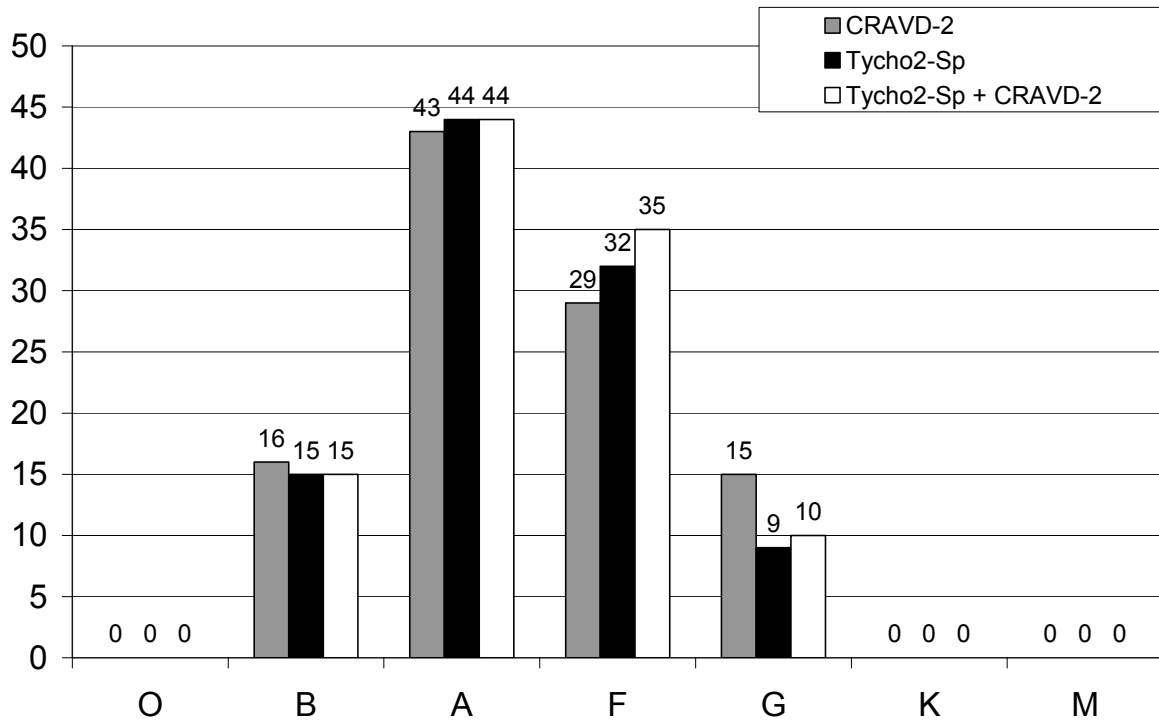


Рис.10. Гистограмма распределения звезд скопления по спектральным классам.

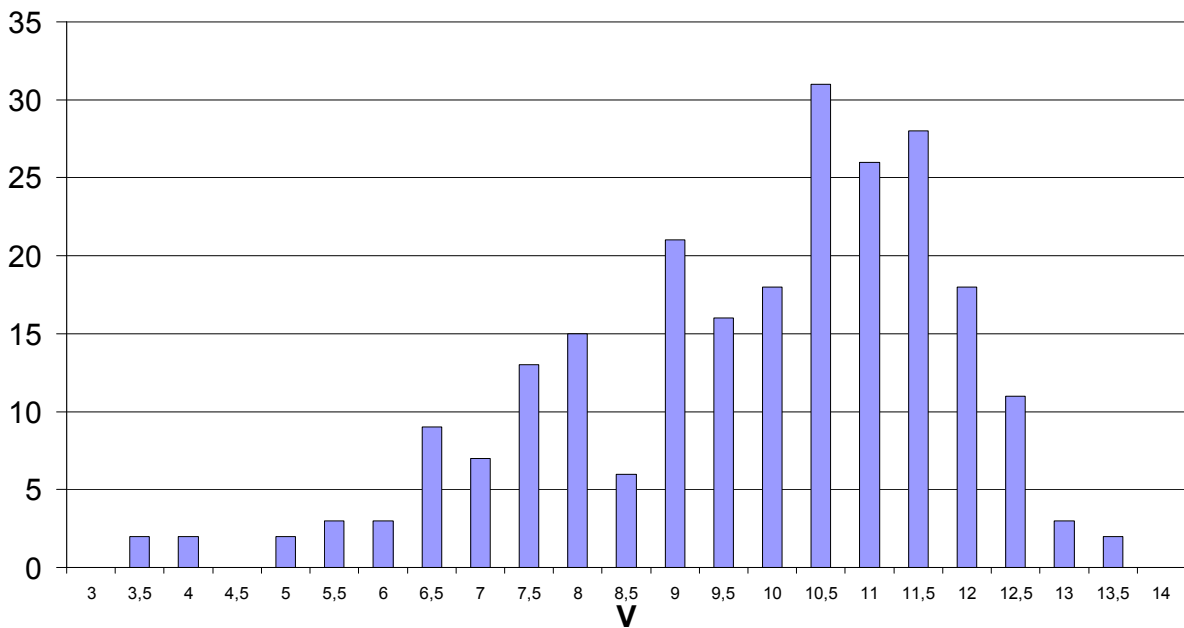


Рис.11. Гистограмма распределения звезд скопления по звездным величинам V.

Полнота основного каталога UCAC2, использованного в данном исследовании, вызывает большие сомнения из-за специфики используемого инструмента, методики обработки наблюдений и сложности самого объекта наблюдений – насыщенного яркими звездами плотного скопления с достаточно яркими туманностями. Этот факт нашел отражение в распределении предполагаемых членов скопления по измеренным звездным величинам V (Рис. 11). Видно, что полнота каталога прослеживается до примерно 11 звездной величины, далее количество звезд падает и никоим образом не дотягивает

до 15-16 звездной величины, заявленной авторами UCAC2. Для объяснения этого факта нужны более детальные исследования, поскольку близость скопления (и, следовательно, относительная яркость его звезд) не в полной мере объясняет имеющуюся картину.

Обсуждение предварительных результатов

Прежде всего, стоит аргументировать, почему для анализа не были использованы данные более обширных каталогов и специальных баз данных. Из доступных сегодня каталогов наиболее популярен USNO-B1.0 с заявленной полнотой до $V = 21$ mag, а также скомпилированный на его основе NOMAD (включающий в качестве более точного подмножества каталоги Hipparcos, Tycho-2 и UCAC2). Каталог USNO-B1.0 содержит более 1 миллиарда звезд по всему небу, создан на основе фотографических наблюдений с телескопами Шмидта, и на каждую звезду каталога приходится в среднем 3.6 измерения в разных цветовых полосах за период 50 лет. Несмотря на заявленную точность координат 0.2 arcsec и фотометрии 0.3 mag, использование этих данных для исследования кинематики скопления представляется сомнительным. Если и имеются собственные движения слабых звезд в этом каталоге, то их точность недостаточна для серьезного анализа. Данные этого каталога будут полезны в качестве первых эпох для получения собственных движений на основе современных наблюдений. Специальная база данных по рассеянным скоплениям WEBDA (<http://www.univie.ac.at/webda>) содержит меньшее число звезд и менее точные данные по сравнению с тем, что использовано в данной работе.

Наиболее интересные результаты предварительного анализа таковы: обнаружено несоответствие между размером скопления в тангенциальной плоскости, ~ 26 парсек, и вдоль луча зрения ~ 70 парсек. Возможно, это связано с «недобором» звезд короны скопления из-за принятого значения радиуса области исследования, возможно, это связано с ошибками параллакс.

Можно отметить также несколько неожиданные распределения звезд по спектральным классам и измеренным звездным величинам, что требует дальнейших исследований.

Заключение

Выполненный анализ имеющихся на сегодня данных о звездах скопления Плеяды показывает, что, несмотря на большую историю изучения этого объекта, остается много интересных особенностей, исследование которых требует и новых, высокоточных наблюдений, и их детального анализа. Новые данные, на новом уровне точности могут обеспечить качественный скачок в исследовании кинематики и эволюции этого скопления.

Авторы выражают благодарность В.В. Орлову и Г.А. Гончарову за ценные замечания и полезные советы по продолжению этой работы.

Литература

1. *F. van Leeuwen.* Hipparcos, the new Reduction of the Raw data. - *Astron. Astrophys.* 474, 653, 2007 (CDS: I/311 - Hipparcos, the New Reduction).
2. *Hog E., Fabricius C., Makarov V.V., Urban S., Corbin T., Wycoff G., Bastian U., Schwekendiek P., Wicenec A.* The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 Million Brightest Stars. *Astron. Astrophys.* 355, L27, 2000 (CDS: I/259 - The Tycho-2 Catalogue).
3. *Zacharias N., Urban S.E., Zacharias M.I., Wycoff G.L., Hall D.M., Germain M.E., Holdenried E.R., Winter L.* The Second U.S. Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC2) - *Astron. J.* 127, 3043, 2004 (CDS: I/289 UCAC2 Catalogue).

4. *Van Altena W.F., Lee J.T., Hoffleit E.D.* The General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes, Fourth Edition. - Yale University Observatory, 1995 (CDS: I/238A - Yale Trigonometric Parallaxes, Fourth Edition).
5. *Kharchenko N.V., Scholz R.-D., Piskunov A.E., Roeser S., Schilbach E.* The catalogue of radial velocities of galactic stars with high precision astrometric data, the 2nd version (CRVAD-2). - *Astron. Nachr.*, 328, 889, 2007 (CDS: III/254 2nd Cat. of Radial Velocities with Astrometric Data).
6. *Wright C.O., Egan M.P., Kraemer K.E., Price S.D.* The Tycho-2 Spectral Type Catalog -*Astron. J.*, 125, 359, 2003 (CDS: III/231 The Tycho-2 Spectral Type Catalog).
7. *Droege, T.F., Richmond, M.W., Sallman, M.* TASS Mark IV Photometric Survey of the Northern Sky <Publ. Astron. Soc. Pac. 118, 1666 (2006)> II/271A TASS Mark IV patches photometric catalog, version 2.
8. *S. Vasilevskis, F.van Leeuwen, W. Nicholson, C.A. Murray.* Internal motion in the central field of the Pleiades. – *Astron. Astrophys. Suppl.*, 37, 1979, 333-343.
9. *D. Nelson Limber.* The dynamics of the Pleiades cluster - *Astrophysical Journal*, 1961, vol. 135, p.16.
10. *N.R. Deacon, N.C. Hambly.* Proper motion surveys of the young open clusters Alpha Persei and the Pleiades – *A&A*, 416, 2004 125-136.
11. *J.A. Caballero, L. Dinis.* A revisit to agglomerates of early-type Hipparcos stars. *Astronomische Nachrichten*.
12. *David R. Soderblom, Ed Nilan.* Confirmation or errors in HIPPARCOS parallaxes from Hubble Space Telescope Fine Guidance Sensor Astrometry of the Pleiades. *The Astronomical Journal*, 129: 1616-1624, 2005 March.
13. *N. Robichon, F. Arenou, J.-C. Mermilliod, and C. Turon.* Open clusters with Hipparcos I. Mean astrometric parameters. *A&A* 343,1999, 471-484.
14. *E. Moraux, J. Bouvier, J.R. Stauffer.* Proper motion of very low mass stars and brown dwarfs in the Pleiades cluster. *A&A* 367, 2001, 211-217.
15. *Chie Nagashima, Paul D. Dobbie, Takahiro Nagayama et al.* An optical and near infrared search for brown dwarfs in the Pleiades cluster. *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society* v343 i4 1263-1270, 2003.
16. *E. Moraux, P. Kroupa, J. Bouvier.* The Pleiades mass function: models versus observations. *A&A* 426, 2004, 75-80.
17. *G. Gatewood, M. Castelaz, I. Hant et al.* Map-based trigonometric parallaxes of open clusters: the Pleiades. *The Astronomical Journal*, 364: 114-117, 1990.
18. *D.J. Pinfield, P.D. Dobbie, R.F. Jameson, I.A. Steele, H.R. A. Jones, A.C. Katsiyannis,* Brown dwarfs and low-mass stars in the Pleiades and Praesepe: membership and binarity. *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, Volume 342, Issue 4, pp. 1241-1259, 2003.
19. *M.R. Zapatero Osorio, R. Rebolo, E.L. Martin.* Brown dwarfs in the Pleiades cluster. III A deep I Z survey. *A&A Suppl. Ser.* 134, 1999, 537-543.

COMPILED CATALOGUE OF THE PLEIADES AND ITS ANALYSIS

Ermakov B.K., Guseva I.S.

Summary

All available precise data on the stars of the Pleiades area were compiled and analysed. Preliminary criteria of the cluster membership were elaborated and used for the stars selection. The catalogue of the probable cluster members allowed the preliminary evaluation of some parameters of the Pleiades on the base of resent data.

АНАЛИЗ ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН ПО НАЗЕМНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ (ПУЛКОВО) И ПО ДАННЫМ SOHO (MDI)

Ефремов В.И., Парфиненко Л.Д., Соловьев А.А.

1. Введение

В сейсмологии солнечных пятен, анонсированной еще в 1982 году как важный раздел локальной гелиосейсмологии [1], на сегодня можно выделить два направления:

1. Исследование *короткопериодических* 3-5 минутных колебаний, обусловленных захваченными и распространяющимися внутри магнитной силовой трубки пятна МГД волнами [2-7] и др.

2. Сейсмологию солнечных пятен на основе изучения их *долгопериодических* (с периодами от 30-40 минут до нескольких суток) собственных колебаний, в которых пятна проявляют себя как уединенные целостные структуры, квазипериодически изменяющие свои геометрические размеры и напряженность магнитного поля [8-11, 13] и др.

Исследованию короткопериодических колебаний посвящено большое количество работ, которые в целом удовлетворительно воссоздают картину явления ([2-7, 14-15] и др.). Долгопериодические колебания пятен изучены значительно хуже. Одна из причин заключается в трудности получения в наземных оптических наблюдениях длительных однородных серий доплерограмм и магнитограмм с высоким разрешением. Получение амплитудно-частотных характеристик связано с обработкой большого объема информации, а теоретическая интерпретация долгопериодических колебаний пятен требует новых подходов, их невозможно описать в рамках простой модели однородной вертикальной магнитной силовой трубки, которая обычно используется для описания короткопериодических колебаний. Тем не менее, в настоящее время имеется ряд независимых наблюдений, свидетельствующих о существовании долгопериодических колебаний физических параметров пятен (с периодами десятки и сотни минут), выражающихся как в вариациях магнитного поля и лучевых скоростей [8, 10, 11], так и в микроволновом радиоизлучении источников над пятнами [16]. Ранее Соловьевым [8-9] предложена модель мелкого солнечного пятна, позволяющая количественно описывать собственные долгопериодические колебания (вертикально-радиальные смещения) пятна как целого около некоторого положения его устойчивого равновесия. Долгопериодические колебания пятен показывают важные особенности, которые отличают их от 3-5 минутных колебаний. Так, противоположным образом ведет себя дисперсия доплеровских скоростей, а именно, амплитуда долгопериодической моды колебаний лучевой скорости в солнечном пятне резко убывает с высотой: эти колебания отчетливо проявляются в линиях, образующихся на высотах около 200 км, и практически не видны в линии с высотой образования 500 км. В то же время амплитуды короткопериодических колебаний не только не падают с высотой в фотосфере, но и, как правило, обнаруживают монотонный рост (см. [10-12]). Это различие зависимости амплитуды колебаний скорости в разных частотных полосах свидетельствует о различной физической природе их, т.е. короткопериодических и долгопериодических колебаний солнечного пятна (см. [13]).

В ГАО РАН разработана методика прямой регистрации доплеровских смещений по цифровым спектрограммам активных областей Солнца (см. [10-12]). В работе [10] на основе 4-х часовых серий наблюдений активной и спокойной фотосферы нами были представлены доказательства прямой связи наблюдаемых колебаний с магнитными структурами (пятнами и магнитными элементами) на Солнце (об этом говорит полное отсутствие долгопериодических колебаний в теллурической линии и в спокойной фо-

тосфере). Представлялось естественным сопоставить результаты оптических наблюдений с результатами, полученными независимо другими методами. Мы сравнили наблюдения долгопериодических колебаний в одних и тех же пятнах, выполненные оптическим методом и на радиогелиографе Нобейма на волне 1.76 см с пространственным разрешением 10 сек. дуги. Полученные нами вейвлет-спектры показали наличие практически одного и того же периода колебаний в пределах от 80 до 100 мин, как в оптических, так и в радиоданных см. [17].

В данной работе мы проводим анализ данных измерений лучевых скоростей в тени пятен, полученных на наземном телескопе и на инструменте MDI, установленном на космическом аппарате SOHO. В последнем случае наблюдательные данные свободны от влияния земной атмосферы и обладают большим пространственным разрешением. Сопоставление такого рода данных позволяет повысить степень объективности и достоверности получаемых результатов, а также выяснить, как улучшение пространственного разрешения повлияет на всю картину колебательного явления.

Мы сравнивали результаты обработки достаточно длительных (8-ми часовых) однородных серий наземных и 7-часовой серии космических наблюдений колебаний лучевых скоростей солнечных пятен.

2. Наземные наблюдения

Исходные данные, полученные автоматической цифровой камерой на дифракционном спектрографе солнечного телескопа АЦУ-5 в ГАО РАН (Пулково) в 2007 г., представлены в виде последовательности спектрограмм (битовых карт в формате jpg). 10-ти мегапиксельная матрица камеры (CMOS датчик) имеет рабочий размер 22.2×14.8 мм, на котором размещается участок солнечного спектра в диапазоне 649.379 – 649.965 нм (см. пример спектрограммы на рис. 4 слева). Одновременно определялись доплеровские смещения для группы из 6-ти спектральных линий, образующихся на разных высотах атмосферы Солнца. Использованы серии наблюдений длительностью 8 часов и с интервалом между кадрами 30 сек.

В табл. 1 указана химическая принадлежность линий и высоты образования центральных частей их контуров, взятые согласно [18].

Таблица 1.

Fe λ 649.65 nm (L1)	190 km	Ca λ 649.38 nm (L4)	310 km
Fe λ 649.89 nm (L2)	215 km	Ba ⁺ λ 649.69 nm (L5)	400 km
Ca λ 649.96 nm (L3)	225 km	Fe λ 649.50 nm (L6)	535 km

Кратко методика обработки данных изложена в работе [10], а более подробно – в работе [11]. Здесь лишь отметим, что обработка цифровых спектрограмм разбита на два основных этапа: подготовительный и расчетный, позволяющий получить частотно-пространственные карты смещений спектральных линий, обусловленных эффектом Доплера (т.е. карты колебаний лучевых скоростей) для исследуемой области на Солнце. Отметим также, что для получения пространственно-временных (L-T) доплер-карт (см. рис. 1), т.е. для определения поля доплер-смещений в солнечном пятне, нами предварительно проводится процедура фильтрации на спектрограмме интенсивности самого пятна – снятие рельефа пятна. Для каждой спектральной линии определяются границы области спектра (спектральной полосы) так, чтобы смещения контура линии не выходили за границы полосы за все время наблюдения. Размеры полосы выбираются в зависимости от ширины спектральной линии так, чтобы контур линии в крыльях был достаточно пологим. Это позволяет с высокой точностью определять положения максимумов

ма и величину полуширины контура спектральной линии и, соответственно, величины смещений его относительно следующих сканов. Сканирование спектральной линии вы-

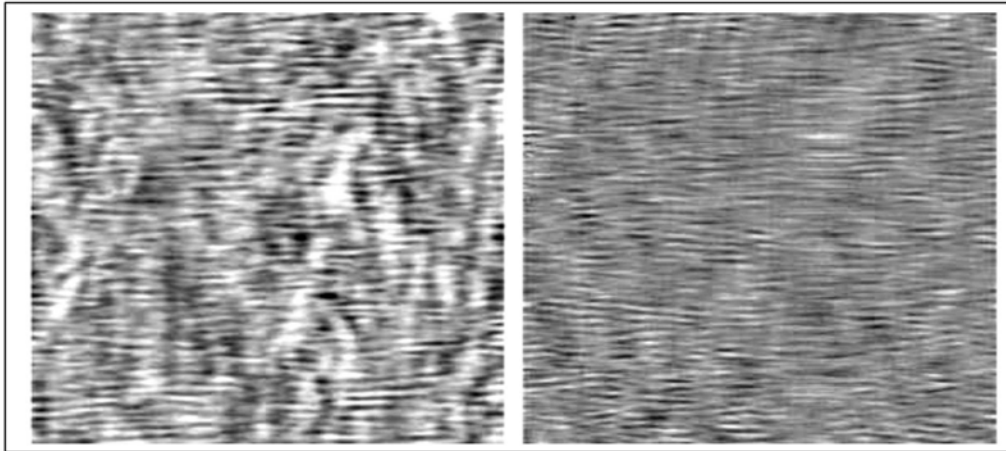


Рис. 1.

полняется на программном уровне: в каждом разрезе (поперек спектральной линии) строится контур, в котором центральная его часть аппроксимируется полиномом 2-й или 4-й степени. Этим устраняются отдельные локальные выбросы на профиле линии. Определив при первом сканировании положение центра контура линии (центра тяжести), мы выбираем эту точку в качестве реперной для последующих сканов. Таким образом, при каждом сканировании определяются три параметра: смещение, полуширина и фотометрический отсчет в центре контура линии.

3. Наблюдения на приборе MDI(SOHO)

Мы использовали для обработки приведенные на сайте Косовичева (<http://quake.stanford.edu/~sasha/MOVIES/movies.html>) 7-ми часовые серии наблюдений активной области, полученные с помощью фильтровой системы MDI аппарата SOHO. Доплерограммы и магнитограммы представлены в виде полутоновых трег видеофайлов. Основу системы MDI составляют два перестраиваемых интерферометра Майкельсона и фильтр Liot, помещенные в термостат. Система обеспечивает стабильную полосу пропускания 94 мА, плавно перестраиваемую в диапазоне ± 190 мА от центра абсорбционной линии NiI $\lambda 6768.8\text{A}$, образующейся в средней фотосфере [19]. Точность измерения доплер-скорости – 20 м/сек, продольного магнитного поля – 20 Гс. Интересно, что этот уровень точности соответствует параметрам, получаемым из наших наземных цифровых спектрограмм. Разрешение составляет $1''.2$ (апертура телескопа равна 125 мм). Точность гидирования изображения $0''.02$. Благодаря расположению аппарата SOHO на орбите в Лагранжевой точке L1, данные Майкельсоновского доплер интерферометра (MDI) свободны от специфических влияний, ограничивающих возможности наземных наблюдений.

Для обработки материала, полученного на SOHO (MDI), мы незначительно модифицировали вышеописанную спектральную методику. Основная задача на предварительном этапе та же – получение (L-T) доплер-карт. По сравнению со спектральными наблюдениями в данном случае информация о лучевой скорости получается не из измерения смещений центра тяжести спектральной линии. Она выдается фильтровой системой MDI аппарата SOHO как интенсивность на двумерной доплерограмме. Для получения этой информации видеофайл разбивался на отдельные кадры. В результате получалась 7-ми часовая серия из 420-ти полутоновых доплерограмм с 1 минутным ин-

тервалом. Теперь, любое фотометрическое сечение двумерной доплерограммы представляет собой развертку лучевой скорости по выбранному направлению. Дальнейшая обработка практически ничем не отличалась от методики, применяемой нами для наземных наблюдений.

К сожалению, для данных, полученных на SOHO(MDI), есть и свои ограничения: видеофильм получен в одной линии NiI $\lambda 6768.8\text{A}$, формирующейся в средних высотах фотосферы, поэтому здесь нет возможности построить зависимость распределения амплитуды колебаний от высоты.

На рис. 1 представлены фрагменты доплер-карт, полученные для «среднеуровневых» спектральных линий в наземных наблюдениях (справа) и на SOHO (слева). Для наглядности выбран одинаковый временной масштаб – 4 часа. Ширина разреза по центру пятна (слева) составляет 18 Мм, а щель спектрографа вырезает 150 Мм (справа).

4. Результаты обработки наблюдений

Для обработки использована 8-ми часовая серия цифровых спектрограмм, полученная 5 июня 2007 г. на пулковском солнечном телескопе АЦУ-5. На рис. 2 показана группа NOAA10960, состоящая из двух небольших, но достаточно правильных, круглых пятен одной полярности. Напряженность магнитного поля в обоих пятнах составляла около 2300 Гс по данным обсерватории Маунт Вильсон и 1900 Гс – по данным КрАО. Каждое из пятен обладало разветвленной хвостовой структурой (мелкие поры) противоположной полярности. Пятна находились недалеко от центра диска (S07E10). Темной линией отмечено расположение щели спектрографа на изображении Солнца. С помощью призмы Дове изображение Солнца было повернуто таким образом, чтобы на щели оказались одновременно оба пятна группы и одна из хвостовых пор.

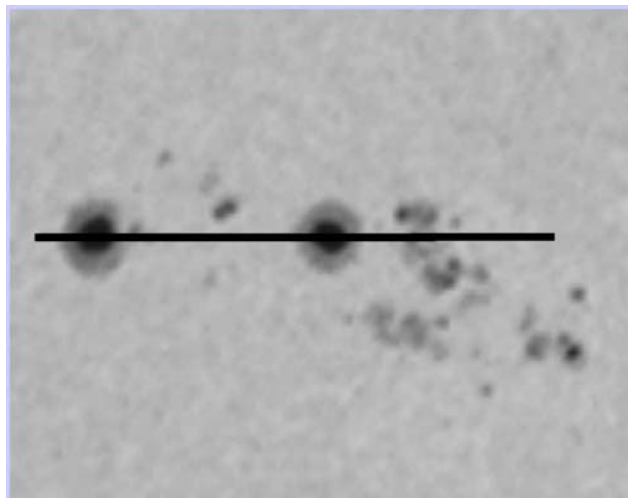


Рис. 2.

На рис. 3 представлена спектральная карта (Ω -L диаграмма) для низкочастотной области, полученная в линии Ca $\lambda 649.38\text{ nm}$ ($h \sim 310\text{ km}$). Нижняя шкала – щель спектрографа в пикселях, верхняя – линейные размеры на Солнце. Стрелками указаны центральные частоты полос (0.08-0.12) мГц с $f_1 = 0.1\text{ мГц}$ и (0.22-0.26) мГц с $f_2 = 0.24\text{ мГц}$, что соответствует периодам $T_1 = 167\text{ мин}$ и $T_2 = 70\text{ мин}$. По вертикали отложены частоты колебаний в mHz. Благодаря большой длине временной реализации (480 мин) проявилась нижняя 167 мин. мода (0.1 mHz), незаметная на 4-х часовых сериях. Причем оказалось, что именно в ней сосредоточена наибольшая мощность колебаний! В обоих пятнах и в хвостовой поре колебательный спектр имеет схожую структуру, что, вероят-

но, обусловлено тем, что все эти магнитные элементы принадлежат одной активной области с общей магнитной конфигурацией и имеют приблизительно одну и ту же напря-

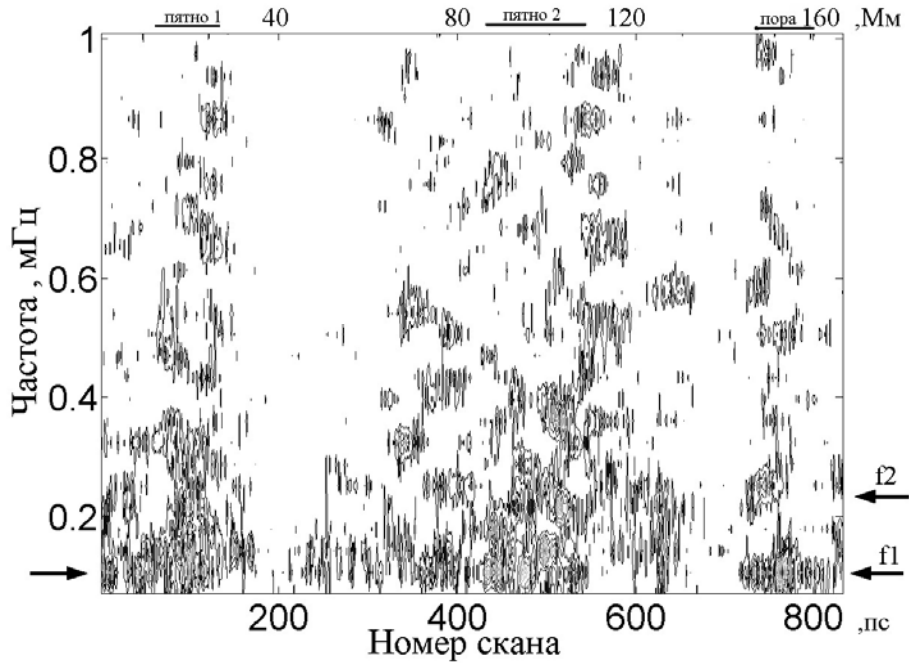


Рис. 3.

женность магнитного поля. При тщательном рассмотрении видно, что пятно на низких частотах пространственно фрагментировано в том смысле, что мощность колебаний на одной и той же частоте распределяется неравномерно, имеются отдельные острова сильного возбуждения. Эта же картина характерна и для околопятенной области, где, как мы указывали ранее (см. [10]), острова возбуждения имеют размер порядка мезо-гранулы, т.е. $\sim 8-10$ Мм.

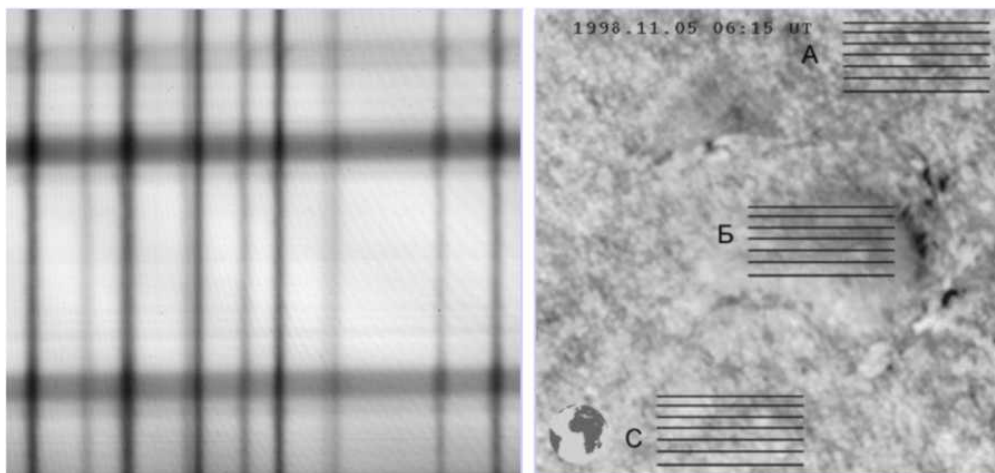


Рис. 4.

Перейдем к результатам обработки данных SOHO(MDI). На рис. 4 справа приведена доплерограмма, полученная прибором MDI аппарата SOHO 5 ноября 1998 г. Исследовалось пятно группы NOAA 08375 с координатами N18W07. Напряженность магнитного поля в этом пятне составляла около 3000 Гс (по данным обсерватории Маунт

Вильсон). По каждому разрезу восстанавливается пространственно-временная (L-T) плоскость, и далее строится спектральная карта (Ω -L). В пятне, несмотря на то, что оно находится практически в центре Солнца, видны течения Эвершеда. На (L-T) плоскости

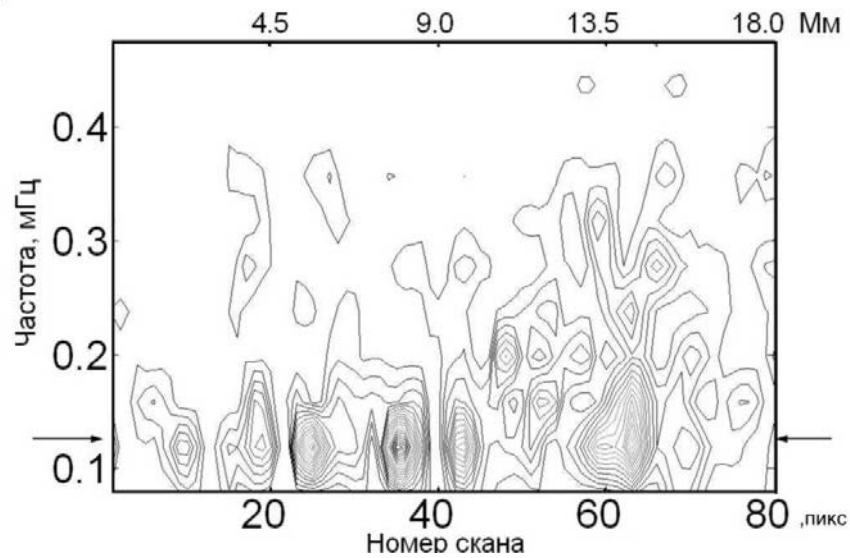


Рис. 5а.

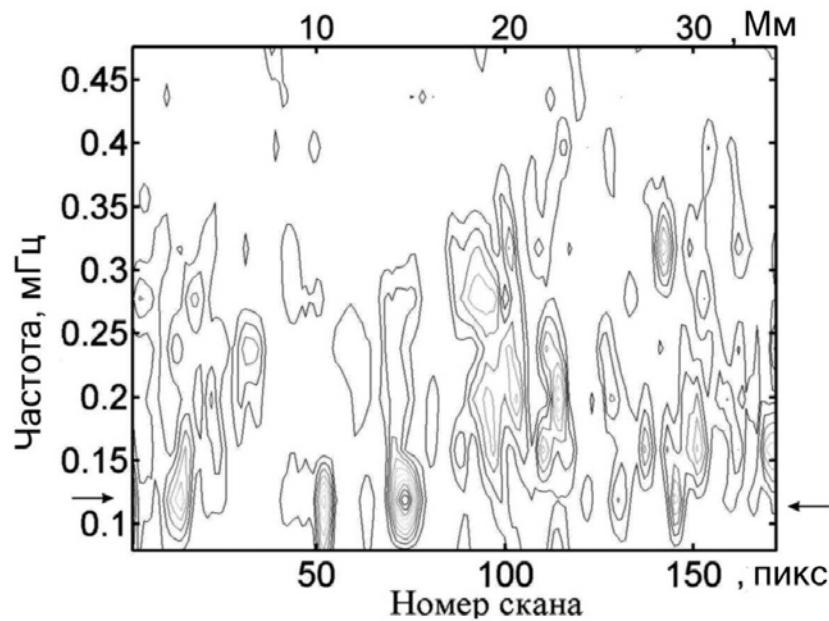


Рис. 5б.

они образуют рельеф, который затем удалялся на предварительном этапе подготовки данных. Типичная спектральная карта мощности, построенная по произвольно выбранному разрезу зоны А, С, представлена на рис. 5а, а зоны Б – на рис. 5б. Ширина разреза для центральной части пятна составляет 18 Мм, а для околопятенной области – 38 Мм.

5. Обсуждение

Видно, что спектр колебаний в пятне и около пятна практически одинаков в том смысле, что в различных пятнах возбуждаются низкочастотные колебания примерно в одной и той же полосе частот. Так же, как и для наземных наблюдений, в низкочастот-

ных областях, построенных по космическим данным Ω -К диаграмм, присутствуют две моды с периодами около 80 минут и 170 минут. Высокочастотную часть диаграмм, в которой регистрируются 3-х и 5 минутные колебания, мы здесь не приводим. При этом снова отметим, что в 170-ти минутной моде мощность колебаний больше. В отличие от наземных наблюдений, внеатмосферная Ω -К диаграмма менее зашумлена и более четко структурирована на тех же масштабах мезогрануляции.

Характерно, что исследуемые нами долгопериодические колебания в данной полосе частот неравномерно распределены в пространстве по мощности: они возбуждены, в основном, в отдельных «островах», которые только на низких значениях амплитуд смыкаются друг с другом, образуя единый ансамбль, колеблющийся с той или иной частотой. Так, в центральной части пятна мощность колебаний основной 170-минутной моды сосредоточена в структурах с характерным размером порядка 4-6 Мм, для околопятенных пор «острова возбуждения» имеют несколько больший масштаб: 8-10 Мм. Очевидно, характерная неоднородность, фрагментированность в распределении мощности глобальных низкочастотных колебаний пятна непосредственно отражает неоднородный, фрагментированный характер самого магнитного поля, формирующего пятна и поры. На наземных Ω -К диаграммах эти острова возбуждения более размазаны. Это связано с тем, что доплерограммы SOHO (MDI) имеют стабильное достаточно высокое пространственное разрешение на протяжении всей 7-ми часовой серии. Наземные же 8-ми часовые серии спектрограмм менее однородны по оптическому разрешению. Кроме того, надо учесть, что на SOHO (MDI) наблюдалось довольно большое пятно с сильным магнитным полем, в котором фрагментация магнитного поля может быть выражена достаточно сильно. На наземных спектрограммах мы исследовали два небольших пятна с относительно слабым магнитным полем, тонкая структура которого была заведомо неразрешима.

Вместе с тем, полученные выше наземные и космические данные позволяют заключить, что всякий раз комплекс наблюдаемых нами магнитных элементов образует единую, глобальную, связную архитектуру. У этой локализованной магнитной структуры имеется определенный набор собственных частот, в частности, низкочастотные моды колебаний излучающего газа.

Важно еще раз подчеркнуть, что в спокойных, т.е. лишенных сильных магнитных полей, участках Солнца эти моды полностью отсутствуют.

6. Анализ возможных ошибок и артефактов

Авторы понимают трудность получения в наземных условиях надежной информации о низкочастотных колебаниях в пятнах, и данная работа – одна из попыток продвинуться в решении этой важной проблемы. Рассмотрим некоторые моменты:

а). Использован трег видеофайл, а не исходные fits доплерограммы, потому что в доступном архиве SOHO нет многочасовых серий доплерограмм или магнитограмм с необходимой скважностью FITS кадров. Однако в нашей задаче важна переменная составляющая последовательности кадров, именно она и сохраняется в сжатом трег файле полностью.

Концепция сжатия видео в трег очень проста: определить, какая именно информация в потоке повторяется хотя бы в течение какого-то отрезка времени, и принять меры к исключению дублирования этой информации. Мрег является общепринятым международным стандартом для приема/передачи цифрового телевидения по различным сетям.

Качество использованного трег файла действительно высокое. Объясняется это двумя основными факторами: в качестве исходного видеоматериала для создания трег фильма используются несжатые FITS кадры профессионального качества, и, кроме это-

го, для кодирования в трег применяются аппаратные кодеры с очень высоким качеством кодирования изображения. Но редактировать трег видео очень трудно и неудобно. Дело в том, что при редактировании трег невозможно реализовать точную, до кадра, нарезку фрагментов, так как отделять фрагменты друг от друга можно только по I кадрам (I - Intra кадры, которые обычно называются опорными и содержат всю информацию об изображении). Мрег последовательность без этих кадров в принципе не может быть создана. При компрессии I кадров происходит удаление только пространственной избыточности. Именно с этого кадра начинается декодирование изображения в последовательности, иначе, при удалении опорного кадра и сохранении следующих за ним кадров, изображение потеряет читаемость. Редакторы видео с поддержкой трег позволяют редактировать с точностью до кадра, но надо понимать, что при любых изменениях не I кадра будет выполняться рекомпрессия всей GOP, что скажется на качестве фильма отнюдь не в лучшую сторону. Для удобства кодирования видеоданных весь видеопоток разбивается на группы, называемые GOP (Group of Pictures – группой изображений). Оставляя в стороне все тонкости трег формата, можно сказать, что если и происходят какие-то искажения исходного изображения, то они в нашем случае одинаковы для всех кадров, а самое главное, что как раз переменная часть, то есть доплеровское смещение линии, в данном формате, сохраняется.

б). Стробоскопический эффект (aliasing). Этот эффект ложной гармоник в спектре возникает при неподходящей оцифровке процесса, т.е. когда частота-прородительница оказывается меньше частоты Найквиста. Таким образом, в выборочном ряде мы получаем ложный низкочастотный процесс [7]. Ясно, что в отсутствии строго гармонического порождающего процесса, что собственно и происходит в реальных наблюдениях колебаний на Солнце, этот эффект даст так называемый «красный шум» в спектре мощности или беспорядочный набор низкочастотных гармоник. Достоверность гармоник, которые мы изучаем в колебательных процессах, происходящих в активных областях на Солнце и в самих пятнах, оценена нами по критерию Фишера и не вызывает сомнений (см. [11]).

в). Моды кратные длине реализации. В наблюдениях на SOHO, также как и в наземных, выявляется достаточно широкая полоса низких частот, которая не может быть проявлением эффекта кратности от ограниченной выборки данных, поскольку этот эффект мог бы привести только к одной резко выделенной частоте. Кроме того, необходимо учесть, что в нашем случае используются довольно длинные ряды данных, что практически исключает данный эффект. Колебания пространственно локализованы: существуют явно выраженные «острова возбуждения» колебаний, но в промежутках между ними, в фотосфере свободной от магнитного поля, по которым также проходит щель спектрографа, колебания отсутствуют. Эффект кратности давал бы ложную гармонику в каждом месте щели спектрографа.

7. Выводы

Анализ наземных и космических данных о колебаниях лучевых скоростей в солнечных пятнах и соседствующих магнитных элементах (порах) позволяет сделать следующие выводы:

1. Ядро солнечного пятна, равно как и солнечная пора, имеет свой спектр собственных частот, на которых оно колеблется как единое, целостное образование.

2. Основные гармоники, на которых совершаются эти глобальные колебания пятна, варьируются от пятна к пятну и имеют периоды в полосах 60-80 и 135-170 минут, причем мощность колебаний на нижней гармонике, как правило, выше.

3. Мощность колебаний имеет неравномерное пространственное распределение, что, по-видимому, указывает на неоднородный, фрагментированный характер магнитного поля в пятне.

Авторы благодарны Ю.А. Наговицыну за полезную дискуссию и поддержку наблюдений на пулковском телескопе АЦУ-5. Мы также признательны команде SOHO за возможность использования материалов, полученных на приборе MDI.

Работа выполнена при поддержке Программы №16 Президиума РАН «Солнечная активность и физические процессы в системе Солнце-Земля».

Литература

1. *Thomas J.H., Cram L. E., Ney A.H.* Five-minute oscillations as a subsurface probe of sunspot structure // *Nature*. 297. P. 485. 1982
2. *Zhugzda Y.D., Locans V., Staude J.* 1983. *Solar Phys.* V. 82. P. 369; *Astron Nachr.*, V.308. P.257
3. *Zhugzda Y.D.*, *Solar Phys.* **251**. 501 (2008)
4. *Rimmele T.R.* Sun center observations of the Evershed effect // *ApJ*. 1995.V. 445. P. 511
5. *Balthasar H.* Oscillations in Sunspots observed in the Near Infrared // *Solar Physics*. 2003. V. 218. P. 85-97
6. *Kobanov N.I., Makarchik D.V.* Height Inversion of Evershed Flow and Velocity Oscillations // *ASP Conference series*, 2003. V. 286. P. 251
7. *Kobanov N.I., Kolobov D.Yu., Chupin S.A.* Traveling waves in the sunspot chromosphere: Problems and puzzles of experiments // *ASTRONOMY LETTERS*. 2008. V. 34 No. 2. P. 133-140
8. *Соловьев А.А., Наговицын Ю.А.* Долгопериодические колебания солнечных пятен // *Труды конференции: Солнечная активность как фактор космической погоды. С.-Пб.* 2005. С. 593-598
9. *Соловьев А.А., Киричек Е.А.* Солнечное пятно как уединенная магнитная структура: устойчивость и колебания // *Бюллетень Специальной Астрон. Obs.* 2008. V. 63. №2. с. 96-106
10. *Ефремов В.И., Парфиненко Л.Д., Соловьев А.А.* Исследование долгопериодических колебаний лучевых скоростей в пятне и вблизи солнечного пятна на разных уровнях фотосферы // *Астрон. Журнал*. 2007.т. 84, вып. 5. P.450-460
11. *Ефремов В.И., Парфиненко Л.Д., Соловьев А.А.* Метод прямого измерения доплеровских смещений и эффекта Зеемана по оптическим цифровым спектрограммам Солнца и долгопериодические колебания солнечных пятен // *Опт. Журнал*. 2008. Т. 75. С. 9 -17
12. *Efremov, V.I., Parfinenko, L.D., Soloviev A.A.*, 2009, *Cosmic Research (Kosmicheskie Issledovaniya)* v47, №3, 1-9, (2009)
13. *Kshevetskii S.P., Soloviev A.A.*, *Astronomy Reports*. **52**.772 (2008)
14. *Thompson M.J.*, *Astronomy & Geophysics*, **45**. 4.21(2004)
15. *Zhukov V.I.*, *Astronomy and Astrophysics*, **433**, 1127 (2005)
16. *Gelfreikh G., Nagovitsyn Yu.A., Nagovitsyna E.Yu.* Quasi-periodic oscillations of the radio emission of the solar plasma structures and their nature // *Publ. Astron. Soc. Japan*. 2006. V. 58. No 1. P. 29-35
17. *Абрамов-Максимов В.Е., Гельфрейх Г.Б., Ефремов В.И., и др.* Особенности проявления долгопериодических и короткопериодических колебаний солнечных пятен в оптическом и радио диапазонах // в сб.: *Труды XI Пулковской конференции по физике Солнца*, ред. Степанов А.В.. (СПб, Пулково, ГАО РАН),. 2007. С. 3-7
18. *Wiehr E. and Kneer F.*, *Astronomy and Astrophysics*. **195**, 310 (1988)
19. *Scherrer, P.H., Bogart, R.S., Bush, R.I., et al.* *Solar Phys.* **162**, 129. (1995).

**THE ANALYSIS OF LONG-PERIOD OSCILLATIONS OF SUN-SPOTS OBTAINED ON
THE DATA OBSERVATION AT PULKOVO AND SOHO (MDI)**

Efremov V.I., Parfinenko L.D., Soloviev A.A.

Summary

The analysis of long-period oscillations of a field of radial velocity in sunspot and magnetic elements in their vicinity on the basis of ground (Pulkovo) and space (SOHO, MDI) observation is carried out. 8 hour series observation, obtained on pulkovo horizontal solar telescope by a method of direct registration of doppler shifts of spectral lines on optical digital spectrograms in six spectral lines, and 7 hour series dopplerograms of other active area on one spectral line, received by device MDI SOHO (Michelson Doppler Imager) are used. Both, ground and space observation show presence of long-period oscillation (nearly 80 and 170 minutes) of radial velocity in the chosen spots, at the same time spectral cards (Ω -L - diagram's) distributions of capacity of fluctuations practically coincide. In telluric lines and in quiet photosphere, free from strong magnetic fields, long-period oscillations are not found out.

ТРОЙНАЯ ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ЗВЕЗДА ADS 10288. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ОРБИТЫ

Киселев А.А.¹, Романенко Л.Г.¹, Горыня Н.А.²

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

²Институт астрономии РАН, Москва

Впервые выполнено динамическое исследование относительных движений компонент в парах АВ ($\rho \sim 5''$) и АС ($\rho \sim 114''$) иерархической тройной звезды ADS 10288 (GL 649.1 = WDS 16579+4722). В основе исследования: 1) ряд фотографических наблюдений на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове (1993-2007), дополненный данными из WDS, 2) параллаксы из каталога HIPPARCOS и 3) относительные лучевые скорости компонент. Последние получены с использованием корреляционного измерителя лучевых скоростей звезд (ИЛС) конструкции А.А.Токовина по наблюдениям в Симеизе. Применен метод параметров видимого движения, позволяющий определить орбиту двойной звезды из наблюдений на короткой дуге порядка 5-10°. Определены предварительные орбиты пар АВ и АС с периодами обращения 310 и 220000 лет соответственно. Принятые величины масс компонент не противоречат оценкам согласно соотношению "масса-светимость". Определена ориентация орбит в галактической системе координат. Плоскости обеих полученных орбит не компланарны, но круто наклонены к плоскости Галактики, как это уже отмечалось в предыдущих работах авторов статьи для большинства исследованных широких пар визуально-двойных звезд.

1. Введение

Кратная звезда ADS 10288 представляет собой типичную иерархическую систему: широкую пару ярких компонент А и С с разделением 114" и слабую компоненту В около главной звезды А на расстоянии 5" (см. табл. 1). В данной работе мы будем рассматривать эту систему, как две независимых пары звезд: АВ и АС.

Широкая яркая пара АС открыта В.Я. Струве в 1834 г., слабая компонента В – Р.Ж. Айткенем в 1908 г. Очевидные трудности наблюдений привели к тому, что в Вашингтонском каталоге двойных звезд WDS [1] ряд позиционных наблюдений недостаточно велик (17 положений для АВ и 22 положения для АС) и орбиты не определены. Отметим, что только двое из всех наблюдателей – Бернхэм и Кампер, а также космический телескоп HIPPARCOS фиксировали эту систему, как тройную звезду. Остальные наблюдали либо пару АВ, либо АС.

Таблица 1. Общие данные об исследуемой тройной звезде ADS 10288.

Компонента	m_v	Sp	M_{Sp}	$\pi_t \pm \epsilon\pi$ 1"	μ_x mas/yr	μ_y mas/yr	$V_r \pm \epsilon V_r$ km/s
А	7.0	K0V	0.79	0.0557±.0012	-146	+272	-7.1±0.1
В	11.3	(K6V)	(0.63)	0.0557±.0012	-146	+272	-8.0±0.2
С	7.1	K0V	0.79	0.0571±.0007	-139	+262	-7.6±0.1

Примечания: m_v – визуальная звездная величина компоненты, M_{Sp} – масса компоненты согласно соотношению “масса-светимость” [2] в единицах массы Солнца (в скобках даны : спектральный класс и масса компоненты В, оцененные нами по известным показателям цвета каталога 2Mass [3] и таблицам Аллена [2]), π_t и μ – тригонометрический параллакс и собственные движения компонент по наблюдениям HIPPARCOS [4], V_r – лучевые скорости компонент, полученные на ИЛС (подробнее, см. в §2 настоящей работы).

Общие данные о компонентах ADS 10288 – параллаксы, собственные движения и лучевые скорости – свидетельствуют о физической связи всех компонент системы.

Цель настоящей работы – получить предварительные орбиты пар АВ и АС на основе всех имеющихся данных методом параметров видимого движения – ПВД (см. Киселев, Кияева [5]). Применение этого метода для этой звезды стало возможным, как только были получены результаты определения лучевых скоростей компонент в единой системе, особенно для компоненты В.

Настоящая работа является продолжением исследований динамики визуально-двойных звезд Пулковской программы (см. Киселев, Романенко [6-10]), причем, подробный алгоритм вычислений представлен в публикации [6].

2. Определение лучевых скоростей компонент ADS 10288

В 1999 г. 15 визуально-двойных звезд (ВДЗ) Пулковской программы исследований были включены в программу наблюдений с использованием корреляционного измерителя лучевых скоростей звезд (ИЛС) А.А. Токовина [11]. За период 2004-2007 гг. Н.А. Горыня получила по 8 измерений для А и В-компонент ADS 10288 и 11 измерений для С-компоненты по наблюдениям на 1-метровом телескопе Симеизского отде-

Таблица 2. Индивидуальные лучевые скорости компонент ADS 10288.

Год набл.	JD (2400000+)	А км/с	В км/с	С км/с	Авторы
1985.56	46272.29	---	---	-8.9 ± 0.2	Токовинин
1985.57	46277.28	-7.7 ± 0.2	---	---	
1986.54	46629.36	-7.0 ± 0.3	---	-7.6 ± 0.2	
1986.58	46643.33	-7.3 ± 0.2	---	-8.0 ± 0.3	
1986.59	46645.32	-6.7 ± 0.5	---	---	
1986.82	46731.21	-7.6 ± 0.3	---	-7.3 ± 0.4	
1986.82	46731.22	-7.1 ± 0.3	---	-8.1 ± 0.3	
1987.58	47007.37	-7.8 ± 0.5	---	-7.2 ± 0.5	
1989.61	47751.40	-7.2 ± 0.2	---	-7.3 ± 0.2	
1994.30	49463.54	-7.53 ± 0.22	---	-8.14 ± 0.24	
1995.70	49974.20	-6.85 ± 0.16	-6.38 ± 0.29	-7.40 ± 0.26	
2004.50	53189.28	-6.84 ± 0.17	-8.96 ± 0.78	-7.65 ± 0.16	Горыня
2005.49	53549.31	---	---	-7.19 ± 0.18	
2005.54	53566.38	---	---	-8.29 ± 0.17	
2005.55	53569.33	-6.41 ± 0.19	-7.58 ± 0.68	-6.97 ± 0.14	
2005.55	53573.26	-7.09 ± 0.14	-7.88 ± 0.62	-7.58 ± 0.15	
2007.43	54257.39	-7.27 ± 0.16	-9.13 ± 0.90	-7.55 ± 0.18	
2007.44	54260.42	-6.80 ± 0.21	-10.15 ± 0.89	---	
2007.45	54264.41	-7.02 ± 0.17	-8.84 ± 0.70	-7.27 ± 0.24	
2007.50	54283.35	-7.45 ± 0.19	-10.39 ± 0.79	-8.28 ± 0.16	
2007.26	54343.26	---	---	-7.55 ± 0.15	
2007.74	54370.18	-6.44 ± 0.18	-8.67 ± 1.64	-6.70 ± 0.15	
Средневзв.луч.скорость :		-7.09 ± 0.09	-7.99 ± 0.24	-7.63 ± 0.08	
Количество наблюдений:		18	9	19	
Ср. момент наблюдений:		1998.2	2005.2	1999.0	

ления НИИ "КрАО". Обработка проводилась по алгоритму, описанному в работе А.А. Токовина [12]. Измерения лучевых скоростей ярких компонент А и С проводились также в 1985-1995 гг. на том же приборе ИЛС (см. работы: Токовинин [13] и Токовинин, Смехов [14]). К сожалению, для слабой компоненты В есть только одно наблюдение 1995 г.

В табл. 2 приведены результаты индивидуальных измерений лучевых скоростей компонент ADS 10288: гражданские и юлианские даты наблюдений, лучевые скорости компонент А, В и С, их внутренние ошибки. В некоторые даты компоненты А и В разделить не удалось из-за невысокого качества изображений.

Сравнение наших результатов определения лучевых скоростей для всех трех компонент с данными публикации [14]:

$$\begin{array}{l|l} V_r A = -7.09 \pm 0.09 \text{ (18 набл.)} & V_r A = -7.16 \pm 0.25 \text{ (2 набл.)} \\ V_r B = -7.99 \pm 0.24 \text{ (9 набл.)} & V_r B = -6.38 \pm 0.42 \text{ (1 набл.)} \\ V_r C = -7.63 \pm 0.08 \text{ (19 набл.)} & V_r C = -7.78 \pm 0.28 \text{ (2 набл.)} \end{array}$$

показывает, что новые результаты более обоснованны.

Для динамических исследований звездной системы необходимы относительные лучевые скорости компонент в парах. Очевидно, что если брать разности величин на близкие моменты наблюдений, то исключается влияние нуля-пункта их определения. Тогда получаем $\Delta V_r(BA) = -1.07 \pm 0.24$ (9 набл.) на средний момент 2005.4 и $\Delta V_r(CA) = -0.47 \pm 0.10$ (15 набл.) на средний момент 1999.0. При определении орбит в парах АВ и АС мы используем именно эти величины, как наиболее надежные (см. п. 4).

3. Позиционные наблюдения ADS 10288

Фотографические наблюдения исследуемой звезды на 26" рефракторе ГАО РАН были проведены в 1993-2007 гг. Ряд наблюдений содержит 12 пластинок, на каждой из которых получено от 6 до 20 изображений. Измерения проведены на сканере UMAX по программам, специально разработанным в Пулкове для измерения астронегативов с высокой точностью (см. Измайлов [15]). Результаты измерений представлены в каталоге относительных положений визуально-двойных звезд (Киселев, Калиниченко и др. [16]), который включен в базу данных Пулковской обсерватории. В табл. 3. мы приводим: момент наблюдения, количество изображений, относительные положения спутника и главной звезды А с их ошибками, а также (О-С) по радиальному (ρ) и трансверсальному (τ) направлениям для двух вариантов вычисленных орбит при $\beta > 0$ и $\beta < 0$ (см. п. 4).

4. Определение орбит

Для определения орбиты методом ПВД (см. Киселев, Кияева [5]) необходимы: параметры видимого движения, параллакс и относительная лучевая скорость компонент. Тогда при заданной сумме масс компонент определяются две равновероятные орбиты, соответствующие расположению спутника В относительно главной звезды А на средний момент T_0 по лучу зрения за картинной плоскостью ($\beta > 0$) или перед ней ($\beta < 0$). Выявить реальную орбиту можно лишь с использованием наблюдений, достаточно удаленных по времени от основного ряда. При этом возможно также выявить избыток масс по отношению к заданной (Киселев, Романенко [12]). В случае отсутствия удаленных наблюдений получаем семейство орбит, из которых выбирается та, которая лучше всего согласуется со всеми имеющимися наблюдениями.

Параметрами видимого движения (ПВД) мы называем следующие величины:

ρ – расстояние между компонентами (в секундах дуги);

θ – позиционный угол спутника относительно главной звезды А (в градусах);

μ – скорость относительного движения (в секундах дуги в год);

ψ – позиционный угол направления движения (в градусах)

(углы θ и ψ приводятся на эпоху 2000.0),

ρ_c – радиус кривизны (в секундах дуги) видимой короткой дуги орбиты вблизи момента T_0 (ПВД второго порядка).

Для исследуемой тройной звезды ADS 10288 определены ПВД в парах АВ и АС (см. табл. 4) на основе короткого ряда наблюдений в Пулкове 1993-2007 гг. (обозначен как "Pul"), на основе всех разрозненных наблюдений 1908-2003 гг. согласно каталогу WDS [1] и на основе объединенного ряда на эпоху $T_0 = 1960.0$ ("W+P").

Для определения орбиты тесной пары АВ мы используем параметры видимого движения, полученные по объединенному ряду, так как данных пулковского ряда явно недостаточно. Относительное движение на участке 1908-2007 гг. небольшое, однако радиус кривизны видимой орбиты определяется достаточно надежно: $\rho_c = 3.9 \pm 0.4''$. При такой кривизне необходимо учитывать изменение относительной лучевой скорости со временем от момента ее наблюдения до T_0 . Алгоритм этих вычислений подробно описан в работе [7]. На момент $T_0 = 1960.0$ получаем $\Delta V_r = -0.51$ км/с для $\beta > 0$ и $\Delta V_r = -1.68$ для $\beta < 0$.

В табл. 5 приведены элементы полученных ПВД-орбит пары АВ при заданной сумме масс компонент, равной 1.42 массы Солнца, а также галактические долгота и широта направления на полюс этих орбит. На рис. 1 показан разброс наблюдений относительно вычисленных орбит (I – для $\beta > 0$, II – для $\beta < 0$). Среднее уклонение составляет $0.002''$ по ρ и $0.004''$ по τ (21 наблюдение). Выявить реальную орбиту из двух равновероятных пока невозможно, но мы считаем более предпочтительной первую из них, поскольку она лучше удовлетворяет пулковским наблюдениям.

Для определения орбиты широкой пары АС мы также используем все наблюдения, полученные после 1834 г. Ввиду большого разброса наблюдений (особенно старых, до 1980 г.) кривизну видимой дуги определить невозможно. Однако наличие надежных данных о параллаксе и относительной лучевой скорости компонент позволяет существенно сократить неопределенность величины пространственного вектора положения \mathbf{r} .

В самом деле, с одной стороны, согласно геометрии имеем расстояние $r \geq \rho/\pi_t = 2017$ а.е. С другой стороны, согласно интегралу энергии (динамическая оценка), имеем расстояние $r < 2k^2 / v^2 = 2774$ а.е., где $k^2 = 4\pi^2 M$ и $v^2 = (\mu/\pi_t)^2 + (\Delta V_r/4.74)^2$ при общей массе системы $M_{ABC} = 2.21$ массы Солнца. Таким образом, имеем следующие пределы для расстояния между компонентами на момент $T_0 = 1960.0$:

$$2017 \text{ а.е.} < r < 2774 \text{ а.е.}$$

и, соответственно, следующее условие для угла β – наклона вектора \mathbf{r} к картинной плоскости: $\cos \beta \geq r_{\min} / r_{\max}$, а значит модуль $|\beta| < 43^\circ$. Для дальнейших динамических исследований фиксируем величину $|\beta| = 20^\circ$, приближенно соответствующую широте границы, делящей шаровой пояс ($0-43^\circ$) на две равные по площади части.

Вероятные орбиты широкой пары АС вычисляем, как для пары АВ, по данным ПВД объединенного ряда (см. последнюю строку табл. 4) при известных параллаксе $\pi_t = 0.0056 \pm 0.001''$ (табл. 1) и относительной лучевой скорости компонент $\Delta V_r(AC) = -0.47 \pm 0.10$ (см. п. 2) и при выбранной величине β :

$$r = (\rho/\pi_t) \sec \beta = 2147 \text{ а.е.}$$

в двух равновероятных вариантах: при $\beta = -20^\circ$ и при $\beta = +20^\circ$. Результаты – элементы орбит с ошибками, зависящими от ошибок ПВД, приведены в табл. 5. Приведены также элементы орбиты для $\beta = 0^\circ$, что соответствует случаю $r = r_{\min}$.

В последних трех столбцах табл. 5 приведены значения истинной аномалии W компонент В и С относительно А на момент $T_0 = 1960.0$, а также галактические координаты l_Q и b_Q полюсов этих орбит.

Таблица 3. Позиционные наблюдения пар АВ и АС.

T	n	$\rho \pm \sigma_\rho$	$\theta \pm \sigma_\theta$	$(O-C)_\rho^1$	$(O-C)_\tau^1$	$(O-C)_\rho^2$	$(O-C)_\tau^2$
АВ							
1993.289	13	4.851 ± 0.018	61.642 ± 207	-0.03	+0.03	-0.04	+0.03
1993.311	11	4.867 15	61.822 171	-0.01	+0.05	-0.03	+0.05
1993.327	7	4.811 16	61.955 267	-0.07	+0.06	-0.08	+0.06
1993.333	5	4.885 30	59.791 416	+0.01	-0.13	-0.01	-0.13
1993.344	7	4.787 25	61.636 225	-0.09	+0.03	-0.11	+0.03
1997.418	10	4.939 32	61.643 185	+0.02	-0.00	+0.00	-0.00
2000.333	19	4.926 20	61.846 196	-0.02	-0.01	-0.05	-0.01
2000.380	10	4.837 23	62.463 326	-0.11	+0.05	-0.13	+0.05
2002.403	8	4.914 34	61.368 512	-0.04	-0.06	-0.08	-0.06
2007.332	6	4.929 33	62.776 522	-0.06	+0.02	-0.11	+0.02
2007.356	4	4.938 59	63.470 696	-0.05	+0.08	-0.10	+0.08
АС							
1993.289	12	112.596 .017	261.694 .004	+0.04	+0.01	+0.04	+0.01
1993.311	10	112.525 .009	261.698 .004	-0.03	+0.02	-0.03	+0.01
1993.324	9	112.568 .009	261.600 .003	+0.01	-0.18	+0.01	-0.18
1993.327	6	112.531 .010	261.693 .002	-0.02	+0.01	-0.03	+0.00
1993.333	5	112.516 .023	261.703 .003	-0.04	+0.03	-0.04	+0.02
1993.344	6	112.582 .007	261.693 .007	+0.03	+0.01	+0.03	+0.00
1997.418	10	112.540 .012	261.692 .005	+0.03	+0.03	+0.03	+0.03
2000.333	20	112.453 .016	261.696 .005	-0.02	+0.06	-0.03	+0.06
2000.380	13	112.510 .012	261.645 .003	+0.03	-0.04	+0.03	-0.04
2002.403	8	112.467 .012	261.675 .006	+0.01	+0.03	+0.01	+0.03
2007.332	5	112.532 .042	261.669 .027	+0.13	+0.05	+0.13	+0.05
2007.356	6	112.505 .035	261.709 .017	+0.11	+0.13	+0.10	+0.13

Примечания: 1 – для $\beta > 0$, 2 – для $\beta < 0$ (см. §4).

Таблица 4. Параметры видимого (относительного) движения.

Комп.	T_n T_k	T_0 n	ρ 1"	θ 1°	μ 1"/год	ψ 1°	$\Delta\theta$ 1°	Ряд набл.
АВ	1993 2007	1998.3 11	4.884 ± 14	61.94 ± 16	.0076 ± 26	90. ± 21.	2	Pul
	1908 2003	1960.0 17	4.171 ± 80	57.28 ± 36	.0231 ± 23	79. ± 3.	12	WDS
	1908 2007	1960.0 28	4.367 ± 29	57.87 ± 24	.0224 ± 15	81. ± 2.	14	W+P
АС	1993 2007	2000.3 12	112.505 ± 14	261.69 ± 1	.0078 ± 30	103. ± 15.	0	Pul
	1834 2001	1917.77 22	113.450 ± 41	261.95 ± 3	.0133 ± 10	104. ± 5.	0.4	WDS
	1834 2007	1960.0 34	112.947 ± 30	261.81 ± 1	.0129 ± 07	112. ± 3.	0.5	W+P

Примечания: T_n и T_k – начальная и конечная эпохи используемого ряда позиционных наблюдений, T_0 – средняя эпоха наблюдений, n – количество наблюдений, ρ , θ , μ и ψ – параметры видимого движения и их ошибки, $\Delta\theta$ – длина видимой дуги орбиты, использованной для определения ПВД.

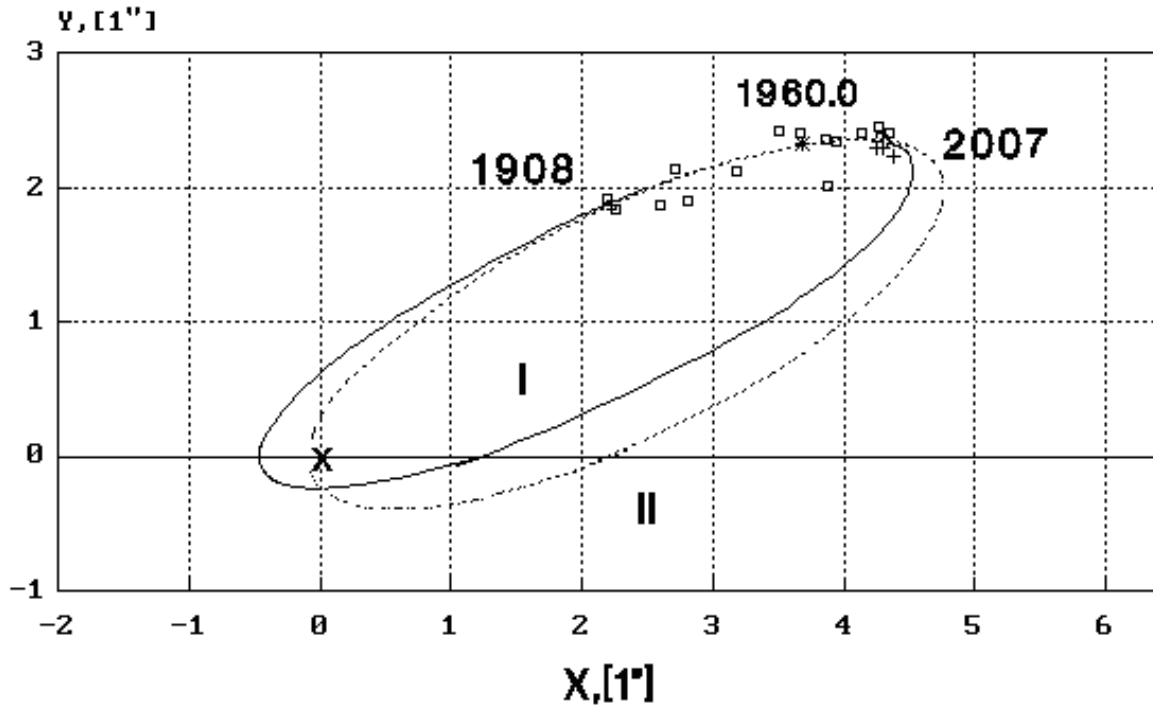


Рис. 1. Наблюдения и эфемерида ADS 10288 AB.

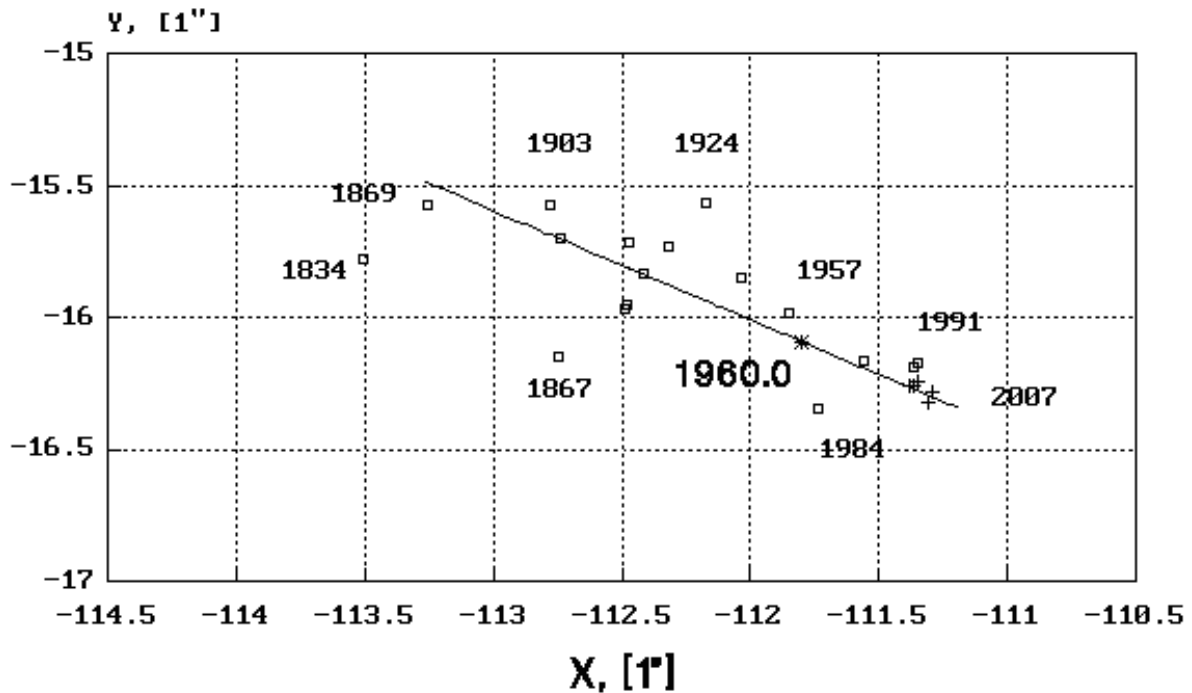


Рис. 2. Наблюдения и эфемерида ADS 10288 AC.

Обозначения на рис.1 и рис.2: сплошная кривая – орбита I ($\beta > 0$), прерывистая кривая – орбита II ($\beta < 0$), звездочка – эфемерида на момент $T_0 = 1960.0$, квадратики – наблюдения по каталогу WDS, крестики – наблюдения в Пулкове. Ось X направлена к востоку, ось Y – к северу, начало координат в компоненте A (картинная плоскость).

На рис. 2 показан разброс наблюдений относительно вычисленных орбит (на участке 1834-2007 эфемерида совпадает для всех трех вариантов). Среднее уклонение

составляет 0.04" по ρ и 0.02" по τ по 29 наблюдениям. Выявить реальную орбиту из двух равновероятных невозможно. Поэтому мы считаем их предварительными.

Таблица 5. Элементы ПВД-орбит.

	β	a, AU	P, лет	e	ω	i	Ω	T_{Π}	W	l_Q	b_Q
AB	+29.°	51.7 ± 2.3	312. ± 21.	0.85 ±.04	336° ±4	54° ± 5	254° ± 3	1853. ± 10.	171 ± 2	193	- 4°
	-30.	58.5 ± 3.6	375. ±35.	0.95 ±.02	53 ±11	47 ± 9	205 ±15	1877. ± 3.	170 ± 2	235	+ 5
AC	+20.	4748	220000	0.92 ±.03	255 ±25	157 ±5	24 ±28	8803. ± 303.	225 ± 7	64	+17
	0.	3700	151000	0.84	303	140	82	9023	237	29	+24
	-20.	4748	220000	0.75 ±.09	296 ±14	124 ±5	96 ± 3	10356 ± 712.	268 ±15	8	+24

Примечание: β – угол наклона вектора АВ (или АС) к картинной плоскости на средний момент T_0 , для которого определены ПВД согласно табл.4; a, P, e, ω , i, Ω и T_{Π} – элементы орбиты (обозначения стандартные), W – истинная аномалия, l_Q и b_Q – галактические долгота и широта направления на полюс орбиты.

5. Заключение

Обращаем внимание на следующие особенности динамического состояния исследованной системы ADS 10288:

1) Орбиты обеих пар (и тесной АВ, и широкой АС) круто наклонены к галактической плоскости (90° и 70°). Этот уверенно установленный факт (главный результат данного исследования) расширяет список двойных звезд – широких пар в окрестностях Солнца, исследованных нами ранее (см. [6-10]), также показавших большой угол наклона большинства орбит относительно галактической плоскости. Таким образом, выявляются особенности динамического состояния двойных звезд Местной системы на периферии нашей Галактики.

2) Эксцентриситеты орбит обеих пар велики (порядка 0.8-0.9). Это свидетельствует о неустойчивости динамического состояния тройной системы. Небольшого изменения масс, параллакса или относительных скоростей компонент (в пределах точности их оценок) достаточно для того, чтобы определяемая орбита хотя бы одной из компонент стала гиперболической, что означает распад тройной системы.

3) Выполненное исследование подтверждает высокую эффективность метода ПВД, позволяющего получить результаты, интересные для динамики звездных систем, на основе ограниченных данных астрометрии (относительные положения и движения компонент), дополненных данными об относительных лучевых скоростях компонент при известных параллаксах.

Авторы выражают благодарность всем наблюдателям 26" рефрактора, особенно – соавторам каталога [16]. Мы предполагаем продолжать наблюдения и исследования визуально-двойных звезд Пулковской программы, в том числе, широких пар с медленным орбитальным движением.

Н.А. Горыня с признательностью отмечает финансовую поддержку РФФИ (гранты 08-02-00375 и 08-02-00738) и Программы поддержки ведущих научных школ РФ (грант НШ-433.2008.2), а также выражает благодарность руководству Симеизского отделения НИИ "КрАО" за предоставление наблюдательного времени на 1-м телескопе.

Обращаемся с призывом к астрономическому сообществу поддержать космические проекты (типа GAIA), которые могли бы доставить информацию о параллаксах визуально-двойных звезд, особенно слабых.

Литература

1. *B.D. Mason, G.L. Wycoff, W.I. Hartkopf*, Washington Double Star Catalog 2006.5. USNO Double Star CD 2006.5.
2. *К.У. Аллен*, Астрофизические величины (М.: "Мир", 1977), с.295.
3. *R.M. Cutri, M.F. Skrutskie, S. Van Dyk et al.*, 2Mass All Sky Catalog of point sources, CDS/ADC Collection of Electronic Catalogues, 2246,0 (2003).
4. *M.A.C. Perryman, E. Hoeg et al.* The HIPPARCOS and TYCHO Catalogs (Noordwijk, ESA, 1997).
5. *А.А. Киселев, О.В. Кияева*, Астрон.журн. **57**, 1227 (1980).
6. *А.А. Киселев, Л.Г. Романенко*, Астрон.журн. **73**, 875 (1996).
7. *А.А. Киселев, Л.Г. Романенко*, Изв.ГАО РАН в Пулкове **213**, 155 (1998).
8. *А.А. Киселев, Л.Г. Романенко*, Изв.ГАО РАН в Пулкове **216**, 269 (2002).
9. *А.А. Kisselev, L.G. Romanenko*, Astron.Soc.of the Pacific, Conf.Ser.**316**, 250 (2004).
10. *А.А. Киселев, Л.Г. Романенко, О.А. Калиниченко*, Астрон.журн. **86**, №2,148 (2009).
11. *А.А. Токовинин*, Астрон.журн.**64**, 196 (1987).
12. *А.А. Токовинин*, Астрофизика **28**, вып.2, 297-310 (1988).
13. *А.А. Токовинин*, Каталог измерений лучевых скоростей звезд. Каталог собственных движений (М: Изд.МГУ, 1990), с.19.
14. *А.А. Tokovinin and M.G. Smekhov*, Astron. and Astrophys. **382**, 118 (2002).
15. *И.С. Измайлов*, Изв.ГАО РАН в Пулкове **214**, 533 (2000).
16. *А.А. Киселев, О.А. Калиниченко, О.В. Кияева и др.*, Каталог относительных положений визуально-двойных звезд, полученных по фотографическим наблюдениям на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове, начиная с 1960 года. (<http://www.puldb.ru>, 2006).

A TRIPLE HIERARCHICAL STAR ADS 10288. PRELIMINARY ORBITS.

by Kisselev A.A., Romanenko L.G., and Gorynya N.A.

Summary

We present the first dynamical study of relative motions of the pairs of components AB ($\rho \sim 5''$) and AC ($\rho \sim 114''$) in the triple star ADS 10288. The study is based on: 1) a series of photographic positions obtained with the 26-inch refractor at Pulkovo in 1993-2007, supplemented by WDS data, 2) HIPPARCOS parallaxes, and 3) the relative radial velocities of the components obtained at Simeiz observatory (Crimea) with the use of A.A. Tokovinin's correlation sensor for radial velocities. The preliminary orbits have been determined using the method of Apparent Motion Parameters (AMP), which makes it possible to calculate the orbit elements on the basis of short arc ($5-10^\circ$) observations. The determined orbital periods of the system components are 310 years for AB and 220000 years for AC; the component mass values are consistent with the "mass – luminosity" estimates. The orientation of both orbits in the Galactic coordinates has also been found. The orbit planes appeared to be non-coplanar and steeply inclined to the Galactic plane, which is consistent with previous studies of the authors.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЗС-НАБЛЮДЕНИЙ ГЛАВНЫХ СПУТНИКОВ САТУРНА С КАМЕРОЙ ST-6 НА 26-ДЮЙМОВОМ РЕФРАКТОРЕ ПУЛКОВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ В 1995-2007 гг.

Киселева Т.П., Измайлов И.С.

Работа посвящена итогам ПЗС-наблюдений на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове с камерой ST-6 восьми главных спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе в период времени 1995-2007 гг. Свыше 170 относительных положений спутников в смысле “спутник – спутник” было получено с внутренней точностью 0.014". Наблюдения сравнивались с современной теорией движения спутников TASS 1.7. Сравнение показало высокую точность наблюдений 1-6, 8-го спутников (среднеквадратические значения (O-C) равны 0.101" и 0.129"). Обнаружен ход (O-C)_{X,Y} для Гипериона в зависимости от его положения в видимой кривоцентрической орбите.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 07-02-00235-а.

Введение

Целью астрометрических наблюдений спутников является определение высокоточных координат, необходимых для уточнения существующих теорий движения и проверка современных теорий движения путем сравнения их с наблюдениями. Пулковская программа астрометрических наблюдений восьми главных спутников Сатурна, начатая в 70-х годах прошлого века, с 1995 г. выполняется на 26-дюймовом рефракторе с применением ПЗС-камеры ST-6 параллельно с фотографическими наблюдениями.

Во время этапа наблюдений 1995-2007 гг. с матрицей ST-6 выполнялись исследования и калибровка ПЗС-камеры, разработана методика определения центра ПЗС-изображений, методика астрометрической редукиции измерений в поле ПЗС-матрицы, учета систематических ошибок, возникающих при ПЗС-наблюдениях вследствие неоднородности фона вблизи яркой планеты (Измайлов И.С., и др., 1998; Киселева Т.П., Измайлов И.С. и др., 2004). С применением ПЗС-матрицы увеличилась проникающая сила телескопа, и стало возможным наблюдать слабые спутники, в том числе 7-й спутник Гиперион – при фотографических наблюдениях он был недоступен. В несколько раз возросла внутренняя и внешняя точность наблюдений по сравнению с фотографическими наблюдениями.

В результате астрометрической редукиции определялись относительные координаты различных пар спутников «спутник минус спутник». За период 1995-2003 гг. получено 100 взаимных положений пар спутников Сатурна на основе более 1000 отдельных ПЗС-наблюдений. Результаты наблюдений 1995-2003 гг. опубликованы (Киселева Т.П., 2004). По результатам наблюдений 2004-2007 гг. получено 75 относительных положений спутников. Все они вместе с наблюдениями 1995-2003 гг. представлены в Пулковской базе данных по наблюдениям тел Солнечной системы, доступной в Интернете по адресу <http://www.puldb.ru> (Киселева Т.П., Хруцкая Е.В., 2007).

Данная работа подводит итог наблюдениям спутников Сатурна с матрицей ST-6. В настоящее время при наблюдениях используется новая ПЗС-матрица FLI PROLine 09000 (12'×12', 3056×3056 px).

Наблюдения

Наблюдения с матрицей ST-6 производились сериями по 10 ПЗС-кадров в каждой серии с экспозициями 30-60 секунд. Каждый ПЗС-кадр измерялся и обрабатывался отдельно, результаты редукиции усреднялись по сериям. Угловое поле 26-дюймового реф-

рактора с ПЗС-камерой ST6 составляет 172×125 дуговых секунд, так что не более 2-х, 3-х спутников можно было измерять одновременно. При этом звезды, которые можно было бы использовать как опорные для астрометрической редукции, как правило, не получаются в ПЗС-кадрах. В период наблюдений 1995-2003 гг. в конце каждой серии ПЗС-кадров производились наблюдения следов спутников с целью определения ориентировки осей камеры в сферической системе координат.

Зенитные расстояния системы Сатурна в различные периоды наблюдений заключались в пределах от 60 до 35 градусов. Часовые углы – в пределах 1 часа от меридиана.

Управление телескопом и процессом наблюдений в настоящее время автоматизировано (Измайлов И.С. и др., 2004). Фиксация времени производится по часам управляющего компьютера с проверкой по сигналам точного времени (по шести точкам) с точностью до 0.1 сек. На матрице установлены сине-желтые фильтры, устанавливающие оптимальный режим спектрального пропускания (телескоп плюс камера) в полосе около 5500 Å.

Астрометрическая редукция наблюдений

Измерение ПЗС-изображений и определение их центров производилось согласно методике, разработанной И.С. Измайловым (Измайлов И.С. и др., 1998). Определялись матричные координаты изображений с учетом градиента фона от яркой планеты. Далее выполнялась астрометрическая редукция измерений

В 1995-2003 гг. для астрометрической редукции ПЗС наблюдений использовался метод "след-масштаб", не использующий координат опорных звезд для редукции (Kiselev A.A., 1993), который, однако, оказался недостаточно эффективным при обработке ПЗС-наблюдений ввиду малой точности определения угла ориентировки с помощью следов и масштаба в малых полях ПЗС. Все наблюдения с помощью ПЗС, выполненные с 1995 по 2003 гг., были исправлены за ошибки масштаба и ориентировки (Киселева Т.П., 2004).

В последующие годы астрометрическая редукция измерений ПЗС-кадров выполнялась новым методом, разработанным И.С. Измайловым, использующим наблюдения в каждую ночь контрольных звезд из космического каталога Tycho-2, расположенных по небу в непосредственной близости от наблюдаемых объектов. Эта методика подробно описана в работе (Киселева Т.П., Измайлов И.С. и др., 2004).

Появление высокоточных космических каталогов, таким образом, позволило разрешить проблему ориентировки малых полей ПЗС-кадров.

Результаты наблюдений 2004-2007 гг. – относительные координаты спутников ($S_i - S_j$) $\Delta X_{ij} = \Delta \alpha \cos \delta$, $\Delta Y_{ij} = \Delta \delta$ и $(O-C)_{\Delta X}$, $(O-C)_{\Delta Y}$ соответствующих пар спутников Сатурна в системе экватора и равноденствия J2000.0 (средние по сериям ПЗС-кадров) приводятся в таблице 1. Каждое наблюдение представляет собой среднее по наблюдениям в одной ПЗС-серии (10 или более ПЗС-кадров в каждой серии).

Внутренние ошибки наблюдений, вычисленные по сходимости результатов внутри каждой серии, составили 0.014" по обеим координатам (для среднего по серии).

Таблица 1. Относительные топоцентрические координаты спутников Сатурна в системе экватора и равноденствия J2000.0

S_i	S_j	Дата и момент наблюдений (UTC)		ΔX_{ij}	ΔY_{ij}	$(O-C)_{\Delta X}$	$(O-C)_{\Delta Y}$
				arcsec		arcsec	
8	6	2004	03 04	18 50 30.3	31.478	75.789	0.009
3	5	2004	03 09	17 49 45.2	44.667	13.687	-0.016
5	7	2004	03 09	18 06 37.3	139.112	35.341	-0.247
							0.340

5	4	2004	03	13	16	56	47.0	2.394	28.517	0.045	0.023
3	4	2004	03	13	16	56	47.0	12.933	1.726	-0.083	-0.018
3	5	2004	03	13	16	56	47.0	10.539	-26.791	-0.052	-0.042
6	4	2004	03	28	18	09	05.4	126.484	-13.875	-0.026	0.046
5	6	2004	12	26	23	49	24.0	-144.260	-4.278	-0.087	0.218
4	5	2005	2	21	20	53	12.0	-44.740	18.035	0.037	0.177
8	5	2005	2	21	20	53	12.0	-61.600	-55.679	0.005	0.027
6	5	2005	2	21	20	53	12.0	-131.630	-35.766	-0.035	0.042
8	4	2005	2	21	20	53	12.0	-16.850	-73.715	-0.023	-0.151
6	4	2005	2	21	20	53	12.0	-86.890	-53.802	-0.076	-0.135
6	8	2005	2	21	20	53	12.0	-70.030	19.913	-0.033	0.015
8	6	2005	2	24	19	40	34.0	-5.830	-6.606	-0.003	0.006
4	1	2005	2	24	20	2	43.0	-1.090	-21.880	0.044	0.216
5	1	2005	2	24	20	2	43.0	-36.430	18.589	0.034	0.243
5	4	2005	2	24	20	2	43.0	-35.340	40.469	-0.009	0.026
7	6	2005	3	9	19	32	26.0	10.570	-32.514	0.238	-0.057
5	4	2005	3	15	19	14	30.0	-21.780	-6.444	-0.025	-0.023
7	6	2005	3	16	18	48	25.0	35.860	-46.927	-0.062	0.382
4	3	2005	3	20	19	8	12.0	-10.100	17.601	-0.011	-0.027
6	3	2005	3	20	19	8	12.0	-20.330	76.881	-0.058	-0.000
6	4	2005	3	20	19	8	12.0	-10.220	59.280	-0.038	0.026
4	5	2005	3	23	19	43	10.0	-4.060	-29.677	0.019	-0.003
7	5	2005	3	23	19	43	10.0	-66.870	37.916	-0.048	-0.199
6	5	2005	3	23	19	43	10.0	-133.780	-40.452	-0.140	-0.127
7	4	2005	3	23	19	43	10.0	-62.800	67.593	-0.053	-0.195
6	4	2005	3	23	19	43	10.0	-129.710	-10.775	-0.141	-0.123
6	7	2005	3	23	19	43	10.0	-66.900	-78.368	-0.086	0.071
6	7	2005	3	23	19	56	16.0	-66.290	-78.456	-0.073	0.076
5	6	2005	3	30	17	19	18.0	-111.210	3.218	0.075	0.103
4	6	2005	3	30	17	19	18.0	-118.910	30.509	0.099	0.133
4	5	2005	3	30	17	19	18.0	-7.700	27.290	0.023	0.028
8	6	2005	4	3	17	23	43.0	-17.000	12.820	-0.000	0.030
5	3	2005	4	25	19	37	23.0	-12.100	-15.419	-0.041	-0.100
4	3	2005	4	25	19	37	23.0	-21.430	0.064	-0.016	-0.008
4	5	2005	4	25	19	37	23.0	-9.320	15.483	0.034	0.092
1	4	2005	12	14	1	25	35.0	14.484	-11.756	0.019	-0.224
2	4	2005	12	14	1	25	35.0	6.111	-12.446	0.014	-0.026
3	4	2005	12	14	1	25	35.0	7.659	-20.739	-0.002	-0.056
2	1	2005	12	14	1	25	35.0	-8.373	-0.689	-0.005	0.199
3	1	2005	12	14	1	25	35.0	-6.825	-8.983	-0.022	0.168
3	2	2005	12	14	1	25	35.0	1.548	-8.294	-0.016	-0.031
6	5	2005	12	14	2	29	29.0	97.496	29.387	-0.016	-0.106
4	7	2006	2	6	21	54	47.0	3.682	-63.048	0.173	0.244
2	7	2006	2	6	21	54	47.0	23.487	-73.405	0.184	0.229
2	4	2006	2	6	21	54	47.0	19.804	-10.357	0.008	-0.015
5	6	2006	3	12	20	17	19.0	70.040	39.212	-0.047	-0.020
3	6	2006	3	12	20	17	19.0	75.713	53.560	-0.025	-0.002
3	5	2006	3	12	20	17	19.0	5.672	14.348	0.021	0.018
8	7	2006	3	24	18	45	11.0	5.279	-54.903	-0.108	0.348
6	7	2006	3	24	18	45	11.0	76.892	20.789	-0.181	0.332
6	8	2006	3	24	18	45	11.0	71.613	75.692	-0.079	-0.015
6	7	2006	3	26	18	56	16.0	60.689	10.207	-0.215	0.244
8	7	2006	3	26	18	56	16.0	99.093	-9.769	-0.185	0.205
8	6	2006	3	26	18	56	16.0	38.405	-19.976	0.032	-0.039
4	5	2006	4	16	18	22	21.0	22.885	-22.335	0.034	-0.045
7	5	2007	1	13	0	52	21.0	23.318	43.691	0.010	-0.357
4	5	2007	1	13	0	52	21.0	40.646	-17.422	0.121	-0.127
4	7	2007	1	13	0	52	21.0	17.328	-61.114	0.111	0.229
8	7	2007	2	10	22	19	31.0	64.201	55.245	-0.226	0.052
8	7	2007	2	12	23	25	15.0	46.078	59.674	-0.307	-0.071
6	7	2007	2	12	23	25	15.0	112.847	15.285	-0.271	-0.109

6 8	2007	2 12	23 25	15.0	66.769	-44.389	0.041	-0.038
7 6	2007	3 27	20 54	20.0	106.384	-60.592	0.508	0.141
8 6	2007	3 27	20 54	20.0	119.439	22.461	0.089	0.045
8 7	2007	3 27	20 54	20.0	13.055	83.052	-0.420	-0.096
3 4	2007	4 1	19 14	24.0	11.860	-6.751	0.027	-0.032
7 5	2007	4 1	19 35	50.0	145.878	10.059	0.073	0.328
6 7	2007	4 5	18 24	57.0	84.543	-38.179	0.463	-0.124
5 7	2007	4 8	20 9	42.0	25.597	-43.103	0.328	0.338
4 3	2007	4 8	20 29	10.0	-1.879	-44.155	0.078	0.014
6 7	2007	4 15	19 2	46.0	88.486	4.257	-0.279	0.088
5 3	2007	4 15	19 18	22.0	36.220	2.653	0.037	-0.025

Анализ результатов наблюдений на основе сравнения с теорией движения спутников Сатурна

Результаты наблюдений сравнивались с эфемеридами, вычисленными на основе теории TASS 1.7 (Vienne A., Duriez L., 1995) с помощью средств вычисления эфемерид (Емельянов Н.В. и др., 2006), доступных в Интернете по адресу <http://lnfm1.sai.msu.ru/neb/nss/servicer.htm>.

На основании анализа (О-С) за весь период наблюдений (175 положений) получены средние значения (О-С) и среднеквадратические ошибки (root mean square - "s") одного положения пары спутников, вычисленного как среднее по периодам наблюдений. Эти данные приведены в таблице 2.

Таблица 2. Средние значения невязок наблюдений спутников Сатурна и их среднеквадратичные ошибки.

Периоды наблюдений	(O-C) _{ΔX} (arcsec)	(O-C) _{ΔY} (arcsec)	S _{ΔX} (arcsec)	S _{ΔY} (arcsec)	n	Спутники
1995 08 05 – 1995 08 21	-0.020	+0.125	±0.243	±0.190	10	3 – 6
1996 08 14 – 1996 10 16	-0.046	+0.005	0.135	0.160	20	3 – 8
1998 09 03 – 1998 11 18	+0.122	-0.060	0.271	0.208	8	3 – 7
1999 08 19 – 2000 02 20	+0.159	-0.001	0.204	0.111	17	1 – 7
2000 10 19 – 2001 03 07	+0.056	+0.003	0.181	0.111	9	2 – 7
2001 09 17 – 2002 03 24	-0.016	-0.033	0.191	0.216	14	3 – 8
2002 12 17 – 2003 03 26	+0.030	-0.057	0.238	0.171	10	3 – 7
2004 03 04 – 2004 03 28	-0.038	+0.063	0.098	0.063	7	3 – 8
2004 12 26 – 2005 04 25	-0.015	+0.025	0.073	0.133	31	3 – 8
2005 12 14 – 2006 04 16	-0.021	+0.070	0.101	0.171	20	3 – 8
2007 01 13 – 2007 04 15	+0.019	+0.015	0.262	0.176	16	3 – 8
1995 08 15 – 2007 04 15	+0.021 ±0.014	+0.014 ±0.012	0.181	0.155	162	1 – 8
1995 08 15 – 2007 04 15	+0.021 ±0.010	-0.005 ±0.013	0.101	0.129	105	1–6,8

При анализе результатов наблюдений на основе сравнения с теорией движения спутников TASS 1.7 были обнаружены систематические отклонения для седьмого спутника Сатурна – Гипериона. Эти отклонения проявились в средних значениях среднеквадратичных (О-С) в таблице 2: 0.181 и 0.155 угловых секунд, если рассматривать все спутники, включая 7-й. Если же вычислить ошибки наблюдений, не включая 7-й спутник, то величины ошибок существенно уменьшаются (0.101" и 0.129").

Результаты наблюдений Гипериона были выделены в отдельную таблицу 3, где приводятся относительные координаты Гипериона: $\Delta X_{ij} = \Delta \alpha \cos \delta$, $\Delta Y_{ij} = \Delta \delta$ и $(O-C)_{\Delta X}$, $(O-C)_{\Delta Y}$ в системе экватора и равноденствия J2000.0 (50 наблюдений).

Таблица 3. Результаты наблюдений Гипериона за период 1996-2007 гг.

S_i	S_j	Дата и момент наблюдений (UTC)			ΔX_{ij}	ΔY_{ij}	$(O-C)_{\Delta X}$	$(O-C)_{\Delta Y}$			
					arcsec		arcsec				
7	5	1996	08	14	23	19	40.0	+82.313	-13.634	-0.157	-0.102
7	8	1996	08	14	23	19	40.0	+55.997	+53.115	-0.246	-0.191
7	6	1996	08	19	23	08	36.0	-65.149	+24.618	-0.219	0.186
7	5	1996	08	19	23	08	36.0	+52.672	+16.802	-0.186	-0.045
7	6	1996	08	19	23	34	27.0	-65.950	+24.537	-0.114	0.117
7	5	1996	08	19	23	39	09.0	+52.592	+16.642	-0.008	-0.059
7	6	1996	08	25	01	12	48.0	-96.442	+5.843	0.173	-0.051
7	6	1996	10	11	21	55	28.0	-128.376	-15.303	0.222	-0.127
7	6	1997	09	05	00	28	37.0	+89.302	+28.331	-0.112	-0.131
7	6	1997	09	14	23	37	23.0	-32.895	+17.974	0.057	0.045
7	6	1997	09	14	23	47	24.0	-33.015	-17.974	0.080	0.019
7	6	1997	09	22	22	36	53.0	-93.348	-29.475	-0.516	0.171
7	4	1997	09	22	22	36	53.0	+54.525	-40.086	-0.464	-0.343
7	6	1998	11	17	20	01	51.0	-105.825	-50.125	0.320	-0.085
7	6	1998	11	18	18	15	49.0	-28.669	-53.093	0.558	0.180
7	6	1999	08	19	01	03	05.0	+5.978	+48.475	-0.074	0.099
7	5	1999	11	07	22	08	37.0	-53.213	+81.627	-0.406	0.166
7	6	2000	02	20	17	07	08.0	+21.880	+20.077	-0.502	0.258
7	6	2001	03	07	18	10	14.0	+56.036	+9.869	-0.321	-0.059
7	6	2001	09	17	01	38	58.0	+67.484	+3.653	-0.379	0.248
7	8	2002	03	08	17	05	12.0	+14.977	-79.990	0.005	0.364
7	8	2002	03	10	16	59	40.0	-31.876	-59.673	-0.198	0.004
7	6	2002	03	17	17	15	33.0	+51.021	-66.000	0.102	-0.196
7	5	2002	03	17	17	15	33.0	-47.213	-67.546	0.368	-0.100
7	6	2002	03	24	17	36	53.0	+56.833	-4.527	-0.210	0.319
7	4	2003	03	09	18	21	02.0	-93.774	+38.678	0.613	-0.243
7	5	2004	03	09	18	06	37.0	-139.112	-35.341	0.237	-0.340
7	6	2005	03	09	19	32	26.0	+10.576	-32.514	0.244	-0.057
7	6	2005	03	16	18	48	25.0	+35.864	-46.927	-0.058	0.382
7	5	2005	03	23	19	43	10.0	-66.873	+37.916	-0.051	-0.199
7	4	2005	03	23	19	43	10.0	-62.806	+67.523	-0.059	-0.265
7	6	2005	03	23	19	43	10.0	+66.908	+78.368	0.084	-0.071
7	6	2005	03	23	19	56	16.0	+66.296	+78.456	0.069	-0.076
7	4	2006	2	6	21	54	47.0	-3.680	63.048	-0.170	-0.244
7	2	2006	2	6	21	54	47.0	-23.490	73.405	-0.184	-0.229
7	8	2006	3	24	18	45	11.0	-5.280	54.903	0.108	-0.348
7	6	2006	3	24	18	45	11.0	-76.890	-20.789	0.180	-0.332
7	6	2006	3	26	18	56	16.0	-60.690	-10.207	0.213	-0.244
7	8	2006	3	26	18	56	16.0	-99.090	9.769	0.189	-0.205
7	5	2007	1	13	0	52	21.0	23.318	43.691	0.010	-0.357
7	4	2007	1	13	0	52	21.0	-17.328	61.114	-0.110	-0.229
7	8	2007	2	10	22	19	31.0	-64.201	-55.245	0.222	-0.052
7	8	2007	2	12	23	25	15.0	-46.078	-59.674	0.304	0.071
7	6	2007	2	12	23	25	15.0	-112.847	-15.285	0.269	0.109
7	6	2007	3	27	20	54	20.0	106.384	-60.592	0.508	0.141
7	8	2007	3	27	20	54	20.0	-13.055	-83.052	0.418	0.096
7	5	2007	4	1	19	35	50.0	145.878	10.059	0.073	0.328
7	6	2007	4	5	18	24	57.0	-84.543	38.179	-0.459	0.124
7	5	2007	4	8	20	9	42.0	-25.597	43.103	-0.326	-0.338
7	6	2007	4	15	19	2	46.0	-88.486	-4.257	0.279	-0.088

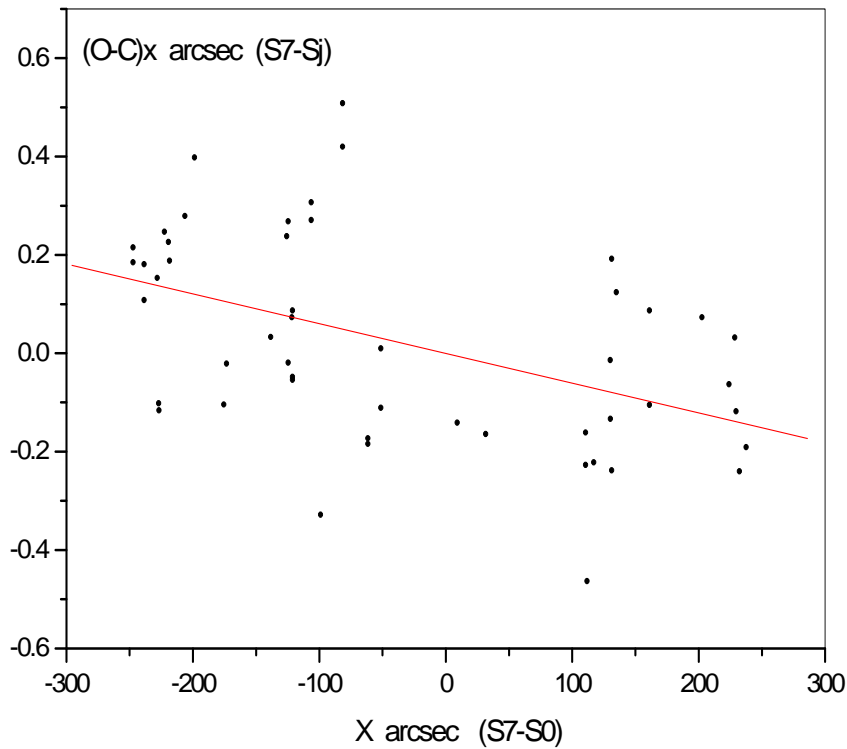


Рис. 1. Зависимость $(O-C)_x$ для Гипериона в зависимости от положения спутника в кронцентрической орбите.

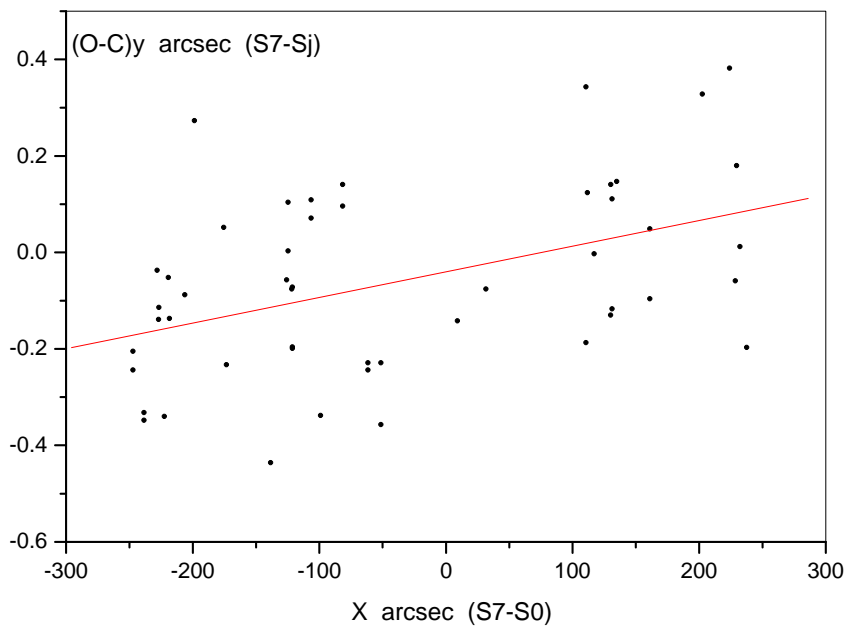


Рис. 2. Зависимость $(O-C)_y$ для Гипериона в зависимости от положения спутника в кронцентрической орбите.

Каждое относительное положение Гипериона было сопоставлено с теоретическим положением Гипериона относительно Сатурна. Зависимости $(O-C)$ по обеим координатам от положения Гипериона в его видимой кронцентрической орбите представлены на рисунках 1-2. Ход $(O-C)$ на этих рисунках свидетельствует о наличии особенностей его движения, не учитываемых современной теорией движения. Величины стандартно-

го уклонения для Гипериона вычисленные на основании этих кривых (внешняя точность положений) равны: 0.18" и 0.17" по двум координатам.

Заключение

По наблюдениям 1996-2007 гг. на 26-дюймовом рефракторе с ПЗС-камерой ST-6 получены высокоточные относительные координаты восьми главных спутников Сатурна. Сравнение наблюдений с теорией движения спутников показало согласие теории TASS 1.7 с результатами наблюдений в пределах 0.13". В (O-C) Гипериона обнаружен заметный ход, указывающий на неточности в его теории.

Литература

- И.С. Измайлов, А.А. Киселев, Т.П. Киселева, Е.В. Хруцкая.* Применение ПЗС-матрицы в пулковских программах наблюдений двойных и кратных звезд и спутников больших планет. // 1998, ПАЖ, т.24, № 10, с.772-779.
- Киселева Т.П., Измайлов И.С., Ховеричев М.Ю., Хруцкая Е.В.* Результаты ПЗС-наблюдений спутников Юпитера и Сатурна в 2004 г на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове. // Известия ГАО в Пулкове, 2004, № 217, с. 292-296).
- A. Viéne, L. Duriez,* 1995, A & A, v.297, p.
- Емельянов Н.В., Арло Ж.-Ю., Варфоломеев М.И. и др.* Создание теорий движения, эфемерид и баз данных для естественных спутников планет. // Космические исследования. 2006. Т. 44. № 2. С. 136-145.
- Kiselev A.A.* Satellite Astrometry with a long-focus astrograph. //Galactic and Solar System Optical Astrometry. Cambridge University Press. 1993. P. 325-328
- Т.П. Киселева.* Анализ систематических ошибок масштаба и ориентировки при фотографических и ПЗС-наблюдениях главных спутников Сатурна, полученных в Пулкове в 1995-2003 гг. на 26-дюймовом рефракторе. // Известия ГАО РАН, 2004, № 217, с. 286-291.
- Т.П. Киселева, О.А. Калининко, М.А. Можжаев.* Фотографические наблюдения спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе в 2001-2003 гг. в Пулкове. Определение координат Сатурна по наблюдениям его спутников. // Известия ГАО РАН, 2004, № 217, с. 297-305.
- Т.П. Киселева, Е.В. Хруцкая.* Астрометрические наблюдения тел Солнечной системы в Пулкове с 1898 по 2005 гг. База данных результатов наблюдений. // Астрономический вестник, 2007, т.41, № 1, с.77-85.
- Измайлов И.С., Виноградов В.С., Румянцев К.В. и др.* Автоматизация астрономических наблюдений на 26-дюймовом рефракторе. // Известия ГАО в Пулкове, 2004, № 217, с.536-542.

THE RESULTS OF CCD-OBSERVATIONS OF THE MAIN SATURNIAN SATELLITES WITH THE 26-INCH REFRACTOR AND ST-6 MATRIX AT PULKOVO OBSERVATORY IN 1995-2007

Kiseleva T.P., Izmailov I.S.

Summary

The results of CCD-observations with the 26-inch refractor at Pulkovo of the Main satellites of Saturn in 1995-2007 are presented. Over 170 relative positions of satellites in the sense of "satellites – satellites" were carried out with the inner accuracy about 0.014". Each positions is an average of 10 CCD-frames observations in the series. The observations were compared with the modern theory of satellites motions TASS 1.7. The disagreement between observations and the ephemerides does not exceed 0.13". The analysis of comparison has shown the RMS (root mean square of (O-C)_x, (O-C)_y) about 0.101" and 0.129" for 1-6 and 8-th satellites. As for Hyperion, the great deviations of (O-C) in dependence of its position in apparent cronocentric orbit were discovered.

The work was carried out with the financial support of RFBR grant № 07-02-00235-a.

РЕЗУЛЬТАТЫ АСТРОМЕТРИЧЕСКИХ ПЗС-НАБЛЮДЕНИЙ ГЛАВНЫХ СПУТНИКОВ САТУРНА И УРАНА НА 26-ДЮЙМОВОМ РЕФРАКТОРЕ И НОРМАЛЬНОМ АСТРОГРАФЕ ПУЛКОВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ В ПЕРИОД 2004-2007 гг.

Киселева Т.П., Измайлов И.С., Кияева О.В., Романенко Л.Г., Грошева Е.А., Калиниченко О.А., Можаяев М.А., Хруцкая Е.В., Бережной А.А., Дементьева А.А., Нарижная Н.В., Бобылев В.В., Лебедева С.В., Ховричев М.Ю.

Астрометрические ПЗС-наблюдения спутников Сатурна (S1 – S8) и Урана (U1-U4) были выполнены на 26-дюймовом рефракторе ($D/F = 0.65\text{м}/10.5\text{м}$, CCD ST6, FOV $3' \times 2'$) и Нормальном астрографе ($D/F = 0.33\text{м}/3.5\text{м}$, CCD S2C, FOV $18' \times 16'$). Астрометрическая редуциция ПЗС-кадров, полученных на Нормальном астрографе, выполнялась с привязкой к системе каталога UCAC2. Результаты наблюдений, проведенных на 26-дюймовом рефракторе, содержат только относительные координаты вида СПУТНИК-СПУТНИК. Определение ориентировки и масштаба ПЗС-кадров, снятых на 26-дюймовом рефракторе, осуществлялась с помощью относительно близких пар звезд из каталога Гусно-2. Величины (O-C) вычислялись с помощью сервиса “Natural satellites service”. Среднеквадратические ошибки полученных координат (СКО) по внутренней сходимости лежат в пределах 10–50 мсд, внешние СКО, вычисленные на основе (O-C), составляют 50–200 мсд в зависимости от условий наблюдений. Все результаты помещены в «Астрометрическую базу данных Пулковской обсерватории» (www.pulldb.ru). Данное исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 07-02-00235а).

Введение

Одним из важнейших аспектов изучения динамики спутников Сатурна и Урана является уточнение теорий их движения. Для эффективного решения этой задачи необходимы длительные высокоточные ряды астрометрических наблюдений, результатами которых являются как относительные положения спутников, так и их экваториальные координаты, отнесенные к современной опорной системе. В настоящее время такие наблюдения ведутся во многих обсерваториях мира (например, [1] и [2]). В последние несколько лет актуальность астрометрических наблюдений спутников Сатурна и Урана обусловлена необходимостью уточнять обстоятельства их взаимных покрытий и затмений [3].

На протяжении нескольких десятилетий такие наблюдения ведутся на 26-дюймовом рефракторе и Нормальном астрографе Пулковской обсерватории (например, [4]). В данной работе представлены результаты астрометрических ПЗС-наблюдений главных спутников Сатурна и Урана, выполненных на этих инструментах в период с 2004 по 2007 г.

Наблюдения и обработка данных

Результаты данной работы основаны на ПЗС-кадрах с изображениями спутников Сатурна (S1 – S8), полученных на 26-дюймовом рефракторе (26-inchR) в период с 2004 г. по 2007 г., и ПЗС-кадрах, снятых на Нормальном астрографе (NA) в 2007г. Представляемые относительные координаты спутников Урана (U1 – U8) являются результатом обработки ПЗС-кадров, снятых на 26-inchR в 2007 г.

Всего было получено более 70-ти относительных положений «СПУТНИК – СПУТНИК» для системы Сатурна, 7 относительных положений для системы Урана и 27 отдельных положений спутников Сатурна в системе каталога UCAC2 [5]. Распределение числа наблюдений по времени для спутников Сатурна представлено на рис. 1.

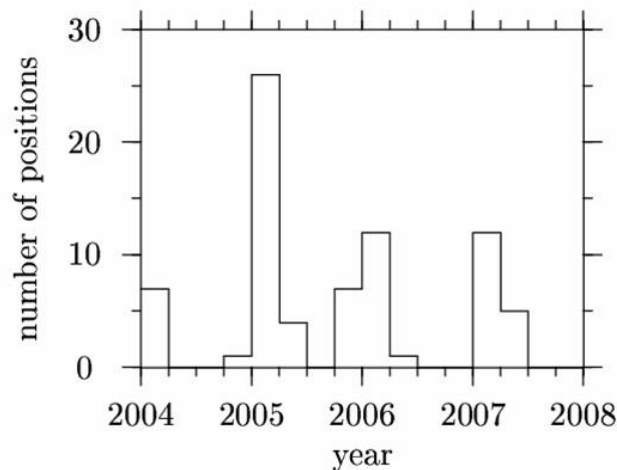


Рис. 1. Распределение числа наблюдений спутников Сатурна по времени.

1.1. Обработка ПЗС-кадров, полученных с помощью 26-inchR

В период 2004–2007 наблюдения выполнялись с помощью камеры ST6 с рабочим полем $3' \times 2'$ сериями по 10 кадров для Сатурна и 100 кадров для Урана с экспозициями 1–100 секунд. При таких малых размерах поля системы “телескоп плюс матрица” невозможно было получить достаточного для астрометрической редукиции числа опорных звезд, чтобы получить экваториальные координаты спутников. Поэтому определялись относительные координаты спутников вида «СПУТНИК – СПУТНИК» путем измерений расстояний в парах спутников и перевода их в относительные координаты на небесной сфере. Параметры астрометрической редукиции – масштаб и ориентировка поля ПЗС-матрицы ST6 определялись из наблюдений калибровочных звезд из каталога TYCHO-2 [6] с учетом дифференциальной рефракции, а также с учетом ориентировки, зависящей от часового угла и склонения [7]. Калибровочные пары звезд наблюдались несколько раз в ночь параллельно с наблюдениями спутников Сатурна и Урана. В качестве PSF для аппроксимации изображений спутников использовался профиль Лоренца. Для учета влияния градиента фона, обусловленного рассеянным светом от яркой планеты, применялись специальные алгоритмы фильтрации.

1.2. Обработка ПЗС-кадров, полученных с помощью NA

На этом инструменте установлена ПЗС-камера S2C (рабочее поле: $18' \times 16'$, масштаб: 900 мсд/пиксель). Как правило, кроме изображений планеты и ее спутников на ПЗС-кадрах содержатся изображения в среднем 15–40 достаточно ярких (до 14 mag) опорных звезд из каталога UCAC2. Это дало возможность выполнить стандартную астрометрическую редукицию данных ПЗС-кадров методом шести постоянных и получить как экваториальные координаты спутников Сатурна в системе каталога UCAC2, так и относительные положения вида «СПУТНИК – СПУТНИК». Наблюдения осуществлялись сериями по 10 кадров, и в качестве окончательных приводятся средние положения спутников для среднего момента наблюдений.

Обработка ПЗС-кадров с изображениями спутников Сатурна, полученных на NA, была затруднена наличием ореола от планеты. В результате на изображениях присутствует значительный градиент фона. Это приводит к систематическим ошибкам при определении пиксельных координат звезд и спутников. По этой причине были выполнены специальные процедуры, позволяющие учесть влияние градиента фона на координаты объектов.

Существуют различные методики, позволяющие учитывать систематические ошибки, вызванные ореолом от яркой планеты. В данной работе сопоставлялись две из них: медианная фильтрация и вычитание фона под изображением путем локальной ап-

проксимации фона за пределами апертуры, в пределах которой оценивались параметры PSF.

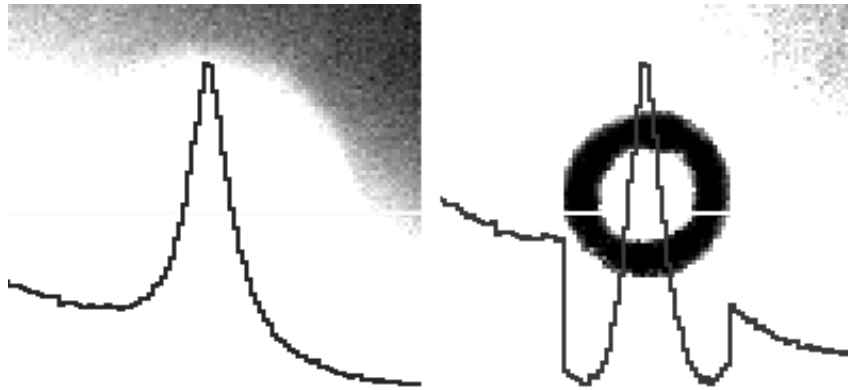


Рис. 2. Центральные профили изображения Титана. *Слева* – до учета влияния градиента фона, *справа* – после учета фона методом локальной аппроксимации.

Для медианной фильтрации использовалось окно размером 21x21 пиксель при апертуре 8 пикселей. При локальной аппроксимации фона использовались отсчеты на пикселях, лежащих в кольце с внутренним радиусом 10 пикселей и внешним радиусом 18 пикселей. Фон рассматривался как поверхность второго порядка. Параметры аппроксимирующей функции оценивались методом наименьших квадратов. Данные параметры позволяли учесть влияние фона для каждого пикселя в пределах апертуры (под изображением звезды или спутника). Пример учета влияния фона методом локальной аппроксимации представлен на рис. 2.

Сравнение показало, что различие координат спутников при использовании двух рассмотренных методик учета влияния градиента фона лежит в пределах 10 мсд. Окончательно, для вычисления пиксельных координат опорных звезд и спутников использовалась методика локальной аппроксимации фона с последующим вписыванием профиля Лоренца.

1.3. Оценки точности определения координат спутников по внутренней сходимости

Данные СКО определялись из сопоставления отдельных положений спутников в пределах серий ПЗС-кадров. В результате сравнения положений, полученных при обработке отдельных кадров, СКО для 26-inchR в среднем составили 10–50 мсд. Для экваториальных координат спутников Сатурна S6, S7, S8, полученных на основе данных наблюдений, выполненных на NA, СКО по внутренней сходимости лежат в пределах 30–70 мсд, для относительных координат вида СПУТНИК-СПУТНИК – 25–65 мсд.

2. Анализ величин (О–С)

Для вычисления величин (О–С) использовался web-ресурс “Natural satellites service” [8]. Автоматизация процесса вычислений стала возможной благодаря использованию специального приложения, формирующего необходимые get-запросы к сервису. При вычислении относительных координат вида СПУТНИК-СПУТНИК использовалась теория TASS1.7 [9], [10]. Экваториальные координаты спутников рассчитывались с помощью двух комбинаций теорий движения для Сатурна и спутников DE405+TASS1.7 и INPOP06+TASS1.7.

Таблица 1. Средние значения (O-C) для относительных координат спутников Сатурна вида СПУТНИК-СПУТНИК по данным наблюдений, выполненных на 26-дюймовом рефракторе (26-inchR) и на Нормальном астрографе (NA). Все величины приводятся в миллисекундах дуги (мсд). σ_x, σ_y – СКО средних значений (O-C).

Sn-Sm	(O-C) _x	(O-C) _y	σ_x	σ_y
26-inchR				
S4-S3	18	14	20	12
S5-S3	2	-17	18	24
S5-S4	-29	-11	14	29
S6-S4	-76	-63	21	41
S6-S5	-22	-82	33	40
S7-S4	-112	-223	35	15
S7-S5	-9	-181	94	130
S7-S6	132	18	82	65
S8-S6	25	24	15	16
S8-S7	-249	88	53	84
NA				
S7-S6	-78	-81	83	69
S8-S6	104	27	32	14
S8-S7	358	141	58	139

Таблица 2. Средние значения (O-C) для относительных координат спутников Урана вида СПУТНИК-СПУТНИК по данным наблюдений, выполненных на 26-дюймовом рефракторе.

	GUST86		GUST06	
	(O-C) _x	(O-C) _y	(O-C) _x	(O-C) _y
U4-(U1+U2)	332	-327	315	-312
U4-U3	-55	39	-71	12
U3-(U1+U2)	387	-369	387	-324
U3-U2	145	-69	130	-79
U4-U3	-35	400	-15	416

Таблица 3. Средние значения (O-C) для экваториальных координат спутников Сатурна по данным наблюдений, выполненных на Нормальном астрографе. (O-C) рассчитывались с помощью двух комбинаций теорий движения для Сатурна и спутников: DE405+TASS1.7 и INPOP06+TASS1.7. Все величины приводятся в миллисекундах дуги (мсд). $\sigma_{RA}, \sigma_{DEC}$ – СКО средних значений (O-C).

	DE405+TASS1.7			
	(O-C) _{RA}	(O-C) _{DEC}	σ_{RA}	σ_{DEC}
S6	108	-149	28	24
S7	31	-220	77	59
S8	234	-138	13	45
	INPOP+TASS1.7			
	(O-C) _{RA}	(O-C) _{DEC}	σ_{RA}	σ_{DEC}
S6	6	-81	31	26
S7	-59	-148	65	59
S8	132	-71	17	51

Относительные координаты спутников Урана вычислялись с помощью теорий GUST86, GUST06 [8]. Результаты вычислений приведены в таблицах 1–3.

3. Выводы

В рамках данной работы представлены высокоточные относительные (СПУТНИК-СПУТНИК) и экваториальные (в системе каталога UCAC2) координаты главных спутников Сатурна (S1-S8) и спутников Урана (U1-U4). Всего около 100 отдельных положений.

Внутренняя точность результатов наблюдений составила 10–50 мсд для 26-дюймового рефрактора, и 30–70 мсд для Нормального астрографа. Оценки точности координат спутников по внешней сходимости, полученные на основе анализа (O–C), лежат в пределах 20–90 мсд для 26-дюймового рефрактора и 30–100 мсд для Нормального астрографа.

Сопоставление (O–C) для экваториальных координат спутников Сатурна, вычисленных с использованием двух разных теорий движения Сатурна (DE405 [11] и INPOP06 [12]), показывает, что для данного набора данных положения спутников Сатурна, рассчитанные на основе теории INPOP06, находятся в лучшем согласии с наблюдениями, чем те же координаты, вычисленные с использованием DE405.

Анализ показал, что для всех пар спутников Сатурна кроме тех, в которые входит Гиперион (S7), средние значения (O–C) для относительных координат по модулю меньше 50–100 мсд. Это говорит о хорошем согласии между теориями движений спутников Сатурна с данным набором данных наблюдений. (O–C) для экваториальных координат вполне соответствуют данному выводу.

Наиболее значимы (O–C) для спутника Гиперион (S7). Данные рис. 3 демонстрируют наличие зависимости (O–C) для S7 от положения спутника относительно Сатурна. Зависимость (O–C) от фазы взаимного орбитального периода, представленная на рис. 4, подтверждает наличие отклонений результатов наблюдений от данных, вычисленных на основе теории движения TASS1.7. Данные рис. 4 позволяют говорить о наличии периодического характера изменений (O–C).

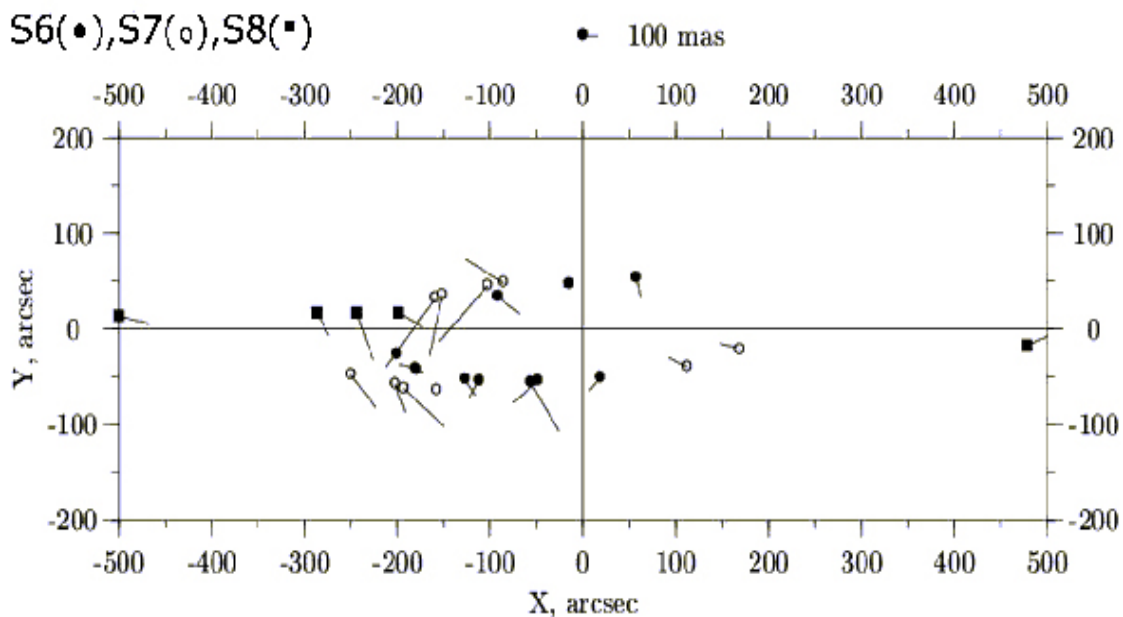


Рис. 3. Векторы (O–C) для отдельных положений спутников Сатурна, полученные по результатам наблюдений, выполненных на Нормальном астрографе.

По осям отложены координаты спутников относительно Сатурна

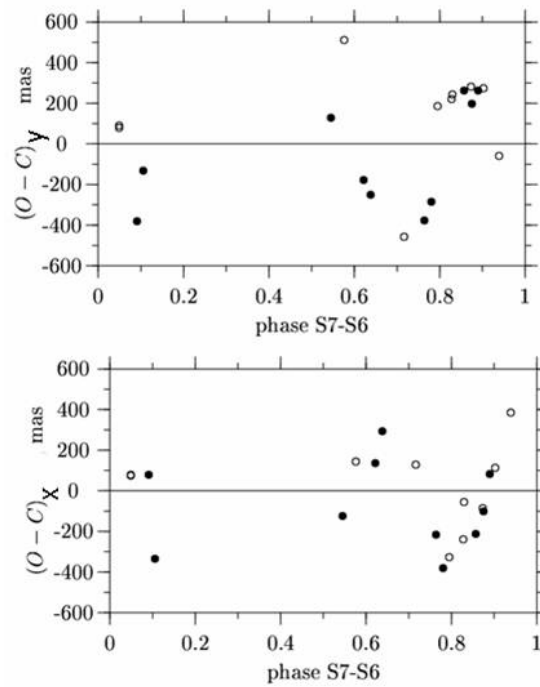


Рис. 4. Зависимость (O–C) для пары спутников Сатурна Гиперион-Титан (S7-S6) от фазы, вычисленной исходя из периода взаимного обращения этих спутников (• – наблюдения Нормального астрографа, ° – 26-дюймового рефрактора).

Литература

1. *R.C. Qiao, K.X. Shen, D. Harper, J.R. Liu.* 2004. 1997–2000 CCD astrometric observations of Saturn’s satellites and comparison with theories. *A&A* 422, 377–379.
2. *Izmailov I.S., Korotkii S.A., Ereshko M.V., Stepura A.V.* 2007, Astrometric Observations of the Second, Third, and Fourth Satellites of Uranus. *Solar System Research*, 41, 42.
3. *Arlot J.-E., Thuillot W.* 2008. Predictions of the events of the satellites of Saturn during the 2009 equinox. *A&A*, 485, 293.
4. *Киселева Т.П., Калиниченко О.А.* 2002. Результаты фотографических наблюдений спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове в 1999-2001 гг. *Известия ГАО*, 216, 185–190.
5. *Zacharias, N. et al.* 2004. The Second US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC2). *AJ*, 127, 3043.
6. *Høg, E. et al.* 2000. Letter to the Editor - The Tycho-2 catalogue of the 2.5 million brightest stars. *A&A*, 363, 385.
7. *Киселева Т.П., Измайлов И.С., Ховричев М.Ю., Хруцкая Е.В.* Результаты ПЗС-наблюдений спутников Юпитера и Сатурна в 2004 г на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове. 2004. *Известия ГАО*, 2004, 217, 292-296.
8. *Emel’yanov N.V., Arlot J.-E.* 2008. The natural satellites ephemerides facility MULTI-SAT. *A&A*, 487, 759.
9. *Vienne, A.; Duriez, L.* 1995. TASS1.6: Ephemerides of the major Saturnian satellites. *A&A*, 297, 588.
10. *Vienne, A.; Duriez, L.* 1997. Theory of motion and ephemerides of Hyperion. *A&A*, 324, 366.
11. *Standish E.M. et al.* 1998. JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, JPL IOM 312. F-98-048.
12. *Fienga A. et al.* 2008. INPOP06: a new numerical planetary ephemeris. *A&A*, 477, 315

THE RESULTS OF CCD ASTROMETRIC OBSERVATIONS OF THE SATURNIAN AND URANIAN SATELLITES WITH 26-INCH REFRACTOR AND NORMAL ASTROGRAPH OF THE PULKOVO OBSERVATORY DURING THE PERIOD FROM 2004 TO 2007

Kiseleva T.P., Izmailov I.S., Kiyayeva O.V., Romanenko L.G., Grosheva E.A., Kalinichenko O.A., Mozhaev M.A., Khrutskaya E.V., Berezhnoj A.A., Dement'eva A.A., Narizhnaya N.V., Bobilev V.V., Lebedeva S.V., Khovritchev M.Yu.

Summary

The observations of the Saturnian (1 to 8) and Uranian (1 to 4) satellites were made with 26-inch Refractor ($D/F = 0.65\text{m}/10.5\text{m}$, CCD ST6, 3×2 arcmin) and NA (Normal astrograph, $D/F = 0.33\text{m}/3.5\text{m}$, CCD S2C, 18×16 arcmin). The NA CCD images were processed with the reference stars of the UCAC2. The 26-inch Refractor CCD images were calibrated using close pair of stars of the Tycho-2 and only relative positions "satellite – satellite" were determined. The observational data were compared with modern theories of satellites motions. The (O–C) values were calculated via "Natural satellites service". The internal standard errors of observations of satellites were estimated as 10 to 50 mas, but external standard errors of satellites positions determined by the comparison with modern ephemerides are about of 50 to 200 mas in dependence of satellites and conditions of observations. All results are available via Pulkovo astrometric databases (www.pulldb.ru). This work was supported by RFBR grant 07-02-00235a.

РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ САТУРНА И ЕГО СПУТНИКОВ НА 26-ДЮЙМОВОМ РЕФРАКТОРЕ ПУЛКОВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ В 2005-2007 гг.

Киселева Т.П., Калиниченко О.А., Васильева Т.А.

В результате фотографических наблюдений 2005-2007 гг. на 26-дюймовом рефракторе определены экваториальные координаты спутников и самого Сатурна, а также относительные координаты спутников в виде взаимных разностей их координат («спутник минус спутник»). Координаты планеты определены по наблюдениям спутников, без измерения изображений планеты на фотографиях. Анализ точности результатов на основе сравнения с современными теориями движения Сатурна и спутников дает значения случайных ошибок результатов наблюдений для Сатурна 0.07"–0.12", для спутников 0.10"–0.16". Внутренняя точность результатов наблюдений спутников составила 0.05". Средние значения (О-С) для Сатурна и спутников в экваториальных координатах показали наличие систематического отклонения величиной 0.12" по прямому восхождению, указывающего на неточность теории движения Сатурна.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 07-02-00235-а.

Введение

Данная работа представляет завершающий этап пулковской программы фотографических наблюдений главных спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе, которая продолжалась с 1972 г. в течение 35 лет. Целью наблюдений было определение высокоточных абсолютных и относительных координат спутников Сатурна, необходимых для уточнения теории движения системы спутников Сатурна. Наблюдались следующие спутники: Мимас, Энцелад, Тэфия, Диона, Рея, Титан и Япет. Наблюдения Гипериона (14 зв. вел.) были практически невозможны на 26-дюймовом рефракторе из-за отсутствия фотопластинок высокой чувствительности и необходимости применения длительных экспозиций. В настоящее время, начиная с 2007 г., программа наблюдений системы Сатурна продолжается на 26-дюймовом рефракторе только с использованием ПЗС-приемников, так как фотографические пластинки закончились, и, по-видимому, навсегда.

Результаты предыдущих наблюдений 1995-2005 гг. и описание методики наблюдений и обработки опубликованы в работах [1-6].

Наблюдения

Последний этап фотографических наблюдений спутников Сатурна охватывает период с декабря 2005 г. по апрель 2007 г. За этот период на 26-дюймовом рефракторе получено 36 фотопластинок с системой Сатурна. Применялись пластинки NP-27 размером 13×18 см с экспозициями длительностью в 2 минуты. На каждой пластинке получали по 6 экспозиций системы Сатурна и два следа спутников – к западу и к востоку от основной цепочки экспозиций – в соответствии с методом обработки «след – масштаб», применяющимся при наблюдениях спутников планет на 26-дюймовом рефракторе и не требующим опорных звезд для редукации [7]. На фотопластинках получались передержанные изображения Сатурна и изображения спутников 1-8 (кроме 7-го) по качеству такие же, как изображения звезд, т.е. пригодные для точных измерений. В кассетах перед фотопластинками постоянно находился светофильтр ЖС-18, который вместе с фотовизуальным объективом 26-дюймового рефрактора обеспечивает фотометрическую систему, соответствующую полосе пропускания 5500 Å. Фильтры для ослабления пла-

неты не применялись, потому что, как показал опыт, даже при наличии ослабленного изображения Сатурна при определении центра фигуры планеты по измерениям возникает систематическая ошибка порядка нескольких десятых дуговой секунды [8].

Результаты наблюдений

Измерения фотопластинок производились на полуавтоматической измерительной машине Аскорекорд. Измерялись изображения спутников Сатурна, следов и опорных звезд. Обработка измерений и астрометрическая редукция производилась двумя методами: «след-масштаб», если опорных звезд на пластинках было мало, и методом шести постоянных, если опорных звезд было не менее четырех и, если они довольно симметрично распределялись относительно объектов. В качестве опорных каталогов использовались ТУСНО-2 и УСАС-2. Опорные звезды использовались до 12 зв. величины. Для редукции использовались программы О.В. Кияевой (метод «след-масштаб») и И.С. Измайлова (редукция по звездам методом шести постоянных) [9].

В результате измерений и астрометрической редукции определялись астрометрические экваториальные координаты спутников Сатурна в системе опорных каталогов ТУСНО-2, УСАС-2 на эпоху экватора и равноденствия J2000.0, а также взаимные расстояния между спутниками S_i и S_j в различных комбинациях пар спутников: $X_{ij} = \Delta\alpha_{ij} \cos\delta$ и $Y_{ij} = \Delta\delta_{ij}$. В результате редукции методом «след-масштаб» разности координат спутников получались в системе истинного экватора и равноденствия на эпоху даты.

Координаты Сатурна определялись по спутникам без измерений изображений планеты на фотографиях с использованием эфемеридных значений расстояний между спутниками и Юпитером, вычисленных по теории TASS 1.7 [10] с помощью средств вычисления эфемерид [11], доступных в интернете по адресу <http://lnfm1.sai.msu.ru/neb/nss/servicer.htm>. Методика определения координат Сатурна по спутникам описана в работе [12].

Результаты наблюдений приведены в таблицах 1 и 2. В таблице 1 приводятся топоцентрические экваториальные (прямые восхождения и склонения) координаты Сатурна и 1-6-го, 8-го спутников в системе опорного каталога ТУСНО-2 на эпоху экватора и равноденствия J2000.0. Координаты Сатурна приводятся как средние из определенных его координат по 5-ти или 6-ти спутникам на каждой пластинке с 6-ю экспозициями системы Сатурна в таблице 1 на моменты наблюдений по всемирному времени (UTC) в виде: год, месяц, число, дробь суток – даются, кроме прямых восхождений и склонений, также (O-C), вычисленные согласно теории TASS 1.7 с помощью средств вычисления эфемерид Н.В. Емельянова [11].

В таблице 2 приводятся разности координат в парах спутников $S_i - S_j$ в виде $X_{ij} = \Delta\alpha_{ij} \cos\delta$ и $Y_{ij} = \Delta\delta_{ij}$ на момент наблюдений (UTC) и соответствующие (O-C), вычисленные с теми же средствами, как и (O-C) в таблице 1. Кроме того в этой таблице в последнем столбце приводится указание на эпоху экватора и равноденствия, к которым относятся данные в таблице 2. В этом столбце 1 обозначает истинный экватор и равноденствие на эпоху даты наблюдений, 2 – экватор и равноденствие на эпоху J2000.0. В первом случае редукция производилась методом «след-масштаб», во втором – по опорным звездам.

Окончательные результаты в таблицах представляют собой средние результаты по всем 6-ти экспозициям на каждой пластинке.

Таблица 1. Список звездных координат Сатурна и спутников. Топоцентрические координаты в системе экватора и равноденствия J2000.0. Эфемериды TASS1.7.

Дата и момент наблюдений (UTC)	RA (h, m, s)	Decl ($^{\circ}$, $'$, $''$)	$(O-C)_{\alpha} \cos \delta$ (a r c s e c)	$(O-C)_{\delta}$
Сатурн				
2005 12 14.019741	08 53 38.678	18 05 12.683	0.053	-0.005
2006 01 17.862792	08 44 48.557	18 45 12.006	0.158	0.058
2006 02 27.736738	08 32 04.461	19 36 10.342	0.206	-0.038
2006 03 01.850498	08 31 33.418	19 38 07.828	0.182	-0.012
2006 03 01.874433	08 31 33.064	19 38 09.033	0.104	-0.096
2006 03 15.799963	08 28 48.797	19 48 24.334	-0.041	-0.033
2007 01 24.982353	09 42 34.285	15 05 41.494	0.332	-0.097
2007 02 08.929997	09 37 59.065	15 30 31.070	-0.048	0.099
2007 02 08.948365	09 37 58.708	15 30 32.820	-0.082	0.003
2007 03 27.788896	09 25 32.111	16 32 10.936	0.217	-0.111
2007 03 29.835627	09 25 13.296	16 33 35.688	0.161	-0.085
2007 03 29.888784	09 25 12.816	16 33 37.713	0.130	-0.130
2007 04 09.803797	09 24 00.844	16 38 48.678	0.205	-0.106
Мимас				
2005 12 14.019741	08 53 36.572	18 05 11.587	-0.058	-0.228
2006 03 01.850498	08 31 35.438	19 38 15.640	0.047	0.314
Энцелад				
2005 12 14.019741	08 53 36.003	18 05 10.677	0.036	0.080
2006 01 17.862792	08 44 50.909	18 45 08.320	0.080	-0.030
2006 03 15.799963	08 28 46.111	19 48 22.770	-0.110	0.050
2007 01 24.982353	09 42 31.734	15 05 41.008	0.238	0.051
2007 03 27.788896	09 25 29.638	16 32 03.376	0.207	-0.115
2007 04 09.803797	09 24 03.280	16 38 56.286	0.210	-0.033
Тэффия				
2005 12 14.019741	08 53 35.818	18 05 01.393	0.103	0.039
2006 01 17.862792	08 44 51.875	18 45 21.350	0.270	0.060
2006 02 27.736738	08 32 03.649	19 35 52.972	0.170	-0.136
2006 03 01.850498	08 31 35.131	19 37 55.436	0.233	-0.002
2006 03 01.850498	08 31 35.131	19 37 55.436	0.233	-0.002
2006 03 01.874433	08 31 35.007	19 37 57.647	0.111	-0.077
2006 03 15.799963	08 28 49.365	19 48 41.570	-0.013	0.076
2007 02 08.929997	09 38 02.289	15 30 40.226	-0.095	0.247
2007 02 08.948365	09 38 01.864	15 30 42.572	-0.082	0.120
2007 03 27.788896	09 25 34.538	16 32 05.602	0.215	-0.046
2007 03 29.835627	09 25 16.516	16 33 37.852	0.202	-0.025
2007 04 09.803797	09 24 01.375	16 38 36.448	0.223	0.008
Диона				
2005 12 14.019741	08 53 35.815	18 05 22.513	0.032	0.088
2006 01 17.862792	08 44 52.114	18 45 29.950	0.180	0.160
2006 02 27.736738	08 32 08.695	19 36 22.980	0.252	0.068
2006 03 01.850498	08 31 35.262	19 37 51.046	0.355	-0.130
2006 03 01.874433	08 31 35.108	19 37 53.283	0.020	-0.031
2006 03 15.799963	08 28 52.545	19 48 19.352	-0.071	-0.082
2007 01 24.982353	09 42 38.552	15 05 50.457	0.302	-0.097
2007 02 08.929997	09 37 54.701	15 30 25.262	-0.041	0.082
2007 02 08.948365	09 37 54.336	15 30 26.398	-0.102	0.026
2007 03 27.788896	09 25 29.008	16 31 55.120	0.278	-0.132
2007 03 29.835627	09 25 10.448	16 33 43.198	0.187	-0.115
2007 03 29.888784	09 25 9.606	16 33 43.272	0.100	-0.148
2007 04 09.803797	09 23 57.891	16 38 55.466	0.194	-0.025
Рея				
2005 12 14.019741	08 53 44.682	18 05 23.643	0.075	0.115

2006 01 17.862792	08 44 47.738	18 44 42.670	0.170	-0.180
2006 02 27.736738	08 32 05.828	19 35 43.730	0.164	-0.091
2006 03 01.850498	08 31 33.279	19 38 36.960	0.127	-0.032
2006 03 01.874433	08 31 32.722	19 38 37.867	0.090	-0.062
2006 03 15.799963	08 28 45.454	19 48 43.436	-0.000	-0.115
2007 01 24.982353	09 42 39.898	15 05 57.442	0.300	-0.155
2007 02 08.929997	09 37 54.798	15 30 39.364	-0.095	0.068
2007 02 08.948365	09 37 54.330	15 30 40.622	-0.153	0.026
2007 03 27.788896	09 25 32.275	16 31 49.056	0.210	-0.185
2007 03 29.835627	09 25 14.856	16 33 59.326	0.202	-0.083
2007 03 29.888784	09 25 13.952	16 34 01.170	0.184	-0.028
2007 04 09.803797	09 23 57.046	16 38 26.328	0.112	-0.133
Титан				
2005 12 14.019741	08 53 51.629	18 05 54.345	0.069	-0.016
2006 01 17.862792	08 44 47.881	18 46 14.560	0.080	0.280
2006 01 17.862792	08 44 47.881	18 46 14.560	0.080	0.280
2006 03 01.850498	08 31 47.520	19 38 11.036	0.188	-0.196
2006 03 01.874433	08 31 47.200	19 38 13.123	0.164	-0.057
2006 03 15.799963	08 28 56.726	19 47 37.952	0.036	-0.005
2007 01 24.982353	09 42 21.412	15 05 03.257	0.293	-0.180
2007 02 08.929997	09 37 45.035	15 30 07.742	-0.054	0.033
2007 02 08.948365	09 37 44.685	15 30 09.142	-0.040	-0.128
2007 03 27.788896	09 25 19.205	16 32 06.258	0.186	-0.037
2007 03 29.835627	09 25 01.393	16 32 52.074	0.043	-0.117
2007 03 29.888784	09 25 01.059	16 32 53.286	0.114	-0.251
2007 04 09.803797	09 23 59.947	16 39 36.546	0.165	-0.144
Япет				
2005 12 14.019741	08 53 08.786	18 05 23.490	0.113	-0.148
2006 02 27.736738	08 31 40.034	19 36 33.252	0.240	-0.037
2006 03 01.850498	08 31 03.658	19 38 21.436	0.145	-0.021
2006 03 01.874433	08 31 03.248	19 38 22.383	0.063	-0.254
2006 03 15.799963	08 28 12.003	19 47 38.262	-0.085	-0.128
2007 01 24.982353	09 41 54.155	15 06 01.287	0.320	-0.101
2007 02 08.929997	09 37 42.205	15 30 32.894	0.046	0.133
2007 02 08.948365	09 37 41.900	15 30 34.548	-0.034	-0.026
2007 03 27.788896	09 25 27.641	16 32 26.696	0.199	-0.151
2007 03 29.835627	09 25 02.314	16 33 52.474	0.433	-0.055
2007 03 29.888784	09 25 01.653	16 33 54.464	0.176	-0.152
2007 04 09.803797	09 23 25.012	16 39 00.892	0.322	-0.111

Таблица 2. Относительные топоцентрические координаты спутников Сатурна в смысле “спутник минус спутник: (Si-Sj)”.

Si	Sj	Дата	(UTC)	X= $\Delta\alpha\cos\delta$	Y= $\Delta\delta$	(O-C) _x	(O-C) _y	Ер
				arcsec	arcsec	arcsec		
3	6	2005 12	04.000072	172.438	13.692	-0.188	0.128	1
4	6	2005 12	04.000072	163.720	-19.296	0.032	-0.163	1
5	6	2005 12	04.000072	202.518	-21.925	-0.004	-0.181	1
8	6	2005 12	04.000072	173.673	29.248	-0.163	-0.179	1
8	3	2005 12	04.000072	1.235	15.556	0.024	-0.308	1
5	3	2005 12	04.000072	30.080	-35.617	0.184	-0.309	1
4	3	2005 12	04.000072	-8.718	-32.988	0.220	-0.291	1
8	4	2005 12	04.000072	9.953	48.544	-0.197	-0.016	1
8	5	2005 12	04.000072	-28.845	51.173	-0.158	0.001	1
5	4	2005 12	04.000072	38.798	-2.629	-0.038	-0.018	1
3	6	2005 12	04.018040	170.398	13.474	0.045	-0.110	1
4	6	2005 12	04.018040	166.635	-19.011	0.057	-0.378	1
5	6	2005 12	04.018040	205.082	-21.145	0.038	-0.235	1

8	5	2005	12	04.018040	-31.602	50.554	-0.047	-0.215	1
8	4	2005	12	04.018040	6.845	48.420	-0.067	-0.073	1
8	3	2005	12	04.018040	3.082	15.935	-0.055	-0.340	1
5	4	2005	12	04.018040	38.447	-2.134	-0.020	0.142	1
5	3	2005	12	04.018040	34.684	-34.619	-0.006	-0.125	1
4	3	2005	12	04.018040	-3.763	-32.485	0.012	-0.267	1
1	2	2005	12	14.019741	8.113	0.910	-0.094	-0.308	2
1	3	2005	12	14.019741	10.751	10.194	-0.162	-0.267	2
1	4	2005	12	14.019741	10.794	-10.926	-0.090	-0.316	2
1	5	2005	12	14.019741	-115.639	-11.956	-0.135	-0.243	2
1	6	2005	12	14.019741	-214.695	-42.758	-0.141	-0.212	2
1	8	2005	12	14.019741	396.195	-11.903	-0.164	-0.080	2
2	3	2005	12	14.019741	2.638	9.284	-0.067	0.041	2
2	4	2005	12	14.019741	2.681	-11.836	0.004	-0.008	2
2	5	2005	12	14.019741	-123.752	-12.866	-0.041	0.065	2
2	6	2005	12	14.019741	-222.808	-43.668	-0.047	0.096	2
2	8	2005	12	14.019741	388.082	-12.813	-0.070	0.228	2
3	4	2005	12	14.019741	0.043	-21.120	0.071	-0.049	2
3	5	2005	12	14.019741	-126.390	-22.150	0.026	0.024	2
3	6	2005	12	14.019741	-225.446	-52.952	0.012	0.055	2
3	8	2005	12	14.019741	385.444	-22.097	-0.003	0.187	2
4	5	2005	12	14.019741	-126.433	-1.030	-0.045	0.073	2
4	6	2005	12	14.019741	-225.489	-31.832	-0.052	0.104	2
4	8	2005	12	14.019741	385.401	-0.977	-0.075	0.236	2
5	6	2005	12	14.019741	-99.056	-30.802	-0.000	0.031	2
5	8	2005	12	14.019741	511.834	0.053	-0.030	0.163	2
6	8	2005	12	14.019741	610.890	30.855	-0.034	0.132	2
2	3	2006	01	17.862792	-13.707	-13.030	-0.171	-0.095	2
2	4	2006	01	17.862792	-17.102	-21.630	-0.076	-0.192	2
2	5	2006	01	17.862792	45.055	25.650	-0.065	0.146	2
2	6	2006	01	17.862792	43.024	-66.250	0.023	-0.328	2
3	4	2006	01	17.862792	-3.395	-8.600	0.095	-0.097	2
3	5	2006	01	17.862792	58.762	38.680	0.105	0.241	2
3	6	2006	01	17.862792	56.731	-53.220	0.195	-0.233	2
4	5	2006	01	17.862792	62.157	47.280	0.010	0.338	2
4	6	2006	01	17.862792	60.126	-44.620	0.101	-0.136	2
3	6	2006	01	17.886531	56.812	-51.928	-0.290	-0.235	2
4	6	2006	01	17.886531	59.722	-43.862	-0.116	-0.262	2
3	6	2006	02	16.974807	-71.201	-61.080	0.176	-0.121	1
4	6	2006	02	16.974807	-72.605	-47.470	0.059	-0.096	1
5	6	2006	02	16.974807	-192.045	-57.355	0.283	-0.268	1
8	6	2006	02	16.974807	30.573	-14.602	-0.076	-0.271	1
8	5	2006	02	16.974807	222.632	42.715	-0.367	-0.041	1
8	4	2006	02	16.974807	103.178	32.868	-0.144	-0.175	1
8	3	2006	02	16.974807	101.774	46.478	-0.263	-0.150	1
5	4	2006	02	16.974807	-119.440	-9.885	0.233	-0.172	1
5	3	2006	02	16.974807	-120.844	3.725	0.119	-0.147	1
4	3	2006	02	16.974807	-1.404	13.610	-0.116	0.025	1
3	4	2006	02	27.736738	-71.288	-30.008	-0.068	-0.204	2
3	5	2006	02	27.736738	-30.798	9.242	0.012	-0.045	2
3	6	2006	02	27.736738	-115.451	32.320	0.002	-0.141	2
3	8	2006	02	27.736738	333.623	-40.280	-0.122	-0.099	2
4	5	2006	02	27.736738	40.490	39.250	0.075	0.159	2
4	6	2006	02	27.736738	-44.163	62.328	0.062	0.063	2
4	8	2006	02	27.736738	404.911	-10.272	-0.054	0.105	2
5	6	2006	02	27.736738	-84.667	23.078	-0.025	-0.096	2
5	8	2006	02	27.736738	364.407	-49.522	-0.146	-0.054	2
6	8	2006	02	27.736738	449.074	-72.600	-0.110	0.042	2
1	3	2006	03	01.850498	4.337	20.204	-0.189	0.316	2
1	4	2006	03	01.850498	2.486	24.594	-0.308	0.445	2
1	5	2006	03	01.850498	30.502	-21.320	-0.081	0.346	2

1	6	2006	03	01.850498	-170.690	4.604	-0.138	0.510	2
1	8	2006	03	01.850498	448.975	-5.796	-0.095	0.335	2
3	4	2006	03	01.850498	-1.851	4.390	-0.112	0.128	2
3	5	2006	03	01.850498	26.164	-41.524	0.106	0.030	2
3	6	2006	03	01.850498	-175.027	-15.600	0.051	0.194	2
3	8	2006	03	01.850498	444.638	-26.000	0.095	0.019	2
4	5	2006	03	01.850498	28.001	-45.914	0.225	-0.098	2
4	6	2006	03	01.850498	-173.176	-19.990	0.171	0.066	2
4	8	2006	03	01.850498	446.489	-30.390	0.214	-0.115	2
5	6	2006	03	01.850498	-201.191	25.924	-0.054	0.164	2
5	8	2006	03	01.850498	418.474	15.542	-0.012	0.007	2
6	8	2006	03	01.850498	619.665	-10.400	0.046	-0.175	2
3	4	2006	03	01.874433	-1.427	4.364	0.088	-0.046	2
3	5	2006	03	01.874433	32.267	-40.220	0.014	-0.016	2
3	6	2006	03	01.874433	-172.278	-15.476	-0.076	-0.020	2
3	8	2006	03	01.874433	448.673	-24.736	0.055	0.177	2
4	5	2006	03	01.874433	33.694	-44.584	-0.074	0.030	2
4	6	2006	03	01.874433	-170.831	-19.844	-0.147	0.026	2
4	8	2006	03	01.874433	450.091	-29.100	-0.041	0.223	2
5	6	2006	03	01.874433	-204.525	24.744	-0.069	-0.005	2
5	8	2006	03	01.874433	416.397	15.484	0.034	0.193	2
6	8	2006	03	01.874433	620.922	-9.260	0.106	0.197	2
2	3	2006	03	15.799963	-45.925	-18.800	-0.098	-0.026	2
2	4	2006	03	15.799963	-90.820	3.418	-0.049	0.132	2
2	6	2006	03	15.799963	-149.815	44.818	-0.138	0.055	2
2	5	2006	03	15.799963	9.258	-20.666	-0.112	0.165	2
2	8	2006	03	15.799963	481.369	44.508	-0.039	0.178	2
3	4	2006	03	15.799963	-44.895	22.218	0.047	0.158	2
3	6	2006	03	15.799963	-103.889	63.618	-0.044	0.081	2
3	5	2006	03	15.799963	55.184	-1.866	-0.013	0.191	2
3	8	2006	03	15.799963	527.294	63.308	0.054	0.204	2
4	6	2006	03	15.799963	-58.994	41.400	-0.094	-0.077	2
4	5	2006	03	15.799963	100.078	-24.084	-0.059	0.033	2
4	8	2006	03	15.799963	572.190	41.090	0.005	0.046	2
6	5	2006	03	15.799963	159.073	-65.484	0.043	0.110	2
6	8	2006	03	15.799963	631.184	-0.310	0.099	0.122	2
5	8	2006	03	15.799963	472.111	65.174	0.074	0.012	2
2	6	2006	03	15.818188	-151.151	43.434	0.098	0.132	1
3	6	2006	03	15.818188	-107.586	63.320	0.250	0.221	1
4	6	2006	03	15.818188	-58.746	41.928	0.050	-0.110	1
5	6	2006	03	15.818188	-161.756	64.704	0.197	0.016	1
5	4	2006	03	15.818188	-103.010	22.776	0.139	0.127	1
5	3	2006	03	15.818188	-54.170	1.384	-0.059	-0.205	1
5	2	2006	03	15.818188	-10.605	21.270	0.097	-0.115	1
4	3	2006	03	15.818188	48.840	-21.392	-0.194	-0.332	1
4	2	2006	03	15.818188	92.565	-1.506	0.119	-0.243	1
3	2	2006	03	15.818188	43.565	19.886	0.155	0.089	1
1	6	2006	03	17.732289	-167.754	-4.437	-0.231	0.006	1
2	6	2006	03	17.732289	-165.938	-8.396	0.184	-0.076	1
3	6	2006	03	17.732289	-193.405	14.520	0.124	-0.039	1
4	6	2006	03	17.732289	-238.270	-21.398	-0.014	0.151	1
5	6	2006	03	17.732289	-183.120	-29.766	-0.080	0.033	1
5	4	2006	03	17.732289	55.15	-8.368	-0.067	-0.118	1
5	3	2006	03	17.732289	10.285	-44.286	-0.203	0.072	1
5	2	2006	03	17.732289	-17.182	-21.370	-0.264	0.109	1
5	1	2006	03	17.732289	-15.366	-25.329	0.151	0.026	1
4	3	2006	03	17.732289	-44.865	-35.918	-0.139	0.190	1
4	2	2006	03	17.732289	-72.332	-13.002	-0.198	0.227	1
4	1	2006	03	17.732289	-70.516	-16.961	0.218	0.144	1
3	2	2006	03	17.732289	-27.467	22.916	-0.060	0.037	1
3	1	2006	03	17.732289	-25.651	18.957	0.356	-0.046	1

2	1	2006	03	17.732289	1.816	-3.959	0.416	-0.083	1
1	6	2006	03	17.747318	-166.638	-3.592	-0.118	0.124	1
2	6	2006	03	17.747318	-164.726	-7.788	-0.059	0.064	1
3	6	2006	03	17.747318	-196.056	14.114	0.130	0.177	1
4	6	2006	03	17.747318	-236.986	-22.118	0.047	0.197	1
5	6	2006	03	17.747318	-181.512	-29.720	0.039	0.210	1
5	4	2006	03	17.747318	55.474	-7.602	-0.010	0.013	1
5	3	2006	03	17.747318	14.544	-43.834	-0.091	0.033	1
5	2	2006	03	17.747318	-16.786	-21.932	0.098	0.146	1
5	1	2006	03	17.747318	-14.874	-26.128	0.157	0.085	1
4	3	2006	03	17.747318	-40.930	-36.232	-0.084	0.019	1
4	2	2006	03	17.747318	-72.26	-14.330	0.107	0.132	1
4	1	2006	03	17.747318	-70.348	-18.526	0.165	0.072	1
3	2	2006	03	17.747318	-31.33	21.902	0.190	0.112	1
3	1	2006	03	17.747318	-29.418	17.706	0.249	0.052	1
2	1	2006	03	17.747318	1.912	-4.196	0.059	-0.060	1
2	6	2006	03	22.767147	-2.990	-69.228	0.133	0.215	1
3	6	2006	03	22.767147	73.005	-66.079	-0.136	-0.117	1
4	6	2006	03	22.767147	-26.560	-62.272	-0.148	0.077	1
5	6	2006	03	22.767147	96.436	-73.429	0.125	-0.240	1
8	6	2006	03	22.767147	-280.807	-118.506	-0.186	0.233	1
8	4	2006	03	22.767147	-254.276	-56.203	-0.040	0.187	1
8	3	2006	03	22.767147	-353.834	-52.463	-0.030	0.313	1
8	2	2006	03	22.767147	-277.847	-49.276	-0.316	0.020	1
5	4	2006	03	22.767147	122.996	-11.157	0.259	-0.318	1
5	3	2006	03	22.767147	23.431	-7.350	0.258	-0.123	1
4	3	2006	03	22.767147	-99.565	3.807	-0.000	0.195	1
4	2	2006	03	22.767147	-23.570	6.956	-0.278	-0.137	1
3	2	2006	03	22.767147	75.995	3.149	-0.278	-0.332	1
2	3	2007	01	24.982353	-70.515	-12.922	-0.202	0.213	2
2	4	2007	01	24.982353	-98.741	-9.449	-0.066	0.148	2
2	5	2007	01	24.982353	-118.235	-16.434	-0.065	0.206	2
2	6	2007	01	24.982353	149.488	37.751	-0.063	0.230	2
2	8	2007	01	24.982353	544.236	-20.279	-0.067	0.152	2
3	4	2007	01	24.982353	-28.226	3.533	0.137	-0.005	2
3	5	2007	01	24.982353	-47.720	-3.452	0.137	0.053	2
3	6	2007	01	24.982353	220.003	50.733	0.135	0.077	2
3	8	2007	01	24.982353	614.751	-7.297	0.136	-0.001	2
4	5	2007	01	24.982353	-19.493	-6.985	0.002	0.058	2
4	6	2007	01	24.982353	248.229	47.200	-0.003	0.082	2
4	8	2007	01	24.982353	642.977	-10.830	-0.000	0.004	2
5	6	2007	01	24.982353	267.722	54.185	-0.007	0.024	2
5	8	2007	01	24.982353	662.470	-3.845	-0.002	-0.054	2
6	8	2007	01	24.982353	394.748	-58.030	-0.016	-0.078	2
3	4	2007	02	08.929997	109.968	14.964	0.237	0.165	2
3	5	2007	02	08.929997	108.289	0.862	0.007	0.179	2
3	6	2007	02	08.929997	249.388	32.484	-0.047	0.280	2
3	8	2007	02	08.929997	290.301	7.332	-0.142	0.114	2
4	5	2007	02	08.929997	-1.388	-14.102	0.059	0.014	2
4	6	2007	02	08.929997	139.711	17.520	0.009	0.114	2
4	8	2007	02	08.929997	180.630	-7.632	-0.084	-0.051	2
5	6	2007	02	08.929997	141.099	31.622	-0.050	0.101	2
5	8	2007	02	08.929997	182.018	6.470	-0.143	-0.065	2
6	8	2007	02	08.929997	40.919	-25.152	-0.098	-0.166	2
3	4	2007	02	08.948365	108.809	16.174	0.020	0.093	2
3	5	2007	02	08.948365	108.896	1.950	0.073	0.093	2
3	6	2007	02	08.948365	248.304	33.430	-0.048	0.248	2
3	8	2007	02	08.948365	288.558	8.024	-0.045	0.146	2
4	5	2007	02	08.948365	0.086	-14.224	0.050	0.000	2
4	6	2007	02	08.948365	139.495	17.256	-0.065	0.154	2
4	8	2007	02	08.948365	179.749	-8.150	-0.067	0.053	2

5	6	2007	02	08.948365	139.408	31.480	-0.116	0.154	2
5	8	2007	02	08.948365	179.662	6.074	-0.117	0.052	2
6	8	2007	02	08.948365	40.254	-25.406	-0.006	-0.102	2
2	3	2007	03	27.788896	-70.462	-2.226	-0.009	-0.069	2
2	4	2007	03	27.788896	9.059	8.256	-0.071	0.017	2
2	5	2007	03	27.788896	-37.920	14.320	-0.003	0.069	2
2	6	2007	03	27.788896	150.026	-2.882	0.024	-0.078	2
2	8	2007	03	27.788896	28.717	-23.320	0.009	0.036	2
3	4	2007	03	27.788896	79.521	10.428	-0.063	0.032	2
3	5	2007	03	27.788896	32.542	16.546	0.004	0.139	2
3	6	2007	03	27.788896	220.488	-0.656	0.033	-0.009	2
3	8	2007	03	27.788896	99.179	-21.094	0.021	0.105	2
4	5	2007	03	27.788896	-46.979	6.064	0.068	0.053	2
4	6	2007	03	27.788896	140.967	-11.138	0.095	-0.095	2
4	8	2007	03	27.788896	19.658	-31.576	0.080	0.019	2
5	6	2007	03	27.788896	187.947	-17.202	0.029	-0.147	2
5	8	2007	03	27.788896	66.637	-37.640	0.015	-0.034	2
6	8	2007	03	27.788896	-121.310	-20.438	-0.020	0.114	2
3	6	2007	03	29.835627	217.410	45.578	0.105	0.000	1
4	6	2007	03	29.835627	130.198	50.989	0.122	-0.068	1
5	6	2007	03	29.835627	193.565	67.060	0.114	-0.060	1
8	6	2007	03	29.835627	13.272	60.364	0.387	0.032	1
8	2	2007	03	29.835627	-194.254	9.404	-0.041	-0.062	1
8	3	2007	03	29.835627	-204.138	14.786	0.268	0.032	1
8	4	2007	03	29.835627	-116.926	9.374	0.255	0.100	1
8	5	2007	03	29.835627	-180.293	-6.696	0.255	0.093	1
5	2	2007	03	29.835627	-13.961	16.100	-0.301	-0.155	1
5	3	2007	03	29.835627	-23.845	21.482	0.007	-0.061	1
5	4	2007	03	29.835627	63.367	16.071	-0.003	0.007	1
4	2	2007	03	29.835627	-77.328	0.021	-0.297	-0.171	1
4	3	2007	03	29.835627	-87.212	5.411	0.011	-0.068	1
3	2	2007	03	29.835627	9.884	-5.382	-0.309	-0.094	1
3	4	2007	03	29.888784	93.398	-0.913	-0.021	0.080	2
3	5	2007	03	29.888784	30.912	-18.811	-0.110	-0.040	2
3	6	2007	03	29.888784	216.285	49.073	-0.049	0.183	2
3	8	2007	03	29.888784	207.759	-12.105	-0.083	0.084	2
4	5	2007	03	29.888784	-62.486	-17.898	-0.091	-0.120	2
4	6	2007	03	29.888784	122.887	49.986	-0.021	0.103	2
4	8	2007	03	29.888784	114.347	-11.192	-0.078	0.004	2
5	6	2007	03	29.888784	185.373	67.884	0.064	0.223	2
5	8	2007	03	29.888784	176.833	6.706	0.013	0.124	2
6	8	2007	03	29.888784	-8.540	-61.178	-0.068	-0.099	2
3	6	2007	03	30.812982	76.938	49.713	0.312	-0.194	1
4	6	2007	03	30.812982	113.837	36.720	0.031	0.112	1
5	6	2007	03	30.812982	48.778	55.612	0.245	-0.058	1
5	3	2007	03	30.812982	-28.160	5.899	-0.068	0.136	1
5	4	2007	03	30.812982	-65.059	18.892	0.210	-0.170	1
4	3	2007	03	30.812982	36.899	-12.993	-0.277	0.306	1
4	6	2007	03	30.832433	115.480	36.720	0.141	-0.201	1
5	3	2007	03	30.832433	-28.750	5.899	0.149	-0.114	1
5	4	2007	03	30.832433	-68.938	18.034	0.031	-0.198	1
4	3	2007	03	30.832433	40.188	-12.117	0.118	0.102	1
3	6	2007	03	31.861300	99.972	64.177	0.184	-0.029	1
4	6	2007	03	31.861300	101.064	71.195	0.098	0.006	1
5	6	2007	03	31.861300	7.264	32.740	0.133	0.014	1
8	6	2007	03	31.861300	-191.716	73.393	0.263	0.123	1
8	3	2007	03	31.861300	-291.688	9.161	0.053	0.098	1
8	4	2007	03	31.861300	-292.780	2.143	0.136	0.063	1
8	5	2007	03	31.861300	-198.980	40.653	0.121	0.109	1
5	3	2007	03	31.861300	-92.708	-31.437	-0.059	0.043	1
5	4	2007	03	31.861300	-93.800	-38.455	0.025	0.007	1

4	3	2007	03	31.861300	1.092	7.018	-0.086	0.035	1
3	6	2007	04	05.801628	-221.656	-34.815	0.096	0.261	1
4	6	2007	04	05.801628	-144.566	-23.970	0.005	0.085	1
5	6	2007	04	05.801628	-195.546	-42.893	0.035	0.215	1
5	3	2007	04	05.801628	26.110	-8.046	-0.061	-0.077	1
5	4	2007	04	05.801628	-50.980	-18.923	0.031	0.130	1
4	3	2007	04	05.801628	77.090	10.877	-0.094	-0.208	1
3	6	2007	04	05.816864	-219.768	-35.362	-0.082	0.223	1
4	6	2007	04	05.816864	-143.554	-23.772	-0.103	-0.018	1
5	6	2007	04	05.816864	-193.906	-43.079	-0.158	0.133	1
5	3	2007	04	05.816864	25.862	-7.717	-0.077	-0.090	1
5	4	2007	04	05.816864	-50.352	-19.307	-0.052	0.151	1
4	3	2007	04	05.816864	76.214	11.590	-0.025	-0.242	1
2	6	2007	04	09.803797	47.868	-40.322	0.037	0.073	1
2	3	2007	04	09.803797	27.377	19.388	-0.014	-0.040	2
2	4	2007	04	09.803797	77.446	0.820	0.016	-0.008	2
2	5	2007	04	09.803797	89.589	29.958	0.094	0.100	2
2	6	2007	04	09.803797	47.511	-40.260	-0.340	0.112	2
2	8	2007	04	09.803797	549.953	-4.606	-0.111	0.078	2
3	4	2007	04	09.803797	50.069	-19.018	0.029	0.032	2
3	5	2007	04	09.803797	62.212	10.120	0.108	0.141	2
3	6	2007	04	09.803797	20.522	-60.098	0.059	0.152	2
3	8	2007	04	09.803797	522.576	-24.444	-0.098	0.119	2
4	5	2007	04	09.803797	12.144	29.138	0.082	0.108	2
4	6	2007	04	09.803797	-29.547	-41.080	0.027	0.120	2
4	8	2007	04	09.803797	472.507	-5.426	-0.128	0.087	2
5	6	2007	04	09.803797	-41.691	-70.218	-0.056	0.011	2
5	8	2007	04	09.803797	460.346	-34.564	-0.227	-0.022	2
6	8	2007	04	09.803797	502.054	35.654	-0.156	-0.033	2
3	6	2007	04	10.795296	72.141	-23.564	-0.015	0.019	1
4	6	2007	04	10.795296	82.257	-51.097	0.121	-0.055	1
5	6	2007	04	10.795296	138.232	-46.428	0.069	-0.071	1
5	3	2007	04	10.795296	66.091	-22.864	0.082	-0.090	1
5	4	2007	04	10.795296	55.975	4.669	-0.055	-0.016	1
4	3	2007	04	10.795296	10.116	-27.533	0.136	-0.074	1
3	6	2007	04	10.814357	70.914	-23.984	0.201	-0.127	1
4	6	2007	04	10.814357	86.219	-50.598	0.164	-0.115	1
5	6	2007	04	10.814357	141.417	-45.614	0.221	-0.121	1
5	3	2007	04	10.814357	70.503	-21.630	0.018	0.005	1
5	4	2007	04	10.814357	55.198	4.984	0.053	-0.006	1
4	3	2007	04	10.814357	15.305	-26.614	-0.037	0.012	1
3	6	2007	04	14.883296	117.249	41.901	0.179	-0.115	1
4	6	2007	04	14.883296	168.897	60.671	0.036	0.001	1
5	6	2007	04	14.883296	167.946	23.074	0.142	-0.062	1
8	6	2007	04	14.883296	-385.813	50.123	0.100	-0.308	1
5	3	2007	04	14.883296	50.697	-18.827	-0.033	0.053	1
5	4	2007	04	14.883296	-0.951	-37.597	0.106	-0.064	1
4	3	2007	04	14.883296	51.648	18.770	-0.139	0.117	1
3	6	2007	04	16.820132	4.844	50.595	0.091	0.092	1
4	6	2007	04	16.820132	105.160	54.908	-0.025	0.083	1
5	6	2007	04	16.820132	81.320	78.218	-0.042	0.030	1
5	3	2007	04	16.820132	76.476	27.623	-0.127	-0.062	1
5	4	2007	04	16.820132	-23.840	23.310	-0.018	-0.053	1
4	3	2007	04	16.820132	100.316	4.313	-0.109	-0.009	1

Сравнение с теорией и анализ точности наблюдений

Результаты наблюдений сравнивались с эфемеридами, вычисленными по теории DE405 и TASS 1.7 [10] с помощью средств вычисления эфемерид [11], доступных в интернете по адресу <http://Infm1.sai.msu.ru/neb/nss/servicer.htm>. В таблицах 3 и 4 приводятся результаты сравнения, усредненные по всему ряду наблюдений для каждого спутника и Сатурна.

Таблица 3. Средние значения (O-C) и ошибки одного наблюдения звездных координат Сатурна и его спутников ($\sigma_{1\alpha, \cos\delta}$, $\sigma_{1\delta}$).

Объект	$(O-C)_{\alpha \cos\delta}$ <i>arcsec</i>	$\sigma_{1\alpha \cos\delta}$	$(O-C)_{\sigma}$ <i>arcsec</i>	$\sigma_{1\delta}$	n
Сатурн	0.121	± 0.121	-0.042	± 0.070	13
2 сп.	0.110	0.135	0.000	0.073	6
3 сп.	0.131	0.128	0.022	0.099	12
4 сп.	0.130	0.151	-0.026	0.102	13
5 сп.	0.107	0.126	-0.066	0.093	13
6 сп.	0.112	0.102	-0.062	0.135	13
8 сп.	0.161	0.153	-0.088	0.096	12
Среднее	0.125	0.132	-0.037	0.100	69

Разности (O-C) для Сатурна содержат ошибки измерений спутников и опорных звезд, ошибки каталожных положений опорных звезд и ошибки теории движения спутников относительно Сатурна, а также ошибки теории движения самого Сатурна (теория DE405). Величины (O-C) для звездных координат спутников в среднем по всем спутникам очень близки к значениям (O-C) для Сатурна, что совершенно естественно для данного метода определений координат Сатурна. Высокая точность в случайном отношении положений Сатурна ($\pm 0.121''$, $\pm 0.070''$) свидетельствует о том, что ошибки наблюдений (измерений спутников), ошибки каталожных положений и ошибки теорий планетоцентрических движений спутников – малы, в совокупности не превышают 0.1". Систематическое отклонение наблюдений всех спутников от эфемериды, равное +0.125" и -0.037" (в таблице 3), таким образом, может рассматриваться как ошибка эфемериды Сатурна на данном временном интервале.

В таблице 4 приведены среднеквадратические значения (O-C) для относительных положений спутников ($\sigma_{1\alpha \cos\delta}$, $\sigma_{1\delta}$), усредненные по всему периоду наблюдений для двух методов редукции (метод «след-масштаб» и метод шести постоянных с опорными звездами). Эти величины характеризуют ошибки взаимного расстояния в одной паре спутников Сатурна. Как видно из таблицы, точность определения взаимных расстояний с использованием метода с опорными звездами несколько выше, чем в методе «след-масштаб». При этом методом «след-масштаб» определялись расстояния между спутниками, не превышающие 350 угловых секунд, так как на больших расстояниях в этом методе начинают проявляться неточность масштаба и ориентировки; в то время, как с помощью опорных звезд измерялись все возможные расстояния между спутниками в парах, достигающие иногда 800". Но, поскольку на пластинках 26-дюймового рефрактора далеко не всегда имеется достаточное количество симметрично расположенных опорных звезд современных высокоточных каталогов, метод «след-масштаб» успешно

применяется в задаче получения высокоточных относительных координат спутников по наблюдениям на 26-дюймовом рефракторе [13].

Таблица 4. Среднеквадратические значения (О-С) для относительных положений спутников.

Метод редукции	$\sigma_{1\alpha \cos\delta}$ <i>arcsec</i>	$\sigma_{1\delta}$
«след-масштаб»	± 0.140	± 0.150
По звездам	± 0.099	± 0.160

По сходимости результатов наблюдений по 6-ти экспозициям на каждой из 21 пластинок вычислялись внутренние ошибки относительных координат спутников для одной экспозиции в методе «след-масштаб»: $S_x = \pm 0".121$ $S_y = \pm 0".121$. Эти величины характеризуют внутреннюю точность относительных координат спутников по одной экспозиции. Внутренняя ошибка относительных координат спутников, усредненных по пластинке составила $\pm 0".054$ (внутренняя ошибка «среднего места»).

Заключение

Завершены фотографические наблюдения системы спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе. Получен ряд высокоточных положений спутников Сатурна и самой планеты, необходимый для дальнейших исследований в области динамики спутников планет. Программа определения высокоточных положений спутников планет продолжается применением ПЗС-матриц [14]. Результаты наблюдений показали более высокую внутреннюю точность ПЗС-наблюдений по сравнению с фотографическими. Однако внешняя точность наблюдений, определяемая по отклонениям от эфемериды, оказалась практически одинаковой [15]. Это значит, что наибольшее влияние на точность наблюдений оказывают такие факторы, как состояние атмосферы, недоучтенная рефракция, атмосферная дисперсия и условия наблюдений.

Опыт фотографических наблюдений спутников Сатурна послужил основой для освоения ПЗС-наблюдений и разработки методики их обработки.

Фотографические наблюдения спутников планет на 26-дюймовом рефракторе, регулярно производившиеся с 70-х годов прошлого века, выполнялись большим коллективом наблюдателей на 26-дюймовом рефракторе, самоотверженно работавшим в течение всех ясных ночей в трудных условиях северной обсерватории, за что выражаем всем глубокую благодарность и уважение.

Литература

1. *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 Пулкове в 1995 г. // 1996, Изв. ГАО № 210, с. 76-94.
2. *Т.П. Киселева, О.А.Калиниченко.* Фотографические наблюдения спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе Пулковской обсерватории в 1996 г. //1998. Изв. ГАО № 213, с. 122-128.
3. *Т.П. Киселева, О.А. Калиниченко.* Результаты фотографических наблюдений спутников Сатурна в Пулкове в 1994-1998 гг. //2000. Изв. ГАО № 214, с. 344-355.
4. *Т.П. Киселева, О.А. Калиниченко.* Результаты фотографических наблюдений спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове в 1999-2001 гг. //2002. Изв. ГАО № 216, с. 185-191.

5. *Т.П. Киселева, О.А. Калиниченко, М.А. Можжаев.* Фотографические наблюдения спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе в 2001-2003 гг. в Пулкове. Определение координат Сатурна по наблюдениям его спутников. // 2004. Изв. ГАО № 217, с. 297-305.
6. *Т.П. Киселева, О.А. Калиниченко.* Результаты фотографических наблюдений Сатурна и его спутников в 2004-2005 гг. на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове. // 2006, Изв. ГАО № 218, с. 108-116.
7. *Киселев А.А.* Теоретические основания фотографической астрометрии. // Москва, Наука, 1989, 260 стр.
8. *Девяткин А.В., Толбин С.В.* Влияние иррадиации и распределения яркости по диску Сатурна и его колец на определение координат его центра по фотографическим наблюдениям. // Сб. «Астрофотография в исследовании вселенной», ГАО РАН, Санкт-Петербург, 1992, с.248-270.
9. *И.С. Измайлов.* www.izmccd.puldb.ru
10. *A. Vienne, L. Duries.* 1995, A & A, v.297, p. 588.
11. *Емельянов Н.В., Арло Ж.-Ю., Варфоломеев М.И. и др.* Создание теорий движения, эфемерид и баз данных для естественных спутников планет // Космические исследования. 2006. Т. 44. № 2. С. 136-145.
12. *Т.П. Kiseleva, О.А. Kalinichenko, М.А. Mozhaev.* The determination of coordinates of Saturn by observations of it's Satellites with 26-inch Refractor at Pulkovo. //JOURNEES-2003, "Astrometry, Geodynamics and Solar System Dynamics: from milliarcseconds to microarcseconds", St. Petersburg, 2004, p.288-289.
13. *Киселева Т.П.* Анализ систематических ошибок масштаба и ориентировки при фотографических и ПЗС наблюдениях главных спутников Сатурна, полученных в Пулкове в 1995-2003 гг. на 26-дюймовом рефракторе // 2004. Известия ГАО РАН, № 217, с.286-291.
14. *И.С. Измайлов, А.А. Киселев, Т.П. Киселева, Е.В. Хруцкая.* Применение ПЗС-камеры в Пулковских программах наблюдений двойных и кратных звезд и спутников больших планет на 26-дюймовом рефракторе. //1998. ПАЖ. Т. 24, № 10, с.772-779.
15. *Т.П. Киселева, И.С. Измайлов, О.А. Калиниченко.* Астрометрия спутников Сатурна на основе фотографических и ПЗС-наблюдений на 26-дюймовом рефракторе Пулковской обсерватории в 1995-2000 г. // 2002. Известия ГАО, № 216, с.174-180.

THE RESULTS OF PHOTOGRAPHIC OBSERVATIONS OF SATURN AND ITS SATELLITES WITH 26-INCH REFRACTOR AT PULKOVO OBSERVATORY IN 2005-2007

Kiseleva T.P., Kalinichenko O.A., Vasilieva T.A.

Summary

The equatorial and mutual coordinates of Saturn and its main satellites have been determined in the result of photographic observations with 26-inch refractor at Pulkovo. The equatorial coordinates were obtained with used of reference stars from modern catalogues TYCHO-2 and UCAC-2. The "scale-trail" method was used to provide the mutual coordinates of satellites. The positions of Saturn were determined by the observations of satellites without measuring of the planet images on the photographic plates. The analysis of accuracy of the results was made by comparison with modern theories. The mean square errors of the saturnian positions were calculated as 0.07"–0.12" for the planet and 0.10"–0.16" for satellites. The inner accuracy of positions from one plates was determined as 0.05". The precision of saturnian theory DE405 was estimated by comparison with observations of Saturn and its satellites as 0.12".

The work were carried out thanks to the financial support of RFBR, project № 07-02-00235-a.

ВОЗМОЖНЫЙ НЕВИДИМЫЙ СПУТНИК В СИСТЕМЕ ВИЗУАЛЬНО-ДВОЙНОЙ ЗВЕЗДЫ ADS 7446, ОБНАРУЖЕННЫЙ ПО ФОТОГРАФИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ НА 26-ДЮЙМОВОМ РЕФРАКТОРЕ 1962-1999 гг. В ПУЛКОВЕ

Кияева О.В., Калиниченко О.А.

Обработан 38-летний ряд однородных фотографических наблюдений визуально-двойной звезды ADS 7446 = Hip 47260, выполненных на 26-дюймовом рефракторе Пулковской обсерватории. Измерения выполнены на Сканере. Определены параметры видимого относительного движения. Обнаружено заметное возмущение в позиционном угле, которое может быть вызвано присутствием невидимого спутника. По невязкам относительно орбитального движения определены 3 варианта орбиты фотоцентра с периодом 7.9 года при заданных значениях эксцентриситета $e = 0$, $e = 0.5$ и $e = 0.8$. Если предположить, что масса главного компонента равна 1.5 массы Солнца, масса невидимого спутника должна быть не менее 0.35 масс Солнца.

Введение

В обзорной работе (Кияева, Киселев, Измайлов, 2008) мы рассматривали 562 широких визуально-двойных звезды из каталога WDS с периодом обращения несколько сот или тысяч лет. Из них мы выделили 11 звезд, для которых минимальная масса может превосходить ожидаемую, то есть вычисленную согласно спектральному классу и светимости, если верен параллакс, и разнородные наблюдения из WDS (Мейсон и др., 2006) правильно отражают относительное движение звезды. Минимальная масса вычислялась на основании параметров видимого движения (Киселев, Кияева, 1980), полученных по всем разнородным наблюдениям, собранным в WDS, и параллаксу по формуле

$$M_A + M_B \geq (\rho\mu)^2 / (4\pi^2 \rho_c \rho_t^3 |\sin(\psi - \theta)|) = M_1 \quad (1)$$

где ρ – видимое расстояние между компонентами [”];

θ – позиционный угол относительного положения [°];

μ – видимая относительная скорость [”/год];

ψ – позиционный угол направления относительного движения [°];

ρ_c – радиус кривизны наблюдаемой короткой дуги [”].

ρ_t – параллакс из каталога Гиппаркос.

Масса M_1 равна сумме масс компонентов, если спутник расположен на орбите в картинной плоскости, что бывает либо в случае прохождения узла орбиты, либо если плоскость орбиты близка к картинной плоскости.

ADS 7446 – одна из этих звезд. В данной работе на основе однородных Пулковских наблюдений проверяется сделанное ранее предположение.

В таблице 1 представлены данные о спектрах, светимости, параллаксе и массе этой звезды.

Таблица 1. Данные об ADS 7446.

Hip	WDS	ADS	SP ₁ SP ₂	m ₁ m ₂	p _t [“]	M ₁ [Sun]	M _{SP-L} [Sun]
47260	09379+7305 STF 1362	7446 A B	F1 IV F2 V	6.39 6.58	0.0144 ±.0011	10.4 ±3.4	1.6 1.4

M_1 – динамическая масса согласно формуле (1).

M_{SP-L} – масса, соответствующая спектру и светимости.

Наблюдения и их обработка

Наблюдения проводились с 1962 по 1988 год на пластинках WO1 с экспозицией 10 сек., в 90-е годы начались проблемы с пластинками, приходилось использовать пластинки разного сорта, что для тесной звезды особенно нежелательно. В результате из 89 пластинок нами для исследования было оставлено 71 пластинка.

В наблюдениях принимали участие все наблюдатели 26-дюймового рефрактора, состав которых за 38 лет частично менялся, однако больше всего наблюдений данной звезды (21%) получила Калиниченко О.А.

Пластинки измерялись нами на сканере, специально приспособленном для измерения астронегативов с высокой точностью (Измайлов, 2000). Результаты измерений будут представлены в Пулковском каталоге относительных положений визуально-двойных звезд. Этот каталог является расширенной версией каталогов 1988 и 2005 гг. (Киселев, Калиниченко и др.) и включен в базу данных Пулковской обсерватории (Хруцкая, Ховричев, Измайлов, 2004).

Особенность обработки заключается в том, что, как и все близполюсные звезды, эта звезда наблюдалась без экспозиции суточного следа после остановки часового механизма, и предполагалось, что ориентировка выполняется по паре ориентирующих звезд. Одна из звезд ориентирующей пары – ADS 7446A, а другая – одна из звезд поля. Так как ADS 7446 – яркая звезда – снималась с экспозицией 10 секунд, в поле пластинки получилось только 2 звезды, которые можно взять в качестве второй звезды для ориентировки, со следующими координатами из каталога Тихо2:

$$\begin{aligned} 1: \alpha &= 9^{\text{h}}33^{\text{m}}47.^{\text{s}}59022 & \delta &= +73^{\circ}01'32.''1188 \\ 2: \alpha &= 9^{\text{h}}39^{\text{m}}29.^{\text{s}}41053 & \delta &= +72^{\circ}44'48.''6138 \end{aligned}$$

Обе звезды расположены на краю поля пластинки, и нет такой звезды, которая получилась бы на всех пластинках. Так как на каждой пластинке выполнялось 30 экспозиций, мы для пластинок, где получились обе звезды, получили 2 независимых положения (ρ и θ), используя разные независимые изображения и ориентирующие пары. Так как выбор ориентирующей звезды не влияет на расстояние между компонентами, оба положения, полученные практически в одно и то же время, должны мало отличаться. Сравнение расстояний позволило выявить и отбросить 11 пластинок, у которых расхождение в расстоянии больше 2 микрон (40 mas), как ненадежные (возможно, вследствие нестабильной погоды), а сравнение позиционных углов убедило нас, что расхождение небольшое, меньше случайной ошибки, и носит не систематический, а случайный характер. Таким образом, можно объединить все результаты, и общий ряд наблюдений состоит из 94 положений, снятых с 60 пластинок.

Пулковские наблюдения представлены на рис. 1. Обращаем внимание на большой разброс значений в расстоянии между компонентами внутри сезона. Это характерно для сравнительно тесных весенних звезд, которые наблюдаются в межсезонье, когда погода очень нестабильна. Кроме того, заметно возмущение в позиционном угле, которое может быть вызвано присутствием невидимого спутника с периодом около 8 лет. Чтобы уменьшить влияние больших случайных ошибок, при выравнивании мы используем среднегодовые нормальные места. В таблице 2 представлен окончательный ряд наблюдений.

Параметры видимого относительного движения вычислялись в результате выравнивания по времени с учетом производных первого порядка, радиус кривизны только по Пулковским наблюдениям определить невозможно.

Средняя ошибка одного положения по внутренней сходимости – $0.''009$ по ρ и $0.''09(0.''008)$ по θ , по внешней сходимости при выравнивании – $0.''023$ по ρ и

0.°19(0.°016) по θ . Средняя ошибка одного нормального места по внутренней сходимости – 0.°007 по ρ и 0.°052(0.°005) по θ , по внешней – 0.°014 по ρ и 0.°154(0.°013) по θ .

Таблица 2. Среднегодовые положения и невязки относительно равномерного движения.

T	ρ ["]	ϵ_ρ ["]	θ [°]	ϵ_θ [°]	$\Delta\rho$ ["]	$\Delta\theta$ [°]	$\Delta\tau$ ["]	n
1962,225	4,941	0,007	128,692	0,044	0,017	0,197	0,017	2
1963,383	4,902	0,006	128,291	0,077	-0,023	-0,117	-0,010	1
1969,145	4,930	0,003	128,069	0,043	0	0,070	0,006	7
1974,141	4,934	0,004	127,430	0,044	0	-0,209	-0,018	8
1979,237	4,941	0,005	127,206	0,025	0,003	-0,069	-0,006	8
1980,290	4,928	0,011	127,201	0,050	-0,010	0	0	5
1981,254	4,944	0,005	127,067	0,070	0,005	-0,058	-0,005	4
1982,162	4,937	0,013	126,885	0,041	-0,003	-0,174	-0,015	6
1983,203	4,940	0,009	126,838	0,063	-0,001	-0,151	-0,013	8
1984,145	4,961	0,005	126,929	0,021	0,020	0,012	0,001	6
1986,070	4,934	0,012	126,941	0,029	-0,010	0,151	0,013	5
1987,192	4,946	0,004	126,759	0,050	0,002	0,058	0,005	10
1988,249	4,935	0,006	126,853	0,080	-0,010	0,221	0,019	2
1991,245	4,947	0,006	126,296	0,052	-0,001	-0,116	-0,010	4
1993,252	4,940	0,006	126,265	0,062	-0,010	0	0	8
1994,297	4,928	0,01	126,407	0,071	-0,022	0,209	0,018	3
1995,257	4,917	0,008	126,192	0,072	-0,034	0,070	0,006	2
1999,240	4,960	0,003	125,792	0,051	0,006	-0,046	-0,004	5

Здесь $\Delta\tau = \rho \cdot \Delta\theta / 57.3$; n – число индивидуальных положений, полученных за год и вошедших в нормальное место; остальные обозначения стандартные.

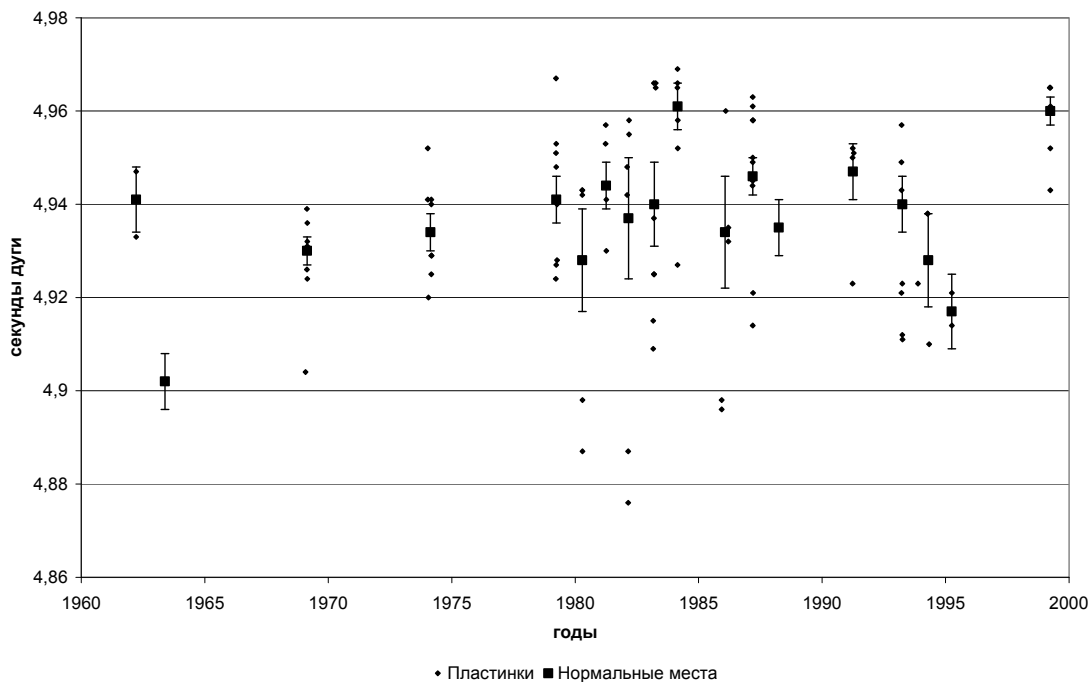


Рис. 1а. Результаты наблюдений на 26-дюймовом рефракторе. Зависимость $\rho(t)$.

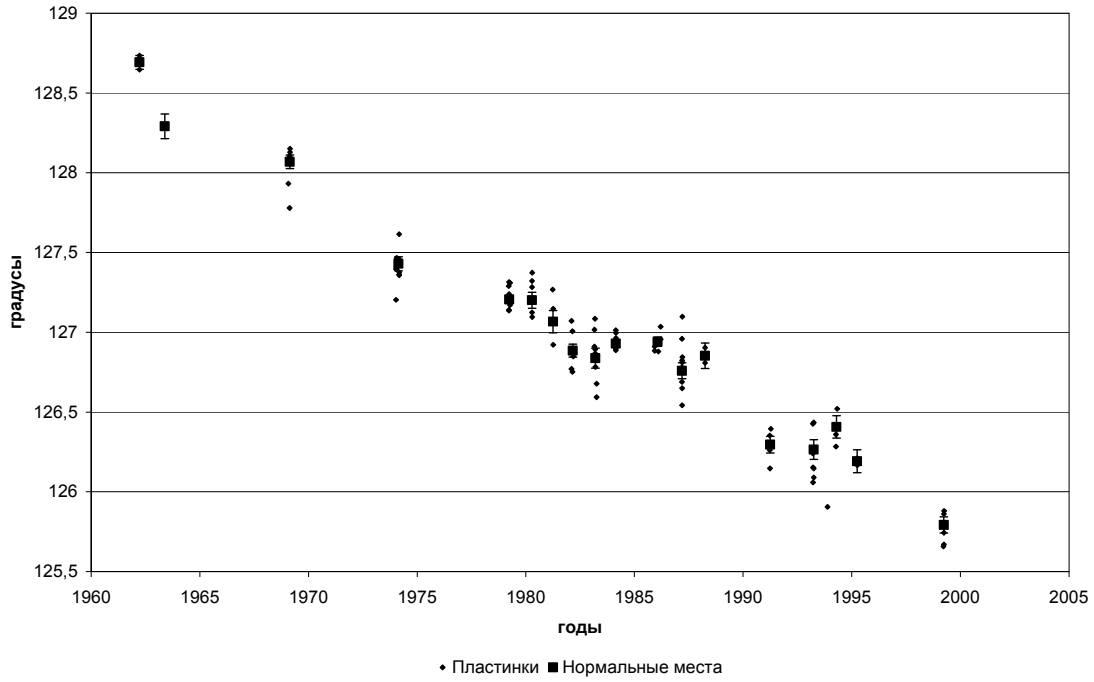


Рис. 16. Результаты наблюдений на 26-дюймовом рефракторе. Зависимость $\theta(t)$.

Параметры видимого относительного движения представлены в таблице 3.

Таблица 3. Параметры видимого относительного движения на основе Пулковских наблюдений.

T_1-T_n	T_0 [год]	ρ [""]	θ_{2000} [$^\circ$]	μ [""/год]	ψ [$^\circ$]
1962-1999	1985.0	4.940 ± 0.002	127.158 ± 0.017	$.0063 \pm 0.0002$	43.16 ± 2.04

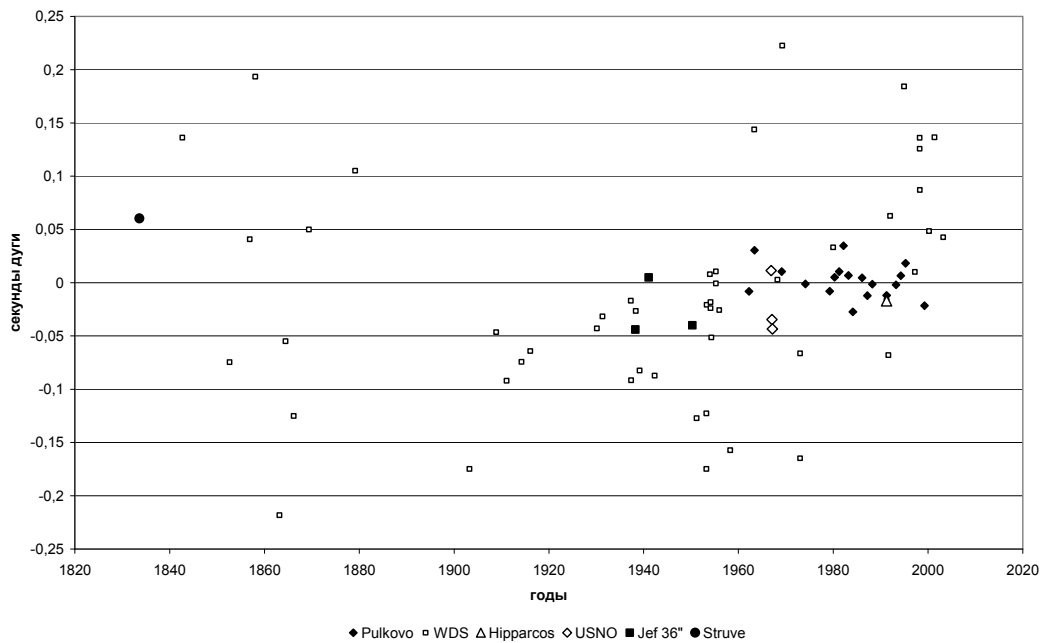


Рис. 2. Сравнение Пулковских наблюдений с наблюдениями из каталога WDS в касательно-нормальной системе координат.

Сравним ход однородных Пулковских наблюдений с ходом разнородных наблюдений из каталога WDS, по которым ранее нами были получены кривизна и избыточная масса (Кияева, Киселев, Измайлов, 2008). На рис. 2 представлены среднегодовые положения Пулковских наблюдений вместе с наблюдениями из каталога WDS в касательно-нормальной системе координат (ось абсцисс – в направлении движения на момент 1918.4). Видно, что разнородные наблюдения из WDS имеют большой разброс, и направление движения по Пулковским наблюдениям на момент 1980.5 не согласуется с общей дугой наблюдений из WDS. При этом Пулковские наблюдения не противоречат самым надежным наблюдениям: Гиппаркос, 26”рефрактор USNO, 36” рефрактор Ликской обсерватории (Jef36”). Отсюда мы делаем вывод, что полученная нами ранее по разнородным наблюдениям кривизна и, соответственно, избыточная масса – следствие большого количества ненадежных наблюдений, попавших в WDS. Отметим также, что многолетние наблюдения на одном телескопе для этой звезды выполнялись только в Пулкове, таким образом, наш ряд уникален.

Для широкой пары АВ кривизна не определяется, даже если дополнить наш ряд наблюдениями USNO, JEF36” и Струве 1833г. Согласно CDS наблюдалась лучевая скорость только компонента А (Нордстром и др, 2007). Определить ПВД-орбиту без радиуса кривизны и относительной лучевой скорости компонентов невозможно.

Определение орбиты невидимого спутника

Опираясь только на Пулковские наблюдения, по невязкам среднегодовых положений относительно равномерного движения (см. табл. 2), мы определили вероятную орбиту фотоцентра по методу, описанному в работе (Кияева, Калиниченко, 1998). Присутствие невидимого спутника проявляется в направлении изменения позиционного угла, поэтому мы переходим от системы полярных координат к прямоугольным координатам, ориентированным под углом 127° по отношению к обычной астрономической системе координат, ориентированной по прямому восхождению и склонению. Тогда направление x совпадает с тангенциальным направлением значимого эффекта, независимого от больших ошибок по ρ . Динамические элементы – период P , эксцентриситет e и момент прохождения через периастр T_p – определяются именно по этому направлению. Решая уравнения Тиле-Иннеса

$$\begin{aligned}x &= x_0 + AX + FY \\y &= y_0 + BX + GY,\end{aligned}\tag{2}$$

мы по наилучшему согласию оцениваем e и T_p , сглаживаем наблюдения, получаем видимую орбиту и координаты барицентра системы (x_0, y_0) . Переход от видимой орбиты к истинной можно выполнить через коэффициенты Тиле-Иннеса или использовать прямой геометрический метод Киселева (Киселев, 1997).

В таблице 4 представлены исходные данные для решения уравнений (2) – средне-взвешенные положения фотоцентра относительно равномерного орбитального движения (усреднение в скользящем окне, равном $0.05P$) в зависимости от фазы относительно периода $P = 7.9$ года. Веса определяются как сумма весов наблюдений, входящих в скользящее окно. Если число наблюдений (прохождений через данную фазу) N больше единицы, то в таблице наряду с ошибкой ϵ_w , зависящей от веса, приводится также ошибка ϵ_N , определяющая разброс наблюдений при разных прохождении. При этом мы считаем, что веса точек не должны различаться больше, чем в 5 раз, поэтому при вычислении мы, соответственно, веса некоторых точек увеличиваем до 1 или уменьшаем до 5.

В таблице 5 – элементы орбиты фотоцентра для трех фиксированных значений эксцентриситета. Мы не знаем, у какого компонента спутник, поэтому угол наклона определяется как угол первой четверти, положение узла и периастра – с точностью до

180°. Там же мы приводим решение уравнений (2). Большие ошибки говорят о том, что мы можем только выявить наличие возмущений из шума и определить предварительные ориентировочные орбиты возмущающего тела. Масса невидимого спутника оценивается при условии, что масса главного компонента равна 1.5 масс Солнца. На рис. 3 – графическое сравнение орбит с наблюдениями.

Таблица 4. Невязки относительно равномерного движения в зависимости от фазы t_p относительно периода $P = 7.9$ г.; $t_p = 0$ соответствует моменту 1980.0.

t_p	x [mas]	ϵ_N [mas]	ϵ_W [mas]	y [mas]	ϵ_N [mas]	ϵ_W [mas]	W_x	W_y	N
0,041	-5,6	8,6	3,6	10,1	0,1	5,5	2,46	1,08	2
0,159	5,4	-	6,1	-4,8	-	5,3	0,89	1,15	1
0,263	16,6	1,3	2,6	0,1	0,8	3,4	4,98	2,85	2
0,427	8,7	2,5	2,7	-4,1	2,3	2,7	4,41	4,47	3
0,525	-0,6	-	1,8	-19,7	-	5,1	9,75	1,27	1
0,626	-6,2	-	3,7	-0,0	-	2,9	2,4	4	1
0,677	0,4	-	5,3	9,6	-	5,6	1,15	1,05	1
0,759	-14,7	1,9	2,1	-9,9	11,0	6,1	7,67	0,89	2
0,784	-14,2	1,7	2,3	17,3	5,9	7,5	6,28	0,58	2
0,907	3,4	3,0	1,8	7,1	8,2	2,8	10,4	4,11	4

Здесь x и y – невязки соответственно в тангенциальном и радиальном направлении, W_x, W_y – веса, ϵ_W – ошибки, соответствующие весу, ϵ_N – ошибки, соответствующие невязкам относительно среднего значения при разных прохождениях данной фазы, N – число прохождений.

Таблица 5. Орбиты фотоцентра при фиксированном значении периода $P = 7.9$ г. и заданных значениях эксцентриситета.

e	T_p [год]	a [mas]	i [°]	ω [°]	Ω [°]	M_2 [M_\odot]	x_0 [mas]	y_0 [mas]	A [mas]	B [mas]	F [mas]	G [mas]
0	-	13.2	62.3	-	54.7	0.35	1.8 ± 2.1	1.1 ± 2.4	0.5 ± 3.0	-6.5 ± 3.3	-12.7 ± 2.8	2.9 ± 3.3
0.5	1980.0	14.0	62.4	81.1	55.0	0.37	1.7 ± 4.7	6.1 ± 4.3	0.1 ± 4.4	-6.8 ± 3.9	-13.5 ± 4.3	3.3 ± 4.1
0.8	1981.6	18.4	66.2	132.0	62.5	0.51	17.1 ± 6.5	0.8 ± 7.1	-13.5 ± 4.4	0.3 ± 5.0	-10.2 ± 5.9	10.3 ± 6.6

Здесь x_0, y_0 – координаты барицентра тесной двойной системы, A, B, F, G – коэффициенты Тиле-Иннеса (решение системы (2)). Угол наклона i определяется как угол первой четверти, положение узла Ω и периастра ω – с точностью до 180°. Масса невидимого спутника M_2 оценивается при условии, что масса главного компонента равна 1.5 масс Солнца.

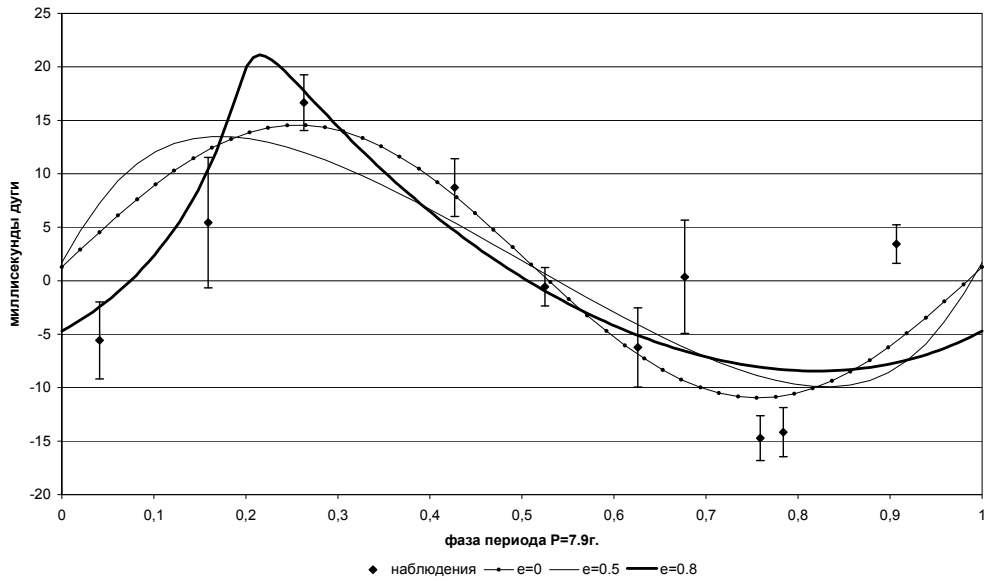


Рис. 3а. Сравнение орбиты фотоцентра с наблюдениями в тангенциальном (главном) направлении – зависимость $x(t)$.

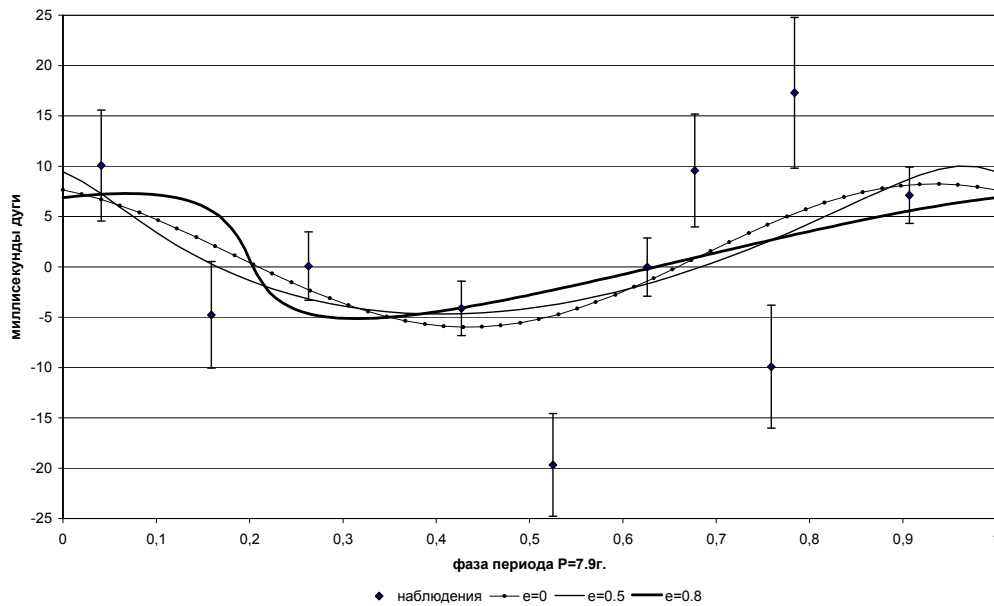


Рис. 3б. Сравнение орбиты фотоцентра с наблюдениями в радиальном направлении – зависимость $y(t)$.

Выводы

В данной работе представлены результаты обработки большого ряда Пулковских наблюдений. Для звезды ADS 7446 аналогичного ряда не существует. На основе обработанных нами наблюдений впервые делается предположение о наличии невидимого спутника у данной звезды. Вычислены 3 варианта возможных предварительных орбит фотоцентра. Эффект невидимого спутника больше проявляется в изменении позиционного угла в зависимости от времени (в тангенциальном направлении). В этом направлении лучшее согласие с наблюдениями получено при большом эксцентриситете $e=0.8$. Период обращения невидимого спутника по нашим оценкам 7.9 года, масса – более 0.35 масс Солнца.

Точности 26-дюймового рефрактора не хватает для уверенного определения орбиты фотоцентра. Для дальнейших исследований данной интересной звезды необходи-

мы наблюдения на современных высокоточных телескопах и определение лучевых скоростей обоих компонентов.

Заключение

Выражаем глубокую благодарность всем наблюдателям 26-дюймового рефрактора, а именно А.А. Киселеву, Т.П. Киселевой, Н.А. Шахт, О.П. Быкову, Л.Г. Романенко, К.Л. Масленникову, И.И. Канаеву, Г.А. Плюгину и В.А. Соколовой, автору математического обеспечения для работы на сканере И.С. Измайлову, создателям каталога WDS, данными которого мы постоянно пользуемся.

Литература

- А.А. Киселев, О.В. Кияева* // Астрон.ж., т.57, с.1227-1240, 1980.
Кияева О.В., Киселев А.А., Измайлов И.С. // Письма в астрон.ж., 34, 6, 446-454 (2008)
Мейсон и др. (Mason B.D., Wycoff G.L. & Hartkopf W.I.) Washington Double Star Catalog 2006.5. // USNO Double Star CD 2006.5.
А.А. Kisselev. // Proceedings of the Workshop: "Visual Double Stars: Formation, Dynamics and Evolutionary tracks." Santiago de Compostela, 1996, p.357-359. Kluwer academic publishers, Dordrecht, 1997.
И.С. Измайлов // Известия ГАО в Пулкове, N214, с.533-545, 2000.
А.А. Киселев, О.А. Калиниченко и др. "Каталог относительных положений и движений 200 визуально-двойных звезд по наблюдениями в Пулкове на 26-дюймовом рефракторе в 1960-1986 гг." // Ленинград, "Наука", 1988, 40 с.
О.В. Кияева, Калиниченко О.А. // Известия ГАО в Пулкове, N 213, 1998, с.233-348.
Е.В. Хруцкая, М.Ю. Ховричев, И.С. Измайлов // Известия ГАО РАН в Пулкове, N217, 343, 2004.
Нордстром и др. (Nordstrom B., Mayor M., Andersen J., Holmberg J. et al.) // Astron. Astrophys. 475, 519, 2007.

POSSIBLE INVISIBLE SATELLITE IN THE SYSTEM OF VISUAL DOUBLE STAR ADS 7446 DISCOVERED ON THE BASIS OF PHOTOGRAPHIC OBSERVATIONS WITH 26-INCH PULKOVO REFRACTOR IN 1962-1999

Kiyeva O.V., Kalinichenko O.A.

Summary

The set of photographic observations for a visual double star ADS 7446, obtained with the 26-inch Pulkovo refractor in the period between 1962 and 1999 was measured with Scanner (94 individual positions, 18 seasonal means). The apparent motion parameters ρ , θ , μ , ψ at the moment $T_0=1985.0$ are calculated on the basis of this set of observations. The observations of radial velocity are necessary to determine the elements of AMP-orbit.

The apparent motion parameters define the orbital motion of the pair AB. Deviations relative to the orbital motion indicate the perturbations, mostly in position angles, with a period 7.9 year. It is possible, that one of the components has invisible satellite. The precision of 26-inch refractor is not enough to determine the orbital elements of a possible invisible satellite exactly, therefore we provide three possible variants of the photocenter orbit which are calculated on the basis of the deviations with fixed values of excentricity:

- 1) $e = 0$, $P = 7.9$ yr, $a = 13.2$ mas, $i = 62.3^\circ$, $\Omega = 54.7^\circ$
- 2) $e = 0.5$, $P = 7.9$ yr, $a = 14.0$ mas, $i = 62.4^\circ$, $\Omega = 55.0^\circ$, $\omega = 81.1^\circ$, $T_p = 1980.0$
- 3) $e = 0.8$, $P = 7.9$ yr, $a = 18.4$ mas, $i = 66.2^\circ$, $\Omega = 62.5^\circ$, $\omega = 132.0^\circ$, $T_p = 1981.6$

If the mass of main component is equal to 1.5 solar mass, the mass of invisible satellite may be more than 0.35 solar mass.

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ТЕЛЕСКОПА МТМ-500М

**Кулиш А.П., Девяткин А.В., Рафальский В.Б., Ибрагимов Ф.М., Куприянов В.В.,
Верещагина И.А., Шумахер А.В.**

Проведена модернизация телескопа МТМ-500М с целью обеспечить его работу в автоматическом режиме. Приводится описание модернизированных узлов телескопа МТМ-500М.

Введение

С начала 2005 г. по начало 2008 г. в Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН проводились проектно-изыскательские и конструкторско-технологические работы по модернизации узлов и механизмов телескопа МТМ-500М. Цель модернизации – придание ему свойств и качеств астрономического инструмента, способного стать основным исполнительным оптико-механическим органом создающегося автоматизированного астрономического наблюдательного комплекса на Южной базе ГАО (Горной астрономической станции близ Кисловодска, Карачаево-Черкессия).

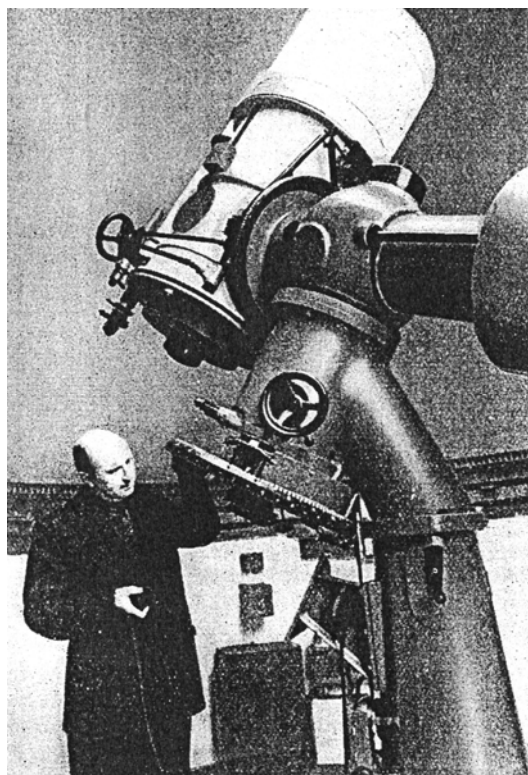


Рис. 1. Д.Д. Максудов у телескопа МТМ-500 [1].

Менисковый телескоп МТМ-500М системы Д.Д. Максудова [1] (**рис. 1**) был создан на Государственном оптико-механическом заводе (ГОМЗ) им. ОГПУ (главный конструктор П.В. Добычин [2]). Уже в начале 1952 года на нем начались наблюдения в Пулкове [3]. Телескоп был оборудован телескопической трубой (световой диаметр – 500 мм, эквивалентное фокусное расстояние – 6520 мм, светосила 1:13, поле зрения – 40'), гидом, искателем и микрометром. Для отсчета углов поворота осей телескоп был снабжен разделенными кругами: часовым (цена деления 5 мин. времени) и склонения (цена деления – 1 градус). Суточное движение часовой оси обеспечивалось гиревым

механизмом часового вращения, оборудованного механизмом переменных скоростей, а установочные повороты осей осуществлялись ручными приводами (так же и механизм микрометрических подач оси склонений) [4].

Монтировку телескопа можно отнести к экваториальному (немецкому) типу [5] с параллактической широтной головкой (ШГ) с фиксированным углом широты места установки телескопа. В связи с тем, что телескоп изначально рассчитывался на работу по схеме кудэ, компоновка его механических узлов и конструкция осей (валов) были подчинены условию свободного пропуска света сквозь них до фокальной плоскости при любом угле поворота трубы вокруг оси склонений и полярной оси. Поэтому обе оси – полые. Ось склонений – короткая, помещена в консольный прилив корпуса полярной оси и вращается в нем на двух насыпных шариковых (в сепараторах) подшипниках. Полярная ось имеет однотипные с осью склонений опорные подшипники. Главный червячный привод полярной оси размещен на ее нижнем северном конце.

При модернизации телескопа решена задача его оснащения точными, дистанционно считываемыми угломерными устройствами и замены ручных органов управления установочными поворотами осей и их зажимных устройств электромеханическими приводами. Вместе с тем модернизации подверглось купольное оборудование павильона. В сочетании с программным управлением комплексом решена задача синхронизации работы телескопа с куполом.

1. Конструктивные решения проблемы

1.1. Угломерные устройства

Угломерные устройства являются составными частями систем наведения трубы телескопа на объекты небосвода. При модернизации телескопа одной из важных задач является замена прежних визуальных угломерных устройств на значительно более точные, с отсчетными устройствами дистанционного считывания показаний.

Анализ конструкций разделенных кругов и отсчетных устройств на осях монтировок типа АПШ, точности установки по ним трубы телескопа и считывания с них показаний наведенной на объект трубы, даны нами в [5, с. 130]. Оси монтировки телескопа МТМ-500М были оснащены точно такими же разделенными кругами и индексами. Решение заменить их на видеоотсчетные устройства, подобные тем, что были применены нами при модернизации ШГ монтировки АПШ-5 (ЗА-320М) [6, с. 523-532] было бесспорным и безоговорочным.

Задача состояла в том, как воплотить в жизнь эту идею на монтировке, оси которой (полярная и склонений) конструктивно не похожи на оси монтировки АПШ-5. Если оси (по сути – валы) монтировки АПШ-5 – сплошные, имеющие выводы (концы) за пределы корпусов, за которые можно закрепить стеклянные лимбы без прибегания к каким-либо механическим передаточным устройствам, то оси (валы) монтировки МТМ-500М – совершенная противоположность: они полые, короткие, предназначенные только для выполнения кинематических функций и пропуска через свои внутренние каналы световых пучков (телескоп изначально был предназначен для работы по схеме кудэ).

Конструктивная схема *видеоотсчетного устройства (угломера) оси склонений* представлена на **рис. 2**. Прибор размещен в сферической полости южного торца корпуса полярной оси, куда помещалось второе диагональное зеркало оптической схемы телескопа. Внутренний габарит этой полости составляет примерно 360×360×240 мм. Часть полости занимал вдвинутый в нее перпендикулярно полярной оси конструктив насыпного подшипника оси склонений и часть оси (вала-втулки) склонений. Доступ в полость был возможен только через три люка. Диаметр каждого люка 200 мм.

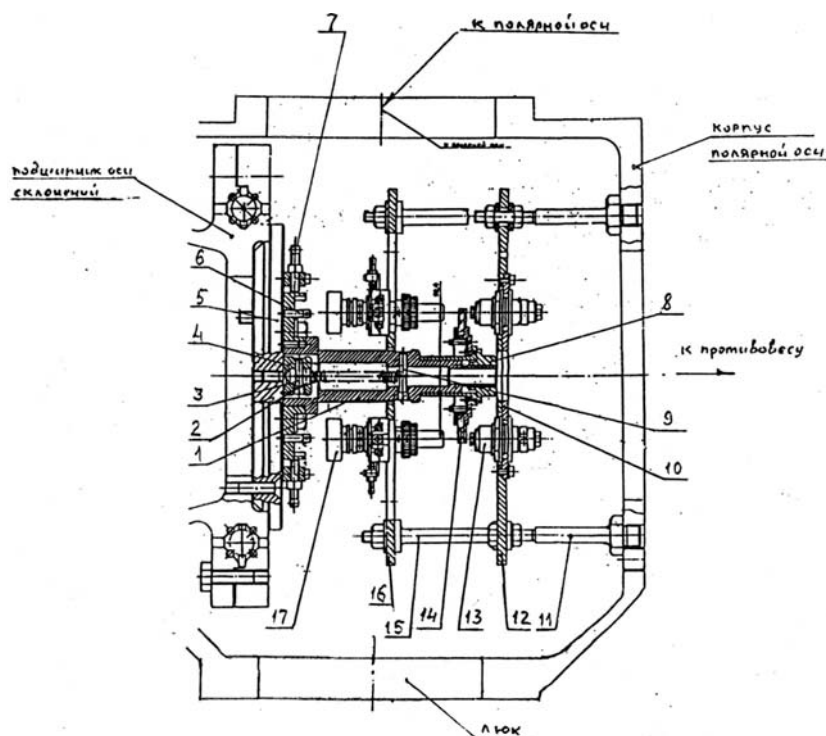


Рис. 2. Конструктивная схема видеоотсчетного устройства (угломера) поворота оси склонений.

Проблема крепления держателя лимба 14 (основная задача) на оси склонений решена следующим образом. К торцу оси склонений, вдвинутому в сферическую полость часовой оси, прикреплен диск 5. Сверление крепежных отверстий в торце втулки оси склонений и нарезание в них резьб представляло определенные трудности. На диске 5 закреплен вал-держатель 1, который отъюстирован на соосность с осью склонений путем его подвижек по диску 5 в поперечном направлении четырьмя регулировочными винтами 7 и наклонами на диске 5 четырьмя регулировочными винтами 6. Для того чтобы вал-держатель 1 во время производственных юстировочных работ надежно примыкал к плоскости диска 5, он (вал-держатель) притянут к диску 5 сильной цилиндрической пружиной растяжения 2, размещенной в осевом отверстии вала-держателя 5. Крючки пружины 2 зацеплены со стороны диска 5 за анкер 4 на этом диске с помощью поперечного пальца 3, а со стороны вала-держателя – на самом держателе – с помощью пальца 9. Стеклолимб 14, оорудованный всеми необходимыми принадлежностями для удержания в плоскости, перпендикулярной оси поворота, и юстировки, посажен на вал-держатель 1 и закреплен на нем торцевой гайкой 8.

Неподвижная часть угломера, а именно, две видеоотсчетные системы 17 (ПЗС-камеры – микрообъективы) и два осветителя 13 закреплены в два этажа на корпусе полярной оси со стороны примыкания к нему противовеса. Пара осветителей 13 размещена на пластине 12, которая удерживается четырьмя стойками 11, ввинченными в резьбовые отверстия в корпусе полярной оси, высвобожденные от болтов крепления противовеса. Стойки 11 имеют устройства для установки плоскости пластины 11 перпендикулярно оси вращения лимба 14. К пластине 11 на стойках 15 крепится пластина 16, несущая пару отсчетных систем 17. Конструкции видеоотсчетных систем 17 и осветителей 13 идентичны тем, что были применены в угломерах телескопа ЗА-320М.

Видеоотсчетное устройство (угломер) полярной оси решено в виде автономного прибора, подсоединенного к полярной оси вне ШГ монтировки. Схема стыковки этого прибора показана на рис. 3.

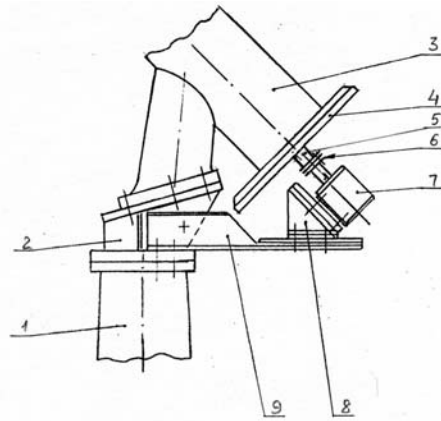


Рис. 3. Схема стыковки видеоотсчетного устройства (угломера) с полярной осью

Для того чтобы внешнюю стыковку удалось осуществить, пришлось, как в случае с угломером оси склонений, дополнить нижний (северный) торец полярной оси валом-удлинителем 5, закрепив его (соосно с полярной осью) на держателе часового круга 4 ШГ 3. Видеоотсчетное устройство 7 (его конструкция будет показана ниже) своим валом состыковано с валом-удлинителем 5 мембранной муфтой 6. Подставкой прибору служит угловая тумба 8, установленная на кронштейне 9. Кронштейн 9 укреплен на клиновидной вставке 2, помещенной между стыковочными фланцами колонны 1 телескопа и его ШГ 3 – элементе подгонки наклона полярной оси к широте нового места установки телескопа (телескоп МТМ-500М был изготовлен на фиксированную широту Пулковской обсерватории).

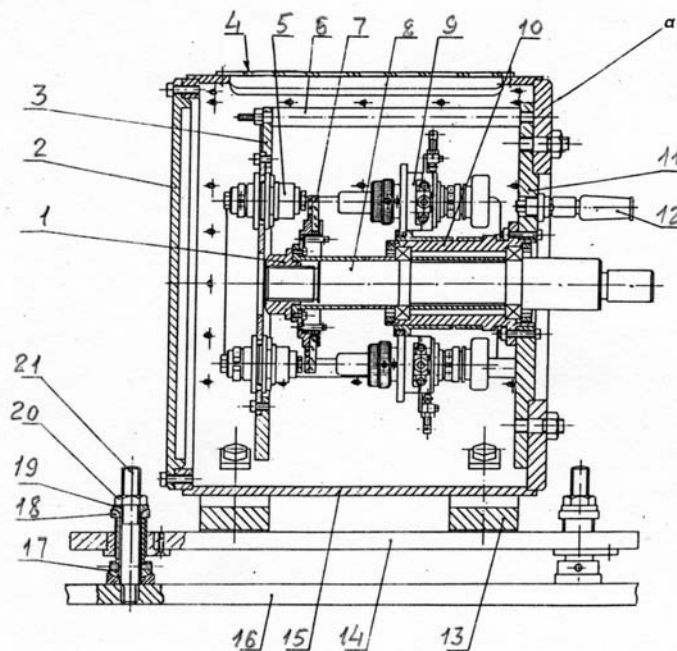


Рис. 4. Конструктивная схема видеоотсчетного устройства (угломера) поворота полярной оси.

Конструктивная схема *видеоотсчетного устройства (угломера)* поворота полярной оси приведена на **рис. 4**. Как было сказано ранее, это совершенно автономный прибор, не зависящий от конструктивных особенностей телескопа. Собственно видеоотс-

четный блок собран из унифицированных узлов, разработанных при модернизации монтировки АПШ-5 комплекса телескопа 3А-320М: видеоотсчетных систем 9, осветителей 5 и покупного стеклянного 20-минутного лимба 7. Основное его отличие от выполненных ранее в доступности всех элементов для сборки и регулировки систем до стыковки с осью ШГ.

Стеклоанный лимб 7 на своей оправке посажен на вал 8 и закреплен на нем торцовой гайкой 1. Вал 8 может вращаться в шарикоподшипниковых опорах втулки-держателя 10, закрепленной на диске 11. На внешнюю цилиндрическую поверхность втулки-держателя 10 посажена конструкция из двух видеосистем 9, размещенных симметрично относительно оси втулки 10 на пластине, перпендикулярной оси втулки 10, и закреплена на посадочном месте фрикционной клеммой (хомутом). К диску 11 на трех стойках 6 прикреплен диск 3, несущий два осветителя 5, соосных видеосистемам 9. Описанная сборка помещена в жесткий цилиндрический кожух 15 и закреплена на переднем его торцовом фланце “а”. В кожухе имеется три смотровых люка, закрытых крышками 4, а задний торец кожуха закрыт крышкой 2. Двумя опорными лапами 13 прибор установлен на плиту 14, которая, в свою очередь, имеет три регулировочные опоры, соединяющие ее и прибор в целом с верхней плитой 16 угловой тумбы-подставки 8 (см. рис. 3). Каждая из регулировочных опор состоит из набора двух конических шайб 18, регулировочного винта 17 со сферической пятой, сферической шайбы 19, контргайки 20 и шпильки 21. Регулируемые опоры позволяют производить подъем-опускание оси вала 8, а также его наклоны при стыковке прибора с валом-удлинителем 5 (см. рис. 3) – искусственным продолжением полярной оси ШГ. Электрические вводы-выводы обеспечиваются разъемом 12, установленном на диске 11.

1.2. Привод часового ведения

Изначально часовое ведение полярной оси телескопа осуществлялось от гиревого механизма типа ЧМ-78А. В кинематическую цепь от выходного валика ЧМ-78А к входному валику малой червячной пары основного червячного зацепления полярной оси был встроены блок механизма “переменных скоростей по прямому восхождению” [4] с набором из шести скоростей по грубому, среднему и точному движениям. Ко времени модернизации телескопа привод претерпел множество преобразований от модернизации механизма подъема грузов до замены ЧМ-78А на электропривод от синхронного двигателя типа СД-10 (220 В, 3000 об/мин) с кинематикой невысокого качества. Попытки применить последний электропривод без изменений не дали положительного результата. Качество часового ведения им полярной оси не удовлетворяло требованиям, предъявляемым к механизмам подобного типа профессиональных астрономических инструментов.

На модернизированном телескопе МТМ-500М применен новый часовой привод от шагового электродвигателя FL57STH76-2804А. В сочетании с червячным редуктором с редукцией 1/25 этот привод обеспечивает плавное ведение полярной оси с суточной скоростью при подаче на шаговый двигатель питающей частоты 75 им/сек. Изменением питающей частоты предоставляется возможность введения коррекций в скорость поворота полярной оси.

1.3. Приводные устройства установочных поворотов осей телескопа

Обе оси, полярная и склонений, ШГ телескопа МТМ-500М изначально снабжены механизмами типа зубчатых зацеплений, механизировавших процессы ручного установочного наведения довольно громоздкой и тяжелой (530 кг) трубы на требуемые участки небосвода. Конструктивно оба механизма однотипны – зубчатые, но различны по кинематическим схемам и сложности, что зависит от приемов управления ими при раз-

личных режимах использования во время наблюдений. Так, если механизм установочного поворота полярной оси по окончании этой работы, при переходе на часовое ведение, должен быть отключен от оси, чтобы не обременять привод часового ведения паразитной “прокруткой” своей кинематики и имеет для этого дополнительный блок, то к механизму установочного поворота оси склонений таких требований не предъявлялось. Последующие после закрепления тормозного хомута-пары трубы телескопа на корпусе оси склонений микроподвижки трубы непродолжительны, и механизм микрометренных подач легко справлялся с холостой “прокруткой” всего одного зубчатого звена.

При модернизации кратко описанных существовавших механизмов к их входным валам пристыкованы вновь разработанные электромеханические устройства, заменившие ручное управление в соответствии с режимами их взаимодействия с осями ШГ.

1.3.1. Привод установочного поворота полярной оси

Кинематическая схема привода установочного поворота полярной оси приведена на **рис. 5**. Представляющий собой единый агрегат, этот привод, тем не менее, состоит из двух блоков: собственно приводного механизма и вспомогательного, участвующего в сцеплении-расцеплении приводного механизма с главным ведомым зубчатым колесом.

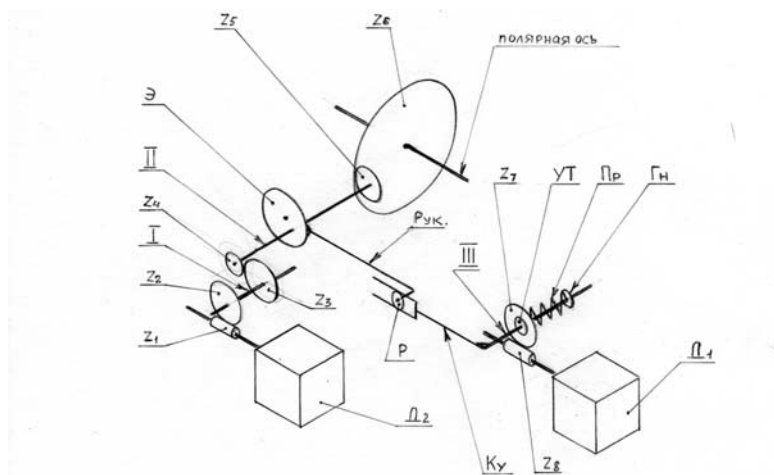


Рис. 5. Кинематическая схема привода установочного поворота полярной оси.

Приводной блок состоит из изначально существующих, собранных в кинематическую цепь, цилиндрических зубчатых колес Z3-Z4-Z5 и конической шестерни Z5, а также новой червячной пары Z1-Z2. Колесо Z6 (коническое) ведомое в этой цепи, жестко соединенное с полярной осью ШГ. Червячное колесо Z2 насажено на входной вал I блока взамен ручного маховичка. Червяк Z1 соединен с электродвигателем Д2. Часть кинематической схемы, составленной элементами Д2-Z1-Z2-Z3, закреплена неподвижно на боковом сквозном приливе корпуса полярной оси. Вал II имеет шарнирные опоры на круглом эксцентрике “Э”, допускающие вращение вала II вокруг собственной оси вместе с колесами Z4 и Z5. Сам эксцентрик “Э” помещен в цилиндрическое посадочное место в боковом приливе корпуса полярной оси, о котором было сказано ранее, и может поворачиваться в нем на некоторый угол вокруг своей оси от рукоятки “Рук”. При повороте эксцентрика “Э” вал II с посаженными на него колесами Z4 и Z5 отклоняется в том или ином направлении от первоначального положения. При этом колесо Z4 обкатывается по колесу Z3, а колесо Z5 либо входит в зацепление с колесом Z6, либо из него выходит. Вспомогательный блок, призванный руководить процессом сцепления-расцепления приводного блока с ведомым колесом Z6 или от него, составлен по схеме рычажно-кулисного механизма с электроприводом. Роль рычага в нем выполняет не-

сколько доработанная рукоятка “Рук” с роликом “Р” на конце. Ролик “Р” вставлен в продольный паз кулисы “Ку” и может в нем кататься при повороте кулисы на некоторый угол. При этом происходит поворот в противоположном направлении рычага “Рук” вынуждающего поворачиваться вокруг своей оси круглый эксцентрик “Э”.

Кулиса “Ку” жестко соединена с валиком III, на который фрикционно посажено червячное колесо Z7, входящее в зацепление с червяком Z8. Привод качания кулисы “Ку” осуществляется от электродвигателя Д1. Необходимое фрикционное усилие в паре червячное колесо – упорная шайба “Ут” создается цилиндрической винтовой пружиной сжатия “Пр”, соосной с валиком III, регулируемое гайкой “Гн”, навинчиваемой на резьбовой конец валика III.

Все элементы вспомогательного блока смонтированы на общей плате, которая закреплена неподвижно на корпусе полярной оси ШГ. Кулиса “Ку” оборудована не показанными на схеме концевыми выключателями, ограничивающими поворот кулисы на расчетный угол. Кроме того, на плате поставлены механические ограничители поворота кулисы на угол больше критического при аварийном выходе из строя одного из концевых выключателей. При возникновении этой нештатной ситуации, при касании кулисы механического ограничителя, срабатывает фрикцион при червячном колесе Z7, предохраняющий от поломок червячную пару Z7-Z8 и электродвигатель Д1, имеющий запас по мощности, чтобы преодолеть момент трения во фрикционе.

В приводах обоих блоков (собственно привода поворота полярной оси и вспомогательного – переключателя) применены шаговые электродвигатели, соответственно, Д1 и Д2, типа FL57STH76 – 2804А.

При подаче на электродвигатель Д2 питающей частоты 1000 имп/сек и общем передаточном числе зубчатых зацеплений, равном 960, полярная ось совершает 1 оборот за 3,2 мин.

При подаче на электродвигатель Д1 питающей частоты 1000 имп/сек, расчетном угле поворота эксцентрика “Э” на 60 градусов, соотношении плеч кулисы “Ку” к рычагу “Рук”, равном единице, и передаточном числе червячного зацепления $Z7 / Z8 = 48$, скорость входа в зацепление или выхода из него пары Z5-Z6 происходит за 1,5 сек.

1.3.2. Устройство установочного поворота оси склонений

В штатном варианте телескопа установочный поворот трубы, пристыкованной средником к оси склонений, осуществлялся от ручного маховика, размещенного на трубе телескопа вблизи оправы главного зеркала. Через систему трансмиссий, составленную из карданных валиков и зубчатых поворотных устройств, маховик подсоединялся к входному валу ведущего зубчатого (прямоугольного) цилиндрического колеса, закрепленного также на среднике трубы, исполнительной зубчатой пары. Ведомое колесо этой пары посажено на корпус оси склонений (неподвижно относительно оси склонений). Микрометрические повороты трубы по оси склонений производились (и производятся после модернизации) работой механизма микрометрических подач, смонтированного на трубе телескопа, при обжатом на корпусе оси склонений тормозном хомуте, с которым вышеупомянутый механизм шарнирно связан [1, с. 392]. При этом повороте трубы (оси) ведущее зубчатое колесо пары, предназначенной для установочного поворота, обкатывалось по неподвижному относительно трубы ведомому зубчатому колесу, увлекая в свое вращение и ручной маховичок. Задача модернизации этого участка ШГ, т.е. замена ручного привода на электромеханический, управляемый дистанционно, решена путем пристыковки нового привода к входному валу ведущего колеса заводской зубчатой пары.

Кинематическая схема электромеханического устройства рассчитана на обеспечение трех режимов работы: Режим 1 – установочный поворот оси склонений при раз-

жатом тормозном хомуте. Режим 2 – “тонкий” поворот оси склонений от механизма микрометричных подач при зажатом тормозном хомуте с обеспечением минимальной дополнительной нагрузки на механизм микрометричных подач, связанный с необходимостью “прокручивать” кинематику электромеханического устройства. Режим 3 – быстрый поворот трубы телескопа вокруг оси склонений вручную при разжатом хомуте и отключенном электродвигателе.

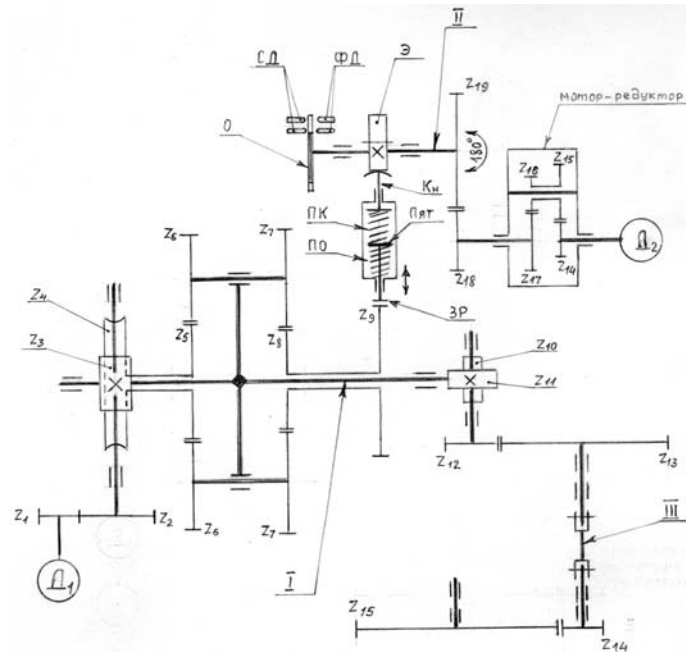


Рис. 6. Кинематическая схема привода установочного поворота оси склонений.

Кинематическая схема электромеханического привода, подключенного карданным валом III к заводской паре Z14-Z15, представлена на рис. 6. Основой привода является планетарный редуктор, составленный из червячной пары Z3-Z4, связанного с ней солнечного колеса Z5, водила I, двух пар сателлитов Z6 и Z7, ведомого колеса Z8, спаренного со вспомогательным колесом Z9, и устройства стопорения спаренных колес Z8 и Z9, смонтированного на корпусе планетарного редуктора.

В режиме установочного поворота оси склонений при застопоренных колесах Z8 и Z9, электродвигатель Д1 через пару Z1-Z2, приводит в действие червячную пару Z3-Z4, червячное колесо Z4 передает вращение солнечному колесу Z5, от него вращение передается на сателлиты Z6 и Z7, и, поскольку спаренные колеса Z8 и Z9 застопорены, сателлит Z7 начинает обкатываться по колесу Z8, вынуждая вращаться водило I, связанное системой из винтовой зубчатой пары Z10-Z11 и цилиндрической зубчатой пары Z12-Z13 с заводской парой Z14-Z15. При этом колесо Z14 обкатывается по колесу Z15, увлекая в поворот ось склонений.

В режиме микрометричной подачи электродвигатель Д1 отключен. В планетарном редукторе колеса Z8 и Z9 расстопорены, а застопоренным оказывается солнечное колесо Z5. Труба, поворачиваясь вместе с осью склонений, вынуждает вращаться ведущее колесо Z14, обкатывающееся по своему ведомому колесу Z15. Вращение колеса Z14 передается на водило, которое заставляет обкатываться сателлит Z6 по солнечному колесу Z5, а сателлит Z7, вращаясь вместе с сателлитом Z6, приводит в свободное вращение спаренные колеса Z8 и Z9. При этом особого сопротивления вращению колеса Z14 не оказывается.

Поясним состав и принцип работы устройства стопорения. Оно размещается в створе колеса Z9 соосно его (колеса) диаметру. Звеном, осуществляющим стопорение-колеса Z9, является стопор “ЗР”. Это часть (отрезок) венца прямозубого цилиндрического зубчатого колеса с внутренним зацеплением, геометрические параметры которого (модуль, делительный диаметр и пр.) такие же, как у колеса Z9, с которым он входит в зацепление. Стопор “ЗР” помещен на каретке в корпус с направляющими и там взвешивается цилиндрическими винтовыми пружинами – с одной стороны возвратной “ПО”, а с другой – нажимной “ПК”. Обе пружины разделены пятаком “Пят”, который стержнем связан с кареткой стопора “ЗР”. Пружина “ПО” нижним торцом упирается в заплечики корпуса стопора, а верхним – в пятак “Пят”. Пружина “ПК” нижним торцом опирается на пятак “Пят”, а верхним – в буфер кнопки “Кн”. Над кнопкой “Кн”, касаясь ее поверхности, расположен круглый эксцентрик “Э” (его конструкция аналогична описанному в п. 4.2 “Тормозное устройство оси склонений” настоящей статьи). Эксцентрик “Э” закреплен на валике II, который через систему зубчатых зацеплений Z19-Z18, редуктора Z17-Z16- Z15- Z14 приводится во вращение электродвигателем Д2. На валике II закреплен также светонепроницаемый диск-оптюратор “О” с двумя диаметрально противоположными щелями разной длины. По обе стороны диска размещены навстречу друг другу неподвижно две пары свето и фотодиодов, которые вместе с диском образуют так называемый датчик положений. Его подробное описание, принцип действия и регулировка приведены в [5, с. 132].

Принцип работы стопора заключается в следующем. Эксцентрик “Э”, находясь в постоянном контакте с поверхностью кнопки “Кн” (так рассчитаны и отрегулированы жесткости пружин “По” и ”Пк”), вращаясь на валике II, сообщает кнопке “Кн” возвратно-поступательное перемещение, которое передается путем взаимодействия пружин “Пк” и ”По” стопору “ЗР”. При накатывании эксцентрика “Э” большим плечом на поверхность кнопки “Кн”, стопор “ЗР” входит в зацепление с колесом Z9, а при развороте меньшим плечом – стопор “ЗР” выходит из зацепления с колесом Z9. Таким образом происходит стопорение и расстопорение колеса Z9 планетарного редуктора. Нежесткая (упругая) связь звеньев цепи эксцентрик-кнопка-стопор, введением в нее упругого элемента – пружины “Пк”, обусловлена неконтролируемой возможностью установки стопора “ЗР” при его ходе на зацепление с колесом Z9 в положение “зуб в зуб”, или где-то близком к этому. Тогда пружина “Пк” временно “берет на себя” этот недосыл, который восполняется началом работы электродвигателя Д1 и прокруткой кинематики планетарного редуктора до колеса Z5. Поворот эксцентрика на половину оборота (180 градусов) с остановкой контролирует датчик его положений. В приводе валика II применен шаговый электродвигатель Д2 типа FL57ST76-2804A, с подачей на него питающей частоты 1000 имп/сек. Кинематическая схема его редуктора и пары Z18- Z19 рассчитана так, что циклы входа стопора в зацепление с колесом Z9 или выхода из него происходит за 0.8 сек.

В приводе установочного поворота оси склонений применен также шаговый электродвигатель Д1 типа FL57ST76-204A. При подаче на него питающей частоты 1200 имп/сек и общем передаточном числе зубчатых зацеплений равном 1270, труба телескопа совершает один оборот по склонению за 3.5 мин.

1.4. Тормозные устройства осей телескопа

Тормозные устройства осей телескопа (хомуты) МТМ-500М, в основном, подобны хомутам параллактических ШГ монтажных типа АПШ, выпускавшихся ГОМЗом – ЛОМО. Они так же состоят из двух жестко соединенных с одного края скоб, оставляя на противоположном месте их стыковки заведомо предусмотренный зазор. Здесь скобы стягиваются специальным винтовым механизмом. Этот винтовой механизм, управляе-

мый вручную, унифицирован и применялся во всех ШГ названных монтаровок, в том числе и в МТМ-500М.

В силу оригинальности монтаровки МТМ-500М, особенно его широтной головки, конструкции ее полярной оси, места размещения главного червячного колеса (в нижней части ШГ) и, значит, размещения вблизи него приданного ему тормозного хомута, иного, чем у монтаровок АПШ механизма микрометричных подвижек, ее тормозной хомут (вернее, одна из его скоб) не имеет характерного кронштейна. Он есть только у хомута, приданного оси склонений. Последний, традиционно, как и в ШГ монтаровок типа АПШ, предназначен для связи тормозного хомута с механизмом микрометричных подач оси склонений. Поэтому для каждого из хомутов МТМ-500М были разработаны индивидуальные приводные механизмы.

1.4.1. Тормозное устройство полярной оси

Тормозное устройство полярной оси показано на **рис. 7**. Фланцы “а” и “б” скоб тормозного хомута 2 и 19 скреплены жестко болтом 1. При этом конструктивный зазор t между противоположными фланцами “в” и ”г” составляет примерно 4 мм. Сквозь фланцы “в” и ”г” скоб пропущен винт 3 с гайкой 4 на внешней стороне фланца “в”. Гайка 4 имеет конструктивные элементы, позволяющие ей самоустанавливаться на опорной поверхности фланца “в” и не проворачиваться при вращении винта 3. На противоположный конец винта 3 (за внешней поверхностью фланца “г”) посажена коническая шестерня 5, зацепленная с однотипной шестерней 6. Винт 3, шестерни 5 и 6 объединены в один блок (узел), который закреплен на фланце ”г” скобы 18.

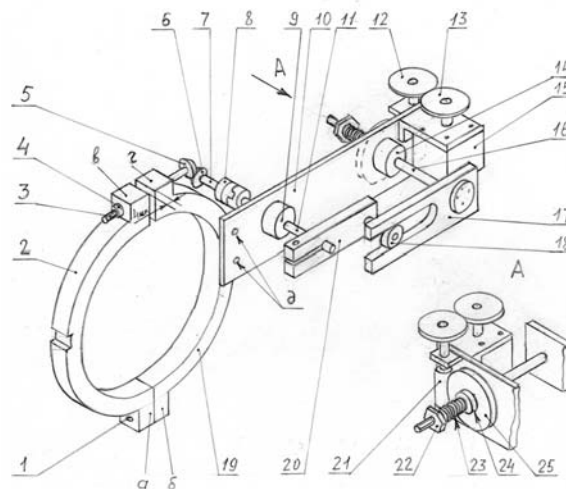


Рис.7. Принципиальная схема устройства тормоза полярной оси.

Валик 7 упомянутого блока плавающей муфты 8 соединен с валиком 11, могущем вращаться в опоре 9, закрепленной на плате 10. Плата 10 является монтажной деталью для блока рычажно-кулисного механизма и скреплена через отверстия “д” с конструктивом полярной оси телескопа (держателем штатного часового круга).

Рычажно-кулисный механизм состоит из рычага 20, закрепленного фрикционной клеммой на валике 11, и кулисы 17. На конце рычага 20 закреплен ролик 18, который помещен в продольный паз кулисы 17 и может вдоль него кататься. Кулиса 17 жестко посажена на валик 16, имеющий возможность вращаться в опоре 14, закрепленной так же, как и опора 9, на плате 10. С обратной стороны платы 10 на валик 16 фрикционно насажено червячное колесо 25, состоящее в паре с червяком 21. Силу трения во фрикционном пакете червячное колесо 25 – плата 10 – шайба 24 создает пружина сжатия 23. Сила нажатия этой пружины на фрикционный пакет регулируется гайкой 22, навинчи-

ваемой на резьбовой конец валика 16. Червяк 21 посредством пары зубчатых цилиндрических прямозубых колес 12 и 13 связан с приводным электродвигателем 15.

Электродвигателем 15 через кинематическую связь элементов 13-12-21-23 задается поворот валика 16 и, вместе с ним, на определенный рабочий угол, кулисы 17. Поворот кулисы ограничен не показанными на принципиальной схеме концевыми выключателями и механическими упорами. Последние являются элементами, страхующими кулису 17 от нештатного поворота при аварийном выходе из строя одного из концевых выключателей. В этом (аварийном) случае при постановке кулисы на упор, срабатывает фрикционная связь с валиком 16 червячного колеса 23, что оберегает электродвигатель от чрезмерной перегрузки и его возможного выхода из строя.

Кулиса 17, поворачиваясь, побуждает, через ролик 18, к повороту рычаг 20 и валик 11. Поворот валика 11 передается конической зубчатой парой 6-5 на винт 3 и его пару – гайку 4. Таким образом, при заданном качании кулисы 17 и рычага 20 происходит ввинчивание-вывинчивание винта 3 в гайку 4 и, соответственно, стягивание или освобождение от стягивающего усилия фланцев “в” и “г” скоб, а в конечном итоге – обжим или разжим хомутом тормозного барабана. При сжатом хомуте главное червячное колесо с хомутом и через его (хомута) систему безлюфтовых связей – с полярной осью передают полярной оси поворот по часовому углу при работающем приводе часового ведения. При разжатом хомуте полярная ось освобождается от главного червячного колеса и может совершать установочные (грубые) повороты по часовому углу от предназначенного для этого привода.

В описанном устройстве применены без доработки следующие штатные детали телескопа: скобы 2 и 19 хомута, винт 3, гайка 4, коническая зубчатая пара 5-6 и валик 7. В качестве приводного двигателя применен шаговый электродвигатель типа FL57ST76-2804A. Электродвигатель, при подаче на него питающей частоты 1000 имп/сек и общем передаточном числе приводного механизма равном 30, обеспечивает надежный сжим скоб хомута на 0.1 мм за 3 сек.

1.4.2. Тормозное устройство оси склонений

Тормозное устройство оси склонений показано на **рис. 8**. С тормозного хомута оси склонений демонтированы детали штатного винтового механизма, с помощью которого, вручную, производился обжим хомутом тормозного барабана – конструктивного элемента на корпусе оси склонений.

Фланцы “а” и “б” скоб 2 и 17 тормозного хомута скреплены жестко болтом 18. При этом конструктивный зазор t , как и в скрепленных скобах хомута полярной оси, между противоположными фланцами “в” и “г” составляет примерно 4 мм. На фланце “в” скобы 2 закреплен кронштейн 3, полка которого направлена в сторону скобы 17 и не соприкасается с ее фланцем “г”. За фланцем “г” скобы 17 с помощью шарнирной оси 4 к кронштейну 3 пристыкован разноплечий угловой рычаг 5. Большее плечо рычага 5 обращено вдоль кронштейна-прилива “д” скобы 17, а меньшее – перпендикулярно большему плечу вниз. В меньшее плечо ввернут стержень 1, упирающийся во фланец “г” скобы 17. С концом большего плеча рычага 5 контактирует круглый эксцентрик 6, являющийся звеном силового приводного механизма.

Приводной механизм состоит из мотор-редуктора (электродвигатель 7 – редуктор 8), пары винтовых зубчатых колес 9-10, трансмиссионного валика 11 и закрепленного на валике 11 эксцентрика 6. Эта кинематическая система поддерживается подшипниковыми опорами 16 (валик 11) и кронштейном-держателем 13 (мотор-редуктор), которые закреплены на общем основании 15. Таким образом собранный узел прикреплен к кронштейну-приливу “д” скобы 17 в створе с линией касания эксцентриком 6 верхней поверхности рычага 5.

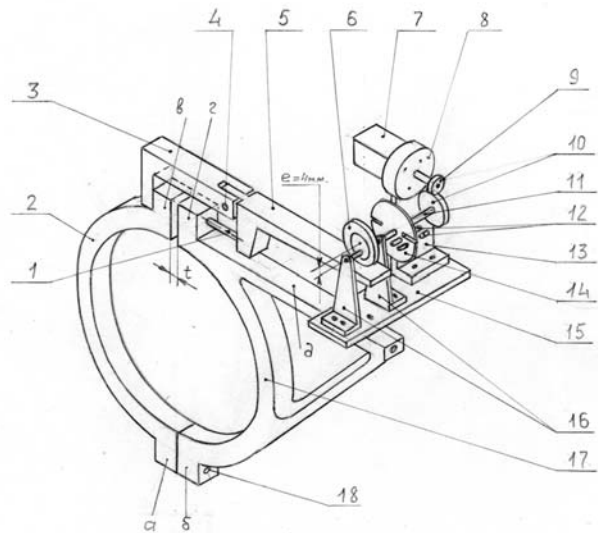


Рис. 8. Схема устройства тормоза оси склонений.

Описанная рычажно-кулачковая система приобретает замкнутость при регулировке лишь одного ее звена – длины стержня 1, путем его вывинчивания или ввинчивания в меньшее плечо рычага 5 до контакта верхней поверхности рычага 5 с поверхностью эксцентрика 6, повернутого к ней своим меньшим плечом.

Эксцентрик 6 состоит из круглого эксцентрика-сердечника, на наружную цилиндрическую поверхность которого посажен шариковый подшипник. Такая конструкция эксцентрика, по сравнению с цельным, позволяет во время его поворота исключить на контактирующих поверхностях трение скольжения, заменив его на трение качения. Это значительно улучшает механические характеристики привода и состояние контактирующих поверхностей.

Дополнительно к описанному следует заметить, что на валике 11 привода закреплен светонепроницаемый диск 14 с двумя радиальными диаметрально противоположными щелями разной длины. Вкупе с двумя парами свето- и фотодиодов 12, размещенных по обе стороны диска друг против друга неподвижно, этот диск образует так называемый датчик положений эксцентрика 6. Его подробное описание, принцип действия и регулировка относительно плечей эксцентрика дано нами в [5, с. 132]

Примененная для выполнения функции сжатия-разжатия скоб хомутов (обжима-разжима хомутом тормозного барабана) рычажная система 1-3-4-5 подобна устройству газового рычажного ключа [8, с. 93]. Ее отличие от аналога, кроме конструктивного, заключается в иной сфере применения, стационарности и постоянстве места расположения шарнирной оси.

Усилие нажима на большее плечо рычага 5 создается эксцентриком 6, вращаемым мотор-редуктором 7-8 при его (эксцентрика) повороте собственным большим плечом к поверхности рычага 5. Нажимное усилие раскладывается на реактивные: нажимное – на фланец “г” через стержень 1, и тянущее – через шарнирную ось 4 к кронштейну 3 и от него на фланец “в” скобы 2. Таким образом, хомуты 2 и 17 стягиваются взаимно. Система отрегулирована так, что циклы сжима и разжима скоб происходят при повороте эксцентрика 6 через каждые 180 градусов.

Этот режим работы с пуском и остановкой работы электродвигателя 7 согласно заданным положениям плеч эксцентрика по их отношению к поверхности касания рычага 5, задается, как было сказано ранее, сигналами датчика положений (диск 14 и две пары свето и фотодиодов 12). На этот режим рассчитаны и зубчатая пара 9-10, и кинема-

тика редуктора 8. Это позволило вращать вал электродвигателя 1 и, следовательно, эксцентрика 6, в одном направлении, без переключений на реверс.

В мотор-редукторе применен шаговый электродвигатель типа FL57ST76-2804A. При подаче на него питающей частоты 1000 имп/сек эксцентрик совершает рабочий цикл за 0.8 сек.

1.5. Модернизация механизма микрометричных подач оси склонений

Механизм микрометричных подач (ММП) оси склонений телескопа МТМ-500М аналогичен механизмам этого назначения, применявшимся в монтировках типа АПШ. Краткое описание этого механизма дано нами в [5, с. 135]. В ходе данной работы ММП модернизирован, в основном, в том же объеме, с некоторыми отличиями от того, что было сделано с ним при модернизации монтировки АПШ-5 (ЗА-320М).

Конструкция модернизированного ММП телескопа МТМ-500М показана на **рис. 9**. Как видно, ММП состоит из собственно винтового механизма 5, основанием для закрепления которого на трубе телескопа служит пластина 6. К входному валу винтового механизма с помощью плавающей муфты 10 пристыкован выходной валик малогабаритного шестиступенчатого цилиндрического редуктора 3 с прямозубыми колесами. Редуктор соран на базе редуктора электродвигателя РД-09 с подбором зубчатых колес и трибок от него же. К корпусу ММП редуктор прикреплен фланцевой втулкой 4 с боковыми отверстиями для визуального контроля сборки плавающей муфты 10. К редуктору 10 фланцем примкнут шаговый электродвигатель 2 типа FL57ST76-2804A. Второй конец валика электродвигателя 2 снабжен маховичком 1 на случай ручного управления наклоном трубы телескопа.

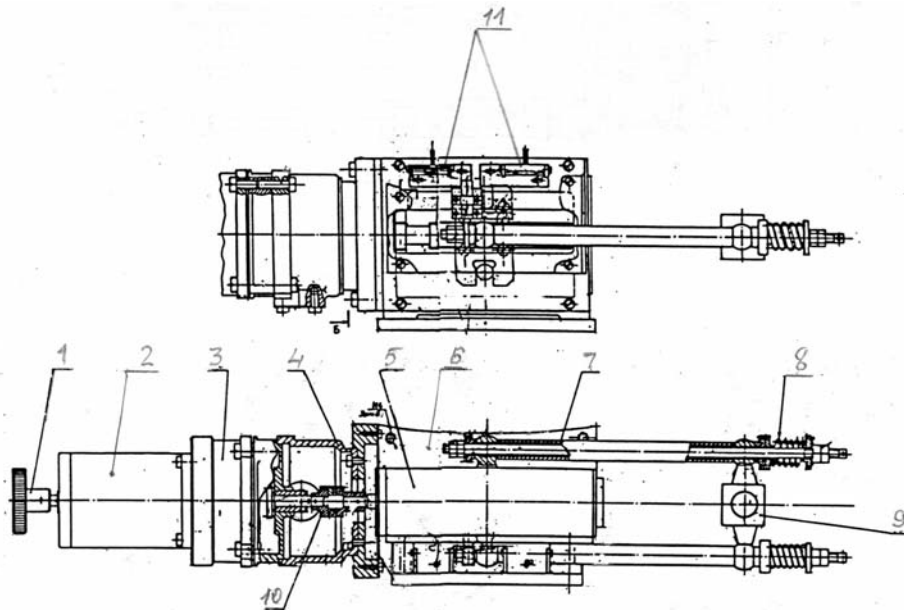


Рис.9. Конструкция механизма микрометричных подач оси склонений.

Как и в модернизированном ММП монтировки АПШ-5, в данном ММП установлены ограничители (концевые выключатели) 11 перемещения его ходовой гайки. Кроме того, использован апробированный опыт модернизации шарнирных связей ММП с рычагом-кронштейном тормозного хомута [7, с. 395] введением в их цепи компенсационных цилиндрических винтовых пружин сжатия 8. Из прежней конструкции использованы дистанционные трубки 7 и шарнир 9, которым осуществляется связь ММП с рычагом-кронштейном тормозного хомута. В рабочем режиме, при подаче на шаговый электродвигатель питающей частоты 1000 имп/сек, ММП обеспечивает микрометрич-

ный (тонкий) поворот трубы телескопа на оси склонений широтной головки со скоростью 6"/сек в диапазоне ± 2 градуса от среднего положения ходовой гайки.

1.6. Узел фокусировки (выдвижка)

Узел фокусировки изображения (выдвижка) – это новое для трубы телескопа МТМ-500М комплектующее изделие. Он смонтирован на оправе главного зеркала взамен держателя первого диагонального зеркала, первоначально применявшейся схемы кудэ, по которой замысливалась работа телескопа. Назначение этого узла – быть несущей конструкцией для приемника светового излучения (ПЗС-камеры), удерживать плоскость матрицы приемника в фокальной плоскости оптической системы телескопа и в случае надобности корректировать положение приемника по отношению к фокальной плоскости путем его подвижек вдоль оси оптической системы.

Конструкция узла фокусировки представлена на **рис. 10**. В ее основу положена выдвижка серийно выпускавшегося отечественной промышленностью автоколлиматора. Из нее заимствованы и незначительно доработаны корпус 2, выдвижной цилиндр 3 и реечная передача: косозубная трибка 8 и косозубая рейка 14. Корпус 2 укорочен. Со стороны примыкания к оправе главного зеркала телескопа на корпус посажена втулка 1, у которой размер буртика D соответствует размеру посадочного отверстия в оправе главного зеркала. Резьбовой выступ “а” на втулке 1 зарезервирован для навинчивания на него отсекаателей или иных устройств, которые понадобится ввести в пучок света.

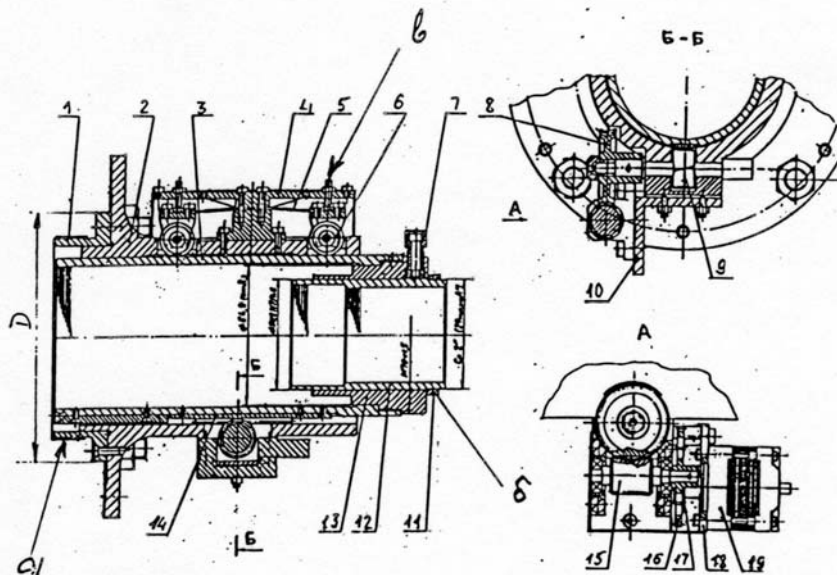


Рис. 10. Конструкция узла фокусировки (выдвижка).

Для устранения поперечного (радиального) люфта выдвижного цилиндра 3 в посадочном месте корпуса 2 на корпусе смонтирован пружинный прижим. Это коромысло, в виде плоской пружины 5, на концах которой закреплены каретки 6 с роликами-шарикоподшипниками. Каретки 6 пропущены сквозь окна в корпусе 2 до касания роликами образующей выдвижного цилиндра 3. Коромысло 5 удерживается опорой 4, закрепленной на наружной поверхности корпуса 2. Сила прижима кареток к поверхности выдвижного цилиндра 3 регулируется упорными винтами “в”, ввернутыми в плечи опоры 4. В выдвижной цилиндр 3 со стороны его выходного отверстия ввернута переходная втулка 13 с посадочным отверстием для помещения в нем штатного тубуса 12 приемника изображений. На тубусе 12 имеется резьба “б” для навинчивания на него

приемника изображений и круглой контргайки 11. Для грубого стопорения тубуса 12 в переходной втулке 13 имеется винтовой фиксатор 7 с прижимным сухариком.

Перемещение выдвижного цилиндра 3 вдоль посадочного места в корпусе 2 осуществляется комбинированной зубчатой передачей от шагового электродвигателя 19 типа ПБМГ-200-265. Зубчатая передача состоит из пары цилиндрических зубчатых прямозубых колес 11-16, червячной пары 15-8 и реечной пары 9-14. Шаговый электродвигатель 19 закреплен кронштейном 18 на уголке 10, прикрепленном к буксе косоубой трибки 9.

Подвижка выдвижного цилиндра 3 ограничена размером длины рейки 14 и составляет ± 10 мм от ее среднего положения. При подаче на шаговый электродвигатель питающей частоты 400 имп/сек скорость перемещения выдвижного цилиндра 3 равна 0.46 мм/сек.

Для визуального контроля размера перемещения выдвижного цилиндра 3 узел оборудован линейной шкалой (цена деления – 1 мм) с отсчетом по нониусу 0.1 мм.

1.7. Ограничитель наклона трубы телескопа вблизи уровня горизонта

Подобный прибор был нами спроектирован и использован для трубы телескопа ЗА-320М. Его принципиальная схема, описание, принцип работы, регулировка и правила монтажа даны в [9, с. 514-515].

Прибор, построенный на применении герметизированных магнитоуправляемых контактов (МК) взамен механических контактных устройств, компактен, обладает большим сроком службы, монтируется в любом месте на трубе телескопа. Его первоначальная конструкция, с незначительными изменениями конфигураций некоторых деталей, связанных с опытом эксплуатации аналога и наличием иных комплектующих, повторена при создании этого образца. Здесь мы ограничиваемся приведением только конструктивной схемы прибора (**рис. 11**), не вдаваясь в подробности его устройства.

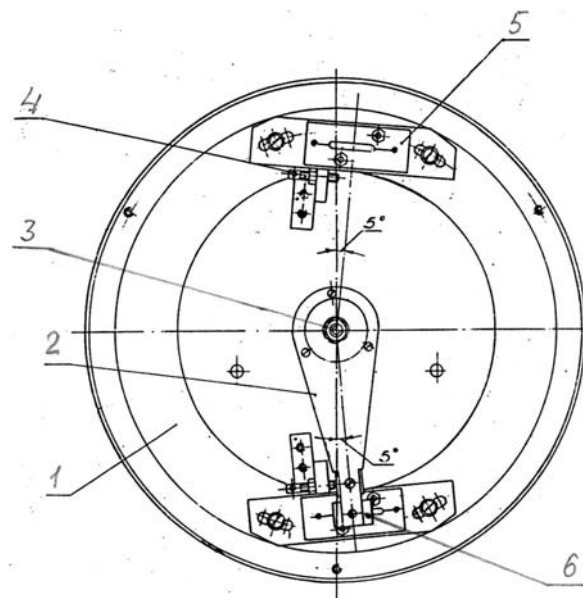


Рис. 11. Конструктивная схема ограничителя наклона трубы телескопа.

В корпусе 1 на цилиндрической шарнирной опоре 3 закреплен маятник 2. Качание маятника 2 вокруг оси шарнира 3 ограничено двумя механическими регулируемыми упорами 4. На границах качания маятника 2 помещены платы 5 с МК (герконами). На свободном конце маятника закреплен постоянный магнит 6. При подходе маятника 2 к

границе качания (при наклоне трубы, близком к уровню горизонта) магнитное поле постоянного магнита 6 воздействует на контакты геркона 5 и замыкает их, давая сигнал управляющей системе на остановку приводов, например, грубой установки оси склонений или какого-либо другого.

1.8. Модернизация купольного оборудования

Павильон телескопа МТМ-500М на Горной астрономической станции (ГАС) ГАО РАН оборудован полусферическим куполом фирмы Цейс. Диаметр купола 6 м. На куполе имеется смотровой люк (щель) шириной 2 м, прорезающий вертикально поверхность купола от горизонта до ее вершины, чуть дальше за зенит. Люк закрыт (открыт) раздвижными створками и до модернизации был оборудован механизмом ручного управления положением створок (сдвинуты-раздвинуты) от маховика (штурвала).

Поворот купола вокруг вертикальной оси осуществляется электроприводом от мотор-редуктора на цевочную передачу 12/525 (цевочное колесо закреплено на подвижном погоне купола). Полный оборот купола происходит за 93 сек.

Поскольку купол с его механическим оборудованием является составной частью наблюдательного комплекса телескопа, исходя из условия его автоматизации, нами были модернизированы два его основных узла. Это привод поворота купола по азимуту и привод раздвигания (сдвигания) створок люка.

1.8.1. Привод поворота купола

Привод поворота купола дополнен *датчиком угла поворота*. Он состоит из закрепленного на выходном валу мотор-редуктора привода светонепроницаемого диска с восемью равномерно распределенными по окружности радиальными щелями двух оптоэлектронных пар. Последние размещены близко к краю диска с шагом между ними в 45 градусов (шаг щелей). При вращении диска сигналы обеих пар в закодированном виде поступают на соответствующий блок управления, в котором они расшифровываются следующим образом: от одной пары – как угол, на который повернулся купол от того репера, символом которого является сигнал от второй оптопары. Цена шага щелей диска, отнесенная к углу поворота купола составляют $1^{\circ}1'42''$.

1.8.2. Механизм раскрытия створок купола

Механизм раскрытия створок купола модернизирован аналогично тому, как это было сделано при модернизации механизма раскрытия створок купола павильона телескопа ЗА-320М в Пулкове [5, с. 138]. Кинематическая схема этого устройства, которым оборудован купол телескопа МТМ-500М, показана на **рис. 12**. Штатный приводной вал створок соединен с валом мотор-редуктора цепной передачей ($i = 1$). Мотор-редуктор составлен из электродвигателя постоянного тока (типа РИК 8-6 / 2,5 (36 V, 0.3 Nm, 1600 об/мин)) и червячного редуктора, соединенных клиноременной передачей ($i = 1/1.5$).

Поскольку электромеханический привод створок закреплен на вращающемся куполе, подача электропитания на него осуществлена через специальный *токосъемник*, аналогичный тому, которым оборудован павильон телескопа ЗА-320М. Обоснование выбранного варианта конструкции токосъемника, его подробное описание, порядок монтажа и использования приведены в [5, с. 138]. Здесь мы приведем конструктивную схему устройства (**рис. 13**) и дадим краткие пояснения к ней.

К подвижной части (куполу) на кронштейне 5 через изоляционные прокладки 6 прикреплены два держателя 4. Посредством цилиндрических шарниров 7 каждый из держателей несет по башмаку (троллею) 8. Снизу к башмакам 8 примыкают контактные пластины 3. Каждая из пластин 3 посажена на две направляющих вилки 2 и подпружинена в них винтовыми цилиндрическими пружинами сжатия 10. Контактные

пластины 3 в своих вилках 2 удерживаются через изоляционные прокладки 1 кронштейном 9, который крепится к неподвижной части павильона.

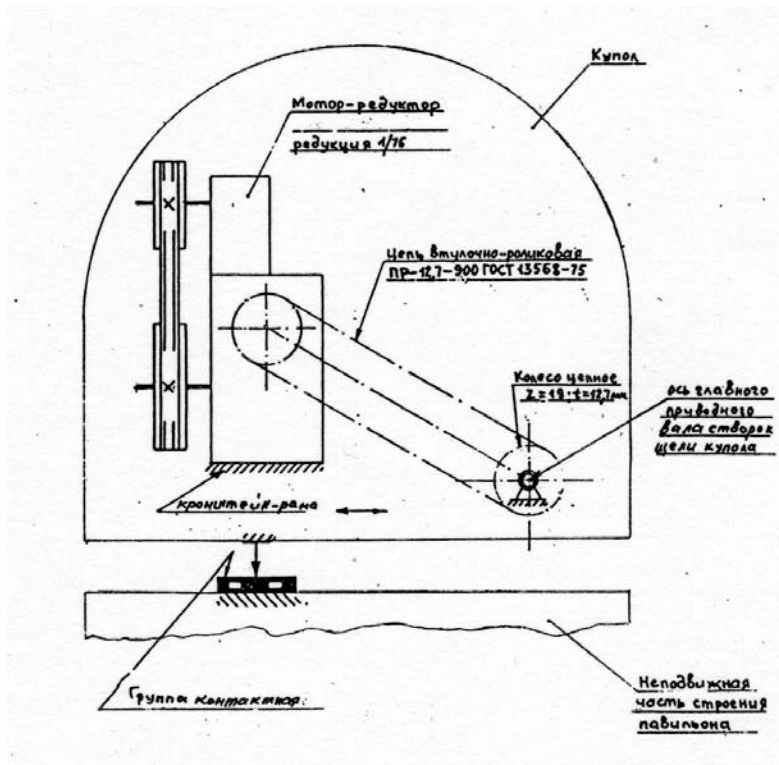


Рис. 12. Кинематическая схема привода створок купола.

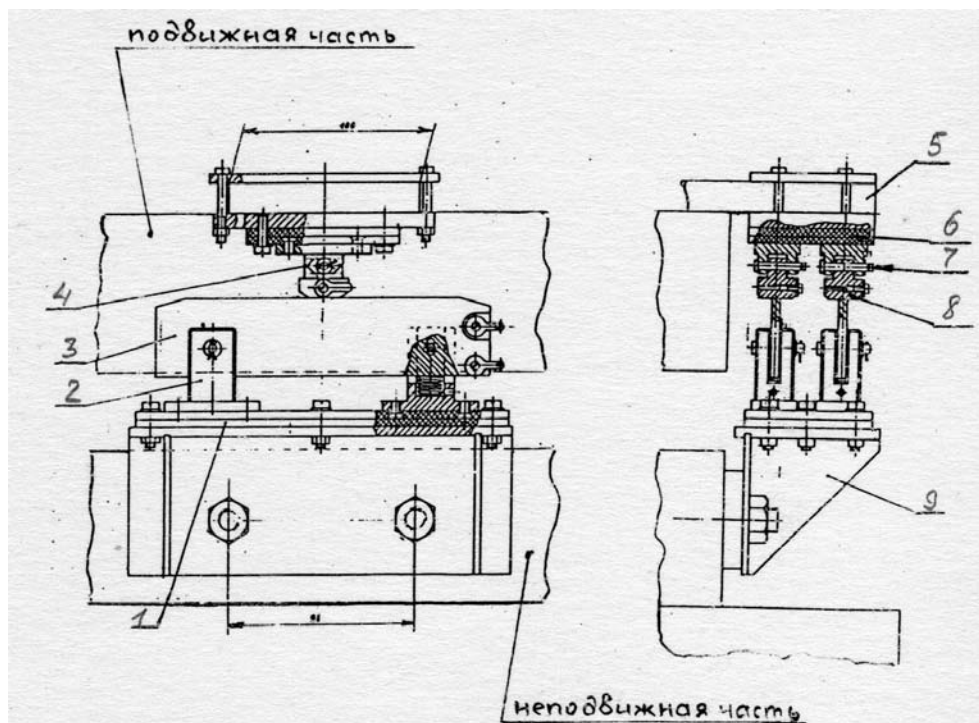


Рис. 13. Конструктивная схема токосъемника.

Токоведущие провода к контактным пластинам 3 и башмакам (троллеям) подключаются непосредственно к каждому из элементов гибкими проводами.

1.9. Вспомогательное оборудование

К этому виду оборудования относится *оптический прибор “Ясное небо”*. Он предназначен для систематического отслеживания в автоматическом режиме видимости Полярной звезды, будучи наведенным на нее постоянно, и, как следствие, оценки состояния неба (оно “есть” или его “нет”) в пункте проведения астрономических наблюдений. Подобный по назначению прибор был создан во время работ по созданию автоматического наблюдательного комплекса ЗА-320М [9, с. 515-517]. Изготовленный тогда оптико-механический прибор затем был трансформирован в оптическую трубку, в фокус которой поместили ПЗС-камеру типа WAT-902А.

Для обслуживания наблюдательного комплекса телескопа МТМ-500М создан также оптический прибор, но на базе термокожуха К 17/2-230 (рис. 14.).

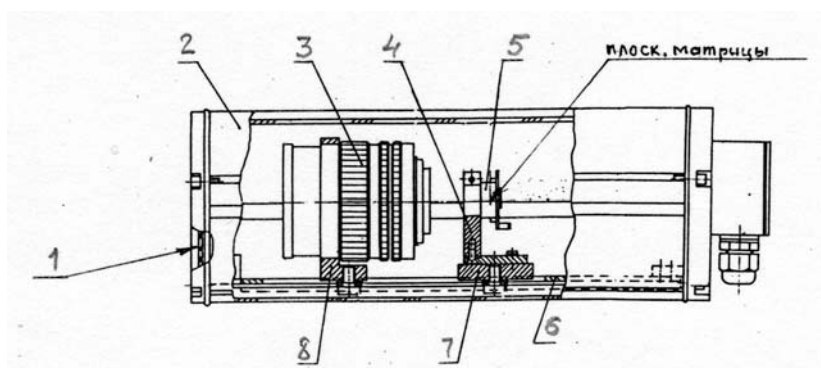


Рис. 14. Прибор “Ясное небо”.

Внутри термокожуха 2 на его скамье-направляющей 6 собрана оптическая схема, состоящая из фотообъектива “МС Калейнар-5Н” (2.8/100) 3 и ПЗС-камеры 5. Фотообъектив крепится к скамье 6 угольником 8. ПЗС-камера 5 прикрепляется к скамье 6 двумя взаимно регулируемые друг относительно друга деталями: угольником 4 и кареткой 7. Внутренний объем термокожуха 2 герметизирован. Входное отверстие термокожуха закрыто защитным стеклом 1. Оптическая система прибора юстируется взаимной подвижкой элементов схемы вдоль направляющих скамьи 6. Прибор укомплектован специальным штатным шарнирным кронштейном, с помощью которого закреплен к участку стены дома, обращенному на север, и направлен на Полярную звезду.

На телескопе также установлено следующее оборудование: гид, лунно-планетная камера и искатель.

2. Электроника приводной части телескопа и купола павильона

2.1. Электроника приводной части телескопа

Электроника приводной части телескопа включает в себя следующие устройства:

- электропривод;
- концевые датчики;
- датчики положения (состояния) механизмов переключения между режимами грубого и тонкого наведения;
- блок коммутации и управления телескопом;
- блок управления двигателем часового и тонкого ведения по часовой оси;
- датчик температуры.

В качестве электроприводов приводящих в движение механизмы телескопа МТМ-500М используются шаговые двигатели марки FL57STH76-2804А с максимальным мо-

ментом удержания 18.9 кг/см. Использование шаговых двигателей хорошо зарекомендовало себя на ранее автоматизированном телескопе ЗА-320М и позволяет снизить конечную стоимость системы управления за счет того, что для управления шаговыми двигателями нет необходимости использовать датчики обратной связи, отслеживающие положение и скорость двигателя. Для определения положения телескопа используется метод считывания показаний лимбов при помощи ПЗС-камеры с микрообъективом и дальнейшей обработкой полученных изображений. После обработки изображений управляющая программа выдает команду, включающую в себя направления вращения двигателя и расстояние, которое он должен преодолеть.

Всего на телескопе установлено 9 двигателей:

- два двигателя грубого наведения (по часовому углу и склонению);
- два двигателя зажима-отжима тормозных хомутов (служат для перевода механики телескопа из режима грубого наведения в режим тонкого и обратно);
- два двигателя фиксаторов (служат для включения-выключения механизма передачи момента вращения от двигателей грубого наведения к телескопу);
- двигатель тонкого наведения по склонению;
- двигатель часового и тонкого ведения по часовому углу;
- двигатель фокусировки.

Концевые датчики необходимы для ограничения движения телескопа при некоторых положениях. В качестве концевых датчиков используются магнитоуправляемые контакты – герконы, которые сигнализируют о приближении телескопа к некорректному положению.

Датчики положения формируют сигналы, необходимые для определения режима (грубого или тонкого наведения), в котором находится механика телескопа. В качестве датчиков положения используются как оптические датчики – реагирующие на наличие или отсутствие света некоторой величины в своем оптическом канале, так и магнитные переключатели (герконы).

2.2. Блок коммутации и управления

Датчики и электропривод подключаются к **Блоку коммутации и управления телескопом (БКУ МТМ-500М)**. БКУ МТМ-500М является функционально законченным устройством в едином корпусе, усовершенствованием системы уже используемой на автоматизированном телескопе ЗА-320М. Благодаря размещению системы управления в одном корпусе, использованию новой элементной базы и современных технологий удалось снизить цену устройства и массо-габаритные показатели, снизить энергопотребление и повысить отказоустойчивость системы управления в целом.

БКУ МТМ-500М имеет два независимых канала управления шаговыми двигателями. В каждом из двух каналов имеется по четыре силовых драйвера, к которым подключаются двигатели, т.е. всего к блоку можно подключить восемь шаговых двигателей. Силовые драйвера увеличивают мощность выходного сигнала до заданного уровня, который регулируется для каждого двигателя отдельно. Выбор двигателя (внутри канала), которым необходимо управляется в данный момент, осуществляется в блоке при помощи специальных сигналов включения-выключения. В состоянии включено двигатель подключается к соответствующему каналу. Двигатели, подключенные к разным каналам, могут вращаться одновременно, такой подход позволяет упростить систему управления за счет снижения числа выходных каналов.

Кроме управления шаговыми двигателями БКУ МТМ-500М выполняет ряд дополнительных функций: опрос состояния концевиков и датчиков положения, вырабатывает сигналы управления для привода купола, створок люка и часового ведения, проверяет соответствие сигналов датчиков установленному режиму, анализ аварийных си-

туаций и другие. Также в блок встроены дополнительные программируемые выводы (как входные, так и выходные), что позволяет подключать к нему новые внешние устройства (дополнительные концевики, датчики, исполнительные устройства) и обрабатывать получаемые от них данные, таким образом система управления становится расширяемой.

К БКУ подсоединены следующие датчики:

- 1) Датчики на часовой оси:
 - а) датчик состояния хомута (зажат – отжат) – герконы;
 - б) датчик состояния механизма фиксации – герконы;
 - в) датчики ограничения движения телескопа по часовой оси (концевики по α) – герконы.
- 2) Датчики на полярной оси:
 - а) датчик состояния хомута (зажат – отжат) – оптический;
 - б) датчик состояния механизма фиксации – оптический;
 - в) датчики ограничения движения телескопа по полярной оси (концевики по δ) – герконы.
- 3) Датчики купола павильона:
 - а) нульпункт купола – геркон;
 - б) датчик вращения купола – оптический.

БКУ МТМ-500М имеет интерфейс RS-232 для связи с компьютером и работы в автоматическом режиме, а также, может управляться в ручном режиме от пульта управления (ПУ). В ручном режиме двигателя можно включить-выключить и задать им направление вращения. В автоматическом режиме двигатели управляются по протоколу Step&Dir – направление вращения число шагов. Для переключения режимов управления “Ручное/ЭВМ” на передней панели блока есть специальная кнопка.

В целом процесс работы БКУ МТМ-500М выглядит следующим образом. Блок, получая команды от компьютера или ПУ, считывает состояние концевиков и датчиков положения и в зависимости от полученной информации формирует сигналы управления двигателями и другими исполнительными устройствами.

2.3 Устройство часового ведения

Для осуществления тонкого и часового ведения по часовому углу на телескопе используется один двигатель с изменяемой скоростью вращения, что позволяет упростить механическую часть привода, но требует дополнительных затрат от системы управления двигателем. Этот двигатель управляется отдельно **Блоком Управления Часового Механизма (БУЧМ)**, который представляет собой автономный и функционально законченный блок управления шаговым двигателем. БУЧМ подключается к БКУ МТМ-500М как исполнительное устройство и получает следующие команды: включение-выключение часового ведения, выбор скорости тонкого ведения и направления вращения двигателя. Особенностью устройства часового и тонкого ведения является возможность подключения к нему сигнала частотой 1 Гц от приемника GPS. При помощи этого сигнала осуществляется синхронизация частоты внутреннего генератора устройства и привязка к ней скорости вращения двигателя часового ведения. Такой подход позволяет существенно упростить и удешевить устройство за счет отказа от создания сложного высокостабильного генератора, нет необходимости использовать специальные кварцевые резонаторы и выполнять термостабилизацию генератора. Вместо этого можно использовать любой кварцевый резонатор, а его стабилизация выполняется программным способом путем подсчета числа вырабатываемых генератором

импульсов за период сигнала, принимаемого от GPS. Таким образом, частота генератора жестко привязывается к высокостабильному сигналу, принимаемому от GPS.

2.4. Устройство фокусировки

При изменении температуры необходимо перефокусировать телескоп. Так как на телескопе не установлен механический термокомпенсатор, необходимо очень тщательно фокусировать телескоп. Для этой цели установлено специальное устройство фокусировки, снабженное шаговым двигателем. Для отслеживания температуры на монтажке телескопа установлен термодатчик (электронный термометр), подключаемый к компьютеру посредством USB интерфейса. Управляющая программа считывает показания термометра и при изменении температуры посылает БКУ МТМ-500М команды, необходимые для перефокусировки телескопа и компенсации тем самым температурного сдвига. Таким образом, получается, что соединенные в замкнутый контур управления термодатчик и устройство фокусировки представляют собой электронный термокомпенсатор.

2.5. Электроника приводной части купола

Электроника приводной части купола включает в себя следующие устройства:

- электропривод;
- концевые датчики;
- датчик вращения купола;
- блок коммутации силовой;
- прерыватель тока;
- блок питания.

Купол павильона приводится в движение трех фазным асинхронным двигателем через редуктор. Включением и выключением двигателя, и направлением его вращения управляет **Блок коммутации силовой (БКС)**, который в зависимости от команд, полученных от БКУ или установленных на нем тумблеров (тумблера имеют приоритет в управлении), подключает двигатель к 3-фазному напряжению сети ~380 В, чередование фаз которого определяет направление вращения двигателя.

Кроме управления куполом, БКС управляет подачей напряжения на двигатель створок купола, т.е. управляет закрытием-открытием створ. В качестве привода створ используется двигатель постоянного тока. Напряжение постоянного тока 30 В для двигателя створ выдается **Блоком питания (БП)**, который подключается к БКС. В БКС задается полярность напряжения питания двигателя и соответственно направление его вращения. К двигателю напряжение от БКС передается через шины токоъемника (тролли), которые неподвижно установлены на стене павильона. На подвижной части купола есть специальные башмачки, при наезде которых на тролли двигатель створ подключается к напряжению, сформированному в БКС. Таким образом, открыть и закрыть створы купола возможно лишь при одном положении купола.

На створах купола установлены специальные концевые датчики, которые сигнализируют о состоянии створ (открыты – закрыты). Сигнал с этих датчиков поступает на схему **Прерывателя тока (ПТ)**, которая установлена на куполе. Прерыватель тока, получив сигнал с концевого датчика, разрывает цепь питания двигателя и тем самым прекращает движение створ.

Для определения положения купола используется специальный щелевой оптический **Датчик Вращения Купола (ДВК)**. ДВК состоит из двух оптопар с открытым оптическим каналом, установленных неподвижно, и диска с прорезями, установленного на валу, передающем момент вращения двигателя к подвижной части купола. При вра-

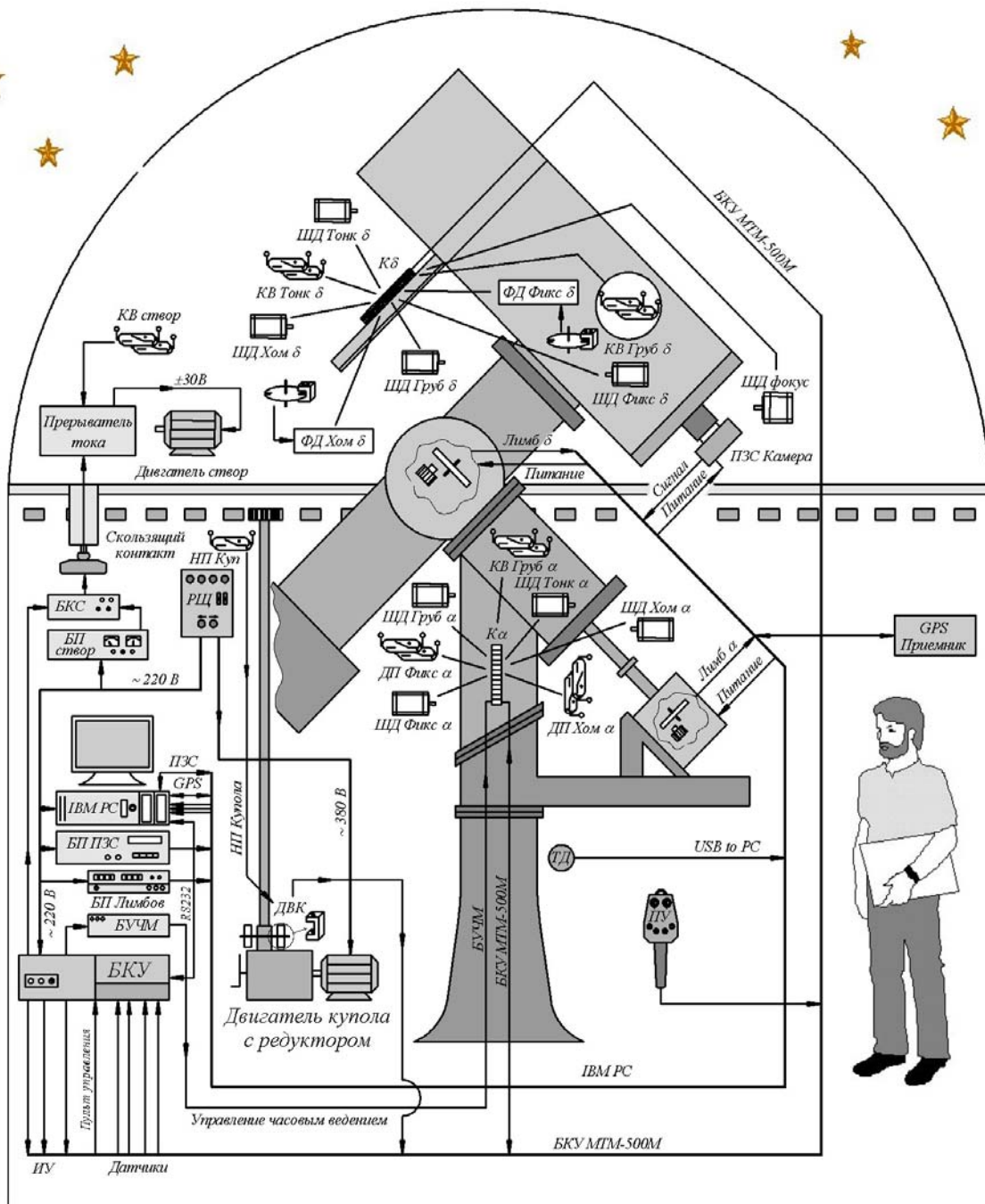


Рис. 15. Функциональная схема телескопа МТМ-500М (ШД Груб (Тонк) α (δ) – шаговый двигатель грубого (тонкого) наведения по α (δ), ШД Хом (Фикс) α (δ) – шаговый двигатель механизма зажатия - отжатия хомута (фиксации) по α (δ), КВ Груб (Тонк) α (δ) – концевые датчики (концевики) ограничивающие движение телескопа по оси α (δ), КВ створ – концевики ограничивающие движение створ купола, ФД (ДП) хом (фикс) α (δ) – фотодатчик (датчик положения) состояния механизма хомута (фиксации) по α (δ), К α (δ) – контактные клеммы для подключения устройств на оси α (δ), НП Куп – нуль-пункт купола, ДВК – датчик вращения купола, РЩ – распределительный щиток, БКС – блок коммутации силовой, БП – блок питания, БУ ЧМ – блок управления часовым механизмом, БКУ – блок коммутации и управления, ИУ – исполнительные устройства, ПУ – пульт управления, ТД – термодатчик.

шении диск с прорезями пересекает оптический канал оптопары, и сигнал о наличии или отсутствии прорези передается в БКУ, где подсчитывается число прорезей и осуществляется коррекция ошибок в случае их возникновения. Ширина прорезей и расстояние между ними равны. Расстояние между оптопарами составляет четверть ($\pi/2$) периода следования прорезей диска. Это позволяет определять направление вращения купола. Число прорезей на один оборот купола равно 359, что позволяет определить положение купола с точностью до ± 20 минут. Данный датчик не является абсолютным – не сохраняет своего значения при выключении, поэтому при включении его необходимо инициализировать – определить начальное положение. Для этого имеется датчик нуля-пункта, в качестве которого служит геркон, конструктивно связанный с ДВК. Соответственно, на подвижной части купола установлен магнит, при прохождении которого над герконом, вырабатывается сигнал нулевого положения, который обрабатывается в БКУ. Текущее положение купола можно узнать, послав соответствующий запрос от компьютера в БКУ.

3. Модернизация оптической системы телескопа МТМ-500 и ее новые абберационные характеристики

С целью улучшения качества изображения оптической системы менискового телескопа МТМ-500М в ее состав был введен малый ахроматический менисковый корректор сферической абберации и комы, установленный в сходящемся пучке лучей перед касегреновской фокальной плоскостью на расстоянии примерно 0,5 метра от нее. Такие корректоры ранее были предложены Д.Д. Максотовым, но их параметры и абберационные характеристики детально определены не были. Применение подобного корректора в телескопе МТМ-500 представляло практический интерес.

Поэтому в ОАП ГАО ведущим конструктором Ю.А. Бубновым и главным инженером-конструктором А.В. Шумахером были выполнены, с использованием программ “ОРТИС”, абберационные расчеты ряда вариантов основной системы телескопа МТМ-500М с включением дополнительного корректора. Анализ результатов расчетов модернизированной системы МТМ-500М показал следующее:

Концентрация энергии K_{Σ} (в %) в плоскости наилучшей фокусировки (ПНФ) в полихроматических кружках изображения для одних и тех же диаметров кружков в системе со вторым малым корректором выше, по меньшей мере, на 25 %. То есть, например, в системе без дополнительного малого корректора, в полихроматическом кружке рассеяния диаметром $\varnothing = 0,064$ мм концентрация энергии $K_{\Sigma} =$ от 43,6 % до 55,5 %, а в кружке диаметром $\varnothing = 0,09$ мм $K_{\Sigma} =$ от 68,7 % до 73,5 %. В модернизированной системе МТМ-500М в той же плоскости ПНФ с дополнительным малым корректором будем иметь: в полихроматических кружках диаметром $\varnothing = 0,064$ мм $K_{\Sigma} =$ от 58,4 % до 68,7 %, а в кружках диаметром $\varnothing = 0,09$ мм $K_{\Sigma} =$ от 81,5 % до 83,54 %.

При этом также очень важно иметь в виду, что в исправленной оптической системе (с минимальными абберациями) максимальное количество энергии всегда концентрируется в центральном максимуме дифракционного изображения светящейся точки и равно $K_{\Sigma} =$ от 83,0 %. Остальные 17 % света распределяются в дифракционных кольцах. Соотношения между абберационными параметрами справедливы для всего поля зрения телескопа МТМ-500М $2W' = 0^{\circ}30'$ и линейного поля диаметром $\varnothing \approx 35$ мм.

Кома. Наибольший размер пятно комы $3r$ (мм) имеет в меридиональном направлении, т.е. вдоль радиусов линейного поля зрения. В модернизированной системе МТМ-500М размеры ее пятна находятся в диапазоне величин от 5 до 12 мкм, что в среднем в 5-6 раз меньше диаметров кружков рассеяния и в границах поля зрения ($2W' = 0^{\circ}30'$) не выходят за пределы диаметров этих кружков.

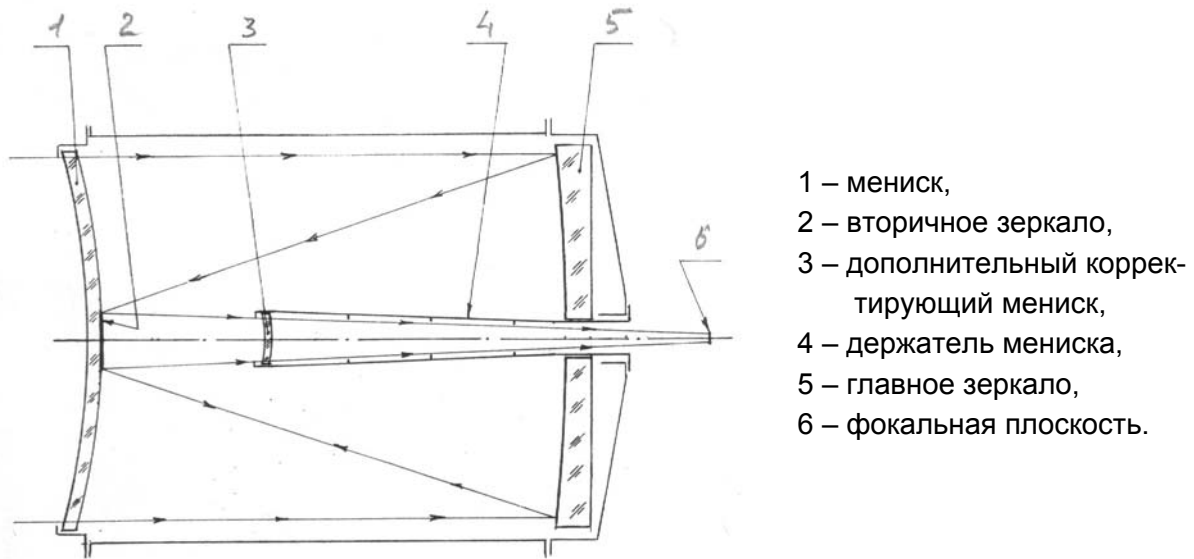


Рис. 16. Оптическая схема телескопа МТМ-500М.

4. Программное обеспечение для датчика угла поворота

Для автоматического определения положения трубы телескопа на МТМ-500М было установлено видеоотсчетное устройство, аналогичное тому, которое функционирует на телескопе ЗА-320М. Подробная схема и описание принципов работы данного устройства приведена в статье [9].

Основными элементами данного видеоотсчетного устройства являются лимб и ПЗС-камера, предназначенная для захвата изображения с лимба. На телескопе МТМ-500М присутствует два лимба: один для прямого восхождения, другой – для склонения. На телескопе установлены два видеоотсчетных устройства, которые в процессе наведения трубы на объект снимают изображения с обоих лимбов для их автоматического распознавания.

Программа распознавания отсчетов с лимбов, в целом, аналогична установленной на телескопе ЗА-320М и описана в той же статье [9]. Однако в нее были внесены некоторые изменения, связанные с особенностью оптической системы видеоотсчетного устройства для МТМ-500М.

Прежде всего, была упрощена и оптимизирована схема проверки цифр и штрихов на подлинность (очистение от «пятен») [10].

В качестве одного из критериев подлинности цифр на ЗА-320М использовалось расстояние цифры от верхнего края изображения. В случае с МТМ-500М от такой привязки было решено отказаться, поскольку расстояние цифр от края кадра сильно зависит от эксцентриситета лимба. Поэтому вместо алгоритма, использующего расстояние цифры от верхнего края, был реализован более общий алгоритм, в котором взамен используется средняя высота цифры и статистика расстояний от верхнего края изображения для всех цифр на данном кадре.

Для области штрихов алгоритм очищения от пятен также был усовершенствован. Был добавлен критерий распознавания штрихов по характерному признаку, заключающемуся в их форме и расположении.

Фон изображений с обоих лимбов для МТМ-500М (рис. 17), в сравнении с ЗА-320М, практически однороден. Поэтому в ряде случаев была реализована возможность обработки кадра без предварительного снятия фона, что позволило увеличить производительность программного пакета в целом.

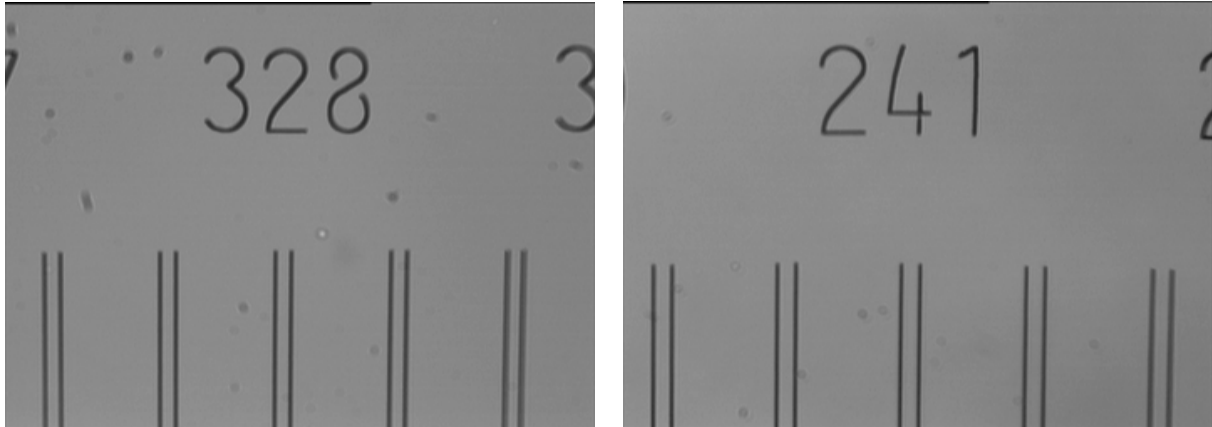


Рис. 17. Изображения с лимбов по часовому углу (*слева*) и склонению (*справа*).

5. Программное обеспечение системы управления МТМ-500

Модульный подход к разработке программного обеспечения, использованный нами при реализации системы управления ЗА-320 [5], позволил нам задействовать на МТМ-500 тот же самый набор программ управления. Он включает службу точного времени AccuTime, систему управления ПЗС-камерой CameraControl и систему управления телескопом и планирования наблюдений CHAOS. Работа данного программного комплекса с точки зрения оператора выглядит идентично управлению телескопом ЗА-320. Все отличия, связанные с различиями конструкций обоих телескопов и другой реализацией некоторых элементов аппаратной платформы, учтены на уровне модулей нижнего уровня и не отражаются на пользовательском интерфейсе системы. Эти отличия указаны ниже.

Аппаратный интерфейс системы управления МТМ-500 реализован таким образом, что протокол управления системой по последовательному порту практически полностью повторяет протокол управления блоками АГАТ и БКУ на ЗА-320 [5]. Небольшие отличия этих протоколов вызваны следующими причинами:

1) Блок управления МТМ-500 связан с компьютером одним последовательным соединением вместо двух отдельных для блоков АГАТ и БКУ на ЗА-320.

2) Тонкое движение МТМ-500 по часовому углу реализовано по-другому, чем на ЗА-320. В частности, перемещение задается не числом шагов привода, а временем его работы.

3) На МТМ-500 имеется ряд узлов, отсутствующих на ЗА-320 и требующих дополнительных команд управления. Это узел фокусировки и датчик температуры воздуха.

Таким образом, по причине функциональной схожести блоков управления ЗА-320 и МТМ-500 и совпадения протоколов связи с компьютером модуль аппаратного интерфейса аппаратуры, входящий в систему CHAOS, потребовал лишь минимальной доработки. В текущей реализации данный модуль поддерживает оба варианта системы управления, автоматически определяя, какой из них используется.

Еще одним отличием системы управления МТМ-500 является использование GPS-приемника в качестве датчика точного времени. В системе задействован серийно выпускаемый в ГАО РАН приемник на базе набора микросхем Trimble Resolution T. В составе службы точного времени AccuTime реализован программный интерфейс для этого приемника, использующий набор команд TSIP (Trimble Standard Interface Protocol). Со стороны других компонент системы (CHAOS и CameraControl), являющихся потребителями точного времени, никакого отличия в использовании различных источников времени нет.

Система управления ПЗС-камерой CameraControl не потребовала каких-либо изменений при использовании в составе МТМ-500. На данный момент она поддерживает серийные ПЗС-камеры и турели производства компаний FLI, SBIG и Apogee.

Кроме того, во все компоненты программного комплекса были внесены некоторые улучшения, в частности, повышена устойчивость к сбоям работы аппаратуры и расширен объем информации о состоянии системы и условиях наблюдений, фиксируемой в заголовках ПЗС-кадров.



Рис. 18. Телескоп МТМ-500М на Горной астрономической станции ГАО РАН.

Заключение

В заключение авторы статьи приносят искреннюю благодарность сотрудникам отделов Астрономического приборостроения и Позиционной астрономии, рабочим Опытного производства ГАО РАН Л.М. Парвицкой, И.Н. Тихоновой, А.В. Потаповичу, Б.Н. Смирнову, И.Н. Кондратенко, А.С. Бехтевой, А.А. Ильину, Л.Д. Ермолаеву, В.П. Колосову, П.В. Игнатьеву, О.П. Невструеву, О.П. Русакову, принявшим участие в конструировании, изготовлении и сборке механизмов модернизируемого комплекса, стендовых испытаниях, монтаже телескопа на Горной астрономической станции ГАО РАН, а также заведующему ГАС ГАО А.Г. Тлатову, заместителю заведующего ГАС ГАО М.Г. Серкову за содействие в монтажных работах на месте установки телескопа МТМ-500М.

Литература

1. *Rolf Riekher.* Fernrohre und ihre meister. // VEB Verlagstechnik, Berlin, 1957, с. 396.
2. *Михельсон Н.Н.* Астрономическое приборостроение в СССР. Некоторые итоги комплексных астрономических исследований в СССР // Астросовет АН СССР, М., 1978.

3. Дейч А.Н. Восстановление Главной астрономической обсерватории Академии наук СССР // Астрономический календарь. Ежегодник, 1953. ГИЗ Технико-теоретической литературы, М., 1952.
4. Менисковый телескоп 500/6520 МТМ-500М. Описание и руководство к пользованию // машинописный текст.
5. Канаев И.И., Девяткин А.В., Кулиш А.П., Рафальский В.Б., Виноградов В.С., Куприянов В.В., Корнилов Э.В. Автоматизация астрономических наблюдений на зеркальном астрографе ЗА-320М // Изв. ГАО №216, 2002, с.128–156.
6. Канаев И.И., Девяткин А.В., Кулиш А.П., Грищук А.Н., Шумахер А.В. // Система наведения зеркального астрографа ЗА-320М, Изв. ГАО №214, 2000, с. 523-532.
7. Кулиш А.П., Девяткин А.В. Модернизация узлов микрометрических подач монтировки АПШ-5 автоматизированного зеркального астрографа ЗА-320М // Изв. ГАО №218, СПб, 2006, с. 391-396.
8. Артоблевский И.И. Механизмы в современной технике, т.1, М.: Наука, 1979.
9. А.В. Девяткин, И.А. Верещагина, А.П. Кулиш, А.В. Шумахер, В.В. Куприянов, А.С. Бехтева. Оптический датчик угла поворота автоматизированного телескопа ЗА-320М Пулковской обсерватории // Оптический журнал, том 75, № 1, 2008.
10. И.А. Верещагина, А.С. Бехтева, В.В. Куприянов. Автоматизация процесса астрономических наблюдений на зеркальном астрографе ЗА-320М // Изв. ГАО, №218, 2006, с.327-338.

AUTOMATION OF TELESCOPE SYSTEM FOR МТМ-500М

**Kulish A.P., Devyatkin A.V., Rafalsky V.B., Ibragimov F.M., V.V.Koupryanov,
Vereschagina I.A., Shumacher A.V.**

Summary

The automation of МТМ-500М telescope is made. The modernized nodes of the telescope, electronic equipment and software are described.

ВЛИЯНИЕ КОСМОГЕННОЙ ЭМИССИИ ИНФРАЗВУКА НА ДИНАМИКУ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ

Медведев М.Ю.

Рассматривается механизм опосредованного через акустическую эмиссию воздействия турбулентных магнитодинамических возмущений параметров солнечного ветра на вертикальный перенос больших аэрозольных частиц в средней части стратосферы.

Введение

Изменение оптических характеристик атмосферы, сопутствующее протонным вспышкам, повторяемость которых служит одним из основных показателей солнечной активности, обычно обсуждается в связи с вопросом о факторах, стимулирующих процесс формирования стратосферного аэрозоля [1-4]. Однако с климатологической точки зрения не менее важным представляется выявление комплекса факторов, от которых зависит время пребывания аэрозольных частиц в различных слоях стратосферы. Особого внимания в этом плане заслуживает средний слой, характеризующийся устойчивостью термической стратификации, повышенным содержанием озона, а также эпизодическим появлением аэрозольных скоплений, называемых стратосферными или перламутровыми облаками. Имеющиеся в литературе (см., например, [5]) сведения о времени пребывания в указанном слое частиц, относящихся к разряду больших (или среднедисперсных), указывают на непригодность оценки этого показателя, получаемой в предположении о доминировании гравитационного фактора. Вместе с тем в условиях устойчивой стратификации атмосферная турбулентность не может служить препятствием гравитационному осаждению аэрозольных частиц. Эта функция осуществляется посредством других механизмов, среди которых рассматриваемый здесь выделяется наличием генетической связи с магнитогидродинамическими возмущениями межпланетной плазмы и сопутствующими им турбулентными флуктуациями параметров солнечного ветра.

Космогенная акустическая эмиссия:

механизм генерации, количественные характеристики

Механизм, посредством которого в верхней атмосфере осуществляется генерация инфразвуковых волн, описан в [6]. Авторы этой работы исходят из того, что космогенная акустическая эмиссия поддерживается за счёт энергии, передаваемой в окрестность земной магнитосферы гидромагнитными волнами и разрывами, хаотически возникающими на фоне макромасштабной структуры солнечного ветра. В спокойных условиях основную роль здесь играют быстрые магнитозвуковые волны, поскольку им сопутствуют отчётливо выраженные флуктуации плотности межпланетной плазмы [7]. В переходном слое между головной ударной волной и границей магнитосферы флуктуация плотности трансформируется в энергетически равноценную флуктуацию напряженности магнитного поля. Последняя, в свою очередь, порождает вторичную магнитозвуковую волну, распространяющуюся от границы магнитосферы к ионосфере. В нижней части ионосферы она превращается в обычную акустическую волну. Это происходит на расстоянии от земной поверхности, определяемом из условия равенства фазовой скорости вторичной волны и скорости звука в нейтросфере (нейтральной атмосфере).

Эффект диссипации учитывается только в ионосферном звене, где он обусловлен магнитной вязкостью, чем и определяется верхний предел частотного диапазона, в котором возможно существование космогенных инфразвуковых волн. Нижний предел

оценивается общепринятым в атмосферной акустике способом [8]. Следует отметить, что все количественные характеристики космогенного инфразвука вычисляются в рассматриваемой работе в приближении плоской волны. Наибольший интерес для дальнейшего представляет барическая характеристика, задаваемая для каждой высоты амплитудой вариации давления, создаваемой бегущей волной. В [6] её оценка для приземного слоя получена в предположении о сохранении в процессе распространения волны основных энергетических показателей: плотности энергии и плотности потока энергии. Скорость звука в пределах нейтросферы также считается постоянной. Указанные упрощающие предположения вполне согласуются с теми, которые используются при построении модели изотермической атмосферы. Плотность потока энергии оценивалась по данным радиоастрономических наблюдений за турбулентными флуктуациями плотности межпланетной плазмы. С этой целью были использованы данные, относящиеся к частотному диапазону, характеризующему атмосферный инфразвук космического происхождения.

В рамках изотермической модели атмосферы искомая барическая характеристика однозначно определяется значением плотности потока энергии. Вычисленная в приближении плоской волны амплитуда вариации давления в приземном слое составляет примерно 2 мкб. С учетом эффекта фокусировки, обусловленного изогнутостью головной ударной волны, эту оценку, по мнению авторов рассматриваемой работы, следует увеличить на порядок, то есть до 20 мкб. В возмущенных условиях, когда запуск механизма генерации атмосферного инфразвука осуществляется турбулентными структурами типа нестационарного сильного разрыва, амплитуда вариации давления в приземном слое может возрасти до 100 мкб.

Нелинейное искажение профиля бегущей акустической волны как антигравитационный фактор

В данном случае интерес представляет профиль скорости, который при фиксированном значении пространственной координаты является функцией времени, заданной на интервале, равном по длительности периоду волны. Свойства этой функции обычно определяются граничным условием, характеризующим режим генерации без учёта особенностей распространения волны. Для верхних слоёв нейтральной атмосферы одна из главных особенностей состоит, как известно, в искажении первичного профиля за счет нелинейных эффектов [8]. Говоря об их роли в качестве фактора, препятствующего гравитационному осаждению, мы имеем в виду направление смещения аэрозольных частиц, обусловленного указанной деформацией.

Естественной мерой скорости смещения служит осреднённое по времени значение функции, представляющей деформированный профиль. Значение этого показателя, который мы обозначаем символом U^* , в квадратичном приближении (когда за малый параметр принимается амплитуда, h , первичного, то есть недеформированного, профиля) может быть получено на основе метода Римана [9]. При задании первичного профиля гармонической функцией формула, связывающая значения U^* и h , имеет вид:

$$U^* = -h^2/2C, \quad (1)$$

где C – скорость звука.

Данная формула является частным случаем соотношения, полученного в [9] при решении задачи о нелинейном искажении плоской волны, излучаемой колебаниями поршня и имеющей первичный профиль, отличный от синусоидального.

Отрицательный знак показателя U^* подтверждает его пригодность в качестве характеристики антигравитационного эффекта. Однако следует подчеркнуть, что речь идёт об эффекте, затрагивающем только дисперсную фазу (аэрозоль), поскольку осред-

нённое за период волны значение импульса, передаваемого самой среде, остаётся равным нулю.

Используя формулу (1), вычислим значения U^* , соответствующие границам выделенного слоя стратосферы. Высота нижней границы принимается равной 25 км. Она близка к высоте поверхности, при переходе через которую изменяется направление глобальной (ориентированной в широтном направлении) стратосферной циркуляции. Другая граница располагается на высоте 35 км, ограничивающей сверху слой, характеризующийся максимальной концентрацией озона. При тех предположениях, о которых упоминалось в предыдущем разделе, параметр h зависит, помимо пространственной координаты, только от амплитуды вариации давления в приземном слое. Обозначив её через dP , запишем эту зависимость в таком виде [8]:

$$h = h(0) \cdot \exp(z/2H), \quad (2)$$

где $h(0) = dP/[C \cdot \rho(0)]$, а через $\rho(0)$ обозначено значение плотности воздуха в приземном слое. Постоянная H является параметром барометрической формулы, который принято называть высотой однородной атмосферы.

Расчёты проводились при следующих значениях постоянных параметров: $H = 7$ км, $\rho(0) = 0,00125$ г/см³, $C = 300$ м/сек. Значения dP в соответствии с ориентировочными оценками, заимствованными из [6], приняты равными: для спокойных условий, 20 мкб; для возмущённых условий 100 мкб.

Ниже, представляя конечные результаты расчётов, вместо модуля величины U^* мы приводим частное от его деления на постоянный параметр V^* , характеризующий скорость гравитационного осаждения больших аэрозольных частиц. Этот безразмерный показатель обозначается через q . Значение V^* оценивается по формуле, относящейся к сферическим частицам и полученной, исходя из выражения для силы вязкого сопротивления, называемого законом Стокса [10]. Для случая, когда плотность среды пренебрежимо мала по сравнению с плотностью частицы, указанная формула имеет вид:

$$V^* = 0,22 \cdot (r^2 g \bar{\rho}) / \mu, \quad (3)$$

где r – радиус частицы, $\bar{\rho}$ – её плотность, μ – динамическая вязкость среды, g – ускорение силы тяжести.

Нас интересуют наиболее крупные частицы, образующиеся под воздействием вторгающихся в стратосферу потоков субрелятивистских протонов солнечного происхождения [4]. Поэтому при оценке V^* для r было принято значение 1 мкм. Полагая $\bar{\rho} = 1$ г/см³ (поскольку речь идёт о микроскопических каплях воды) и задавая значение динамической вязкости с учётом температуры воздуха в выделенном слое атмосферы ($\mu = 1,45 \cdot 10^{-4}$ г/см.сек.), получаем $V^* = 0,015$ см/сек. При этом итоговые результаты расчётов выглядят следующим образом:

- 1) Нижняя граница ($Z = 25$ км). Спокойные условия: $h = 3$ см/сек; $q = 0,01$.
Возмущённые условия: $h = 15$ см/сек; $q = 0,3$.
- 2) Верхняя граница ($Z = 35$ км). Спокойные условия: $h = 6$ см/сек; $q = 0,04$.
Возмущённые условия: $h = 30$ см/сек; $q = 1$.

Таким образом, антигравитационный эффект, обусловленный нелинейным искажением профиля скорости космогенной инфразвуковой волны, можно считать значимым только при возмущённых условиях.

Заключение

Полученный вывод означает, что акустический механизм противодействия гравитационному осаждению больших аэрозольных частиц эффективен только в условиях учащённой повторяемости магнитогидродинамических возмущений межпланетной

плазмы, имеющих характер ударных волн и вращательных разрывов. Подобная картина должна наблюдаться в периоды интенсификации основных проявлений солнечной активности. В указанные периоды увеличивается повторяемость мощных протонных вспышек, а вместе с тем их стимулирующее воздействие на процесс формирования стратосферного аэрозоля. Наличие параллельно действующего механизма, способствующего удержанию наиболее крупных частиц там, где они образуются, должно облегчить выявление циклической составляющей временных рядов, относящихся к характеристикам прозрачности стратосферы. В какой-то мере это подтверждают данные, приведённые в работе [2], где показано, что соответствующий сигнал может быть выражен с достаточной отчётливостью на графике, представляющем межгодовые изменения одной из таких характеристик за предельно короткий промежуток времени (около полутора десятков лет). Наложение космогенных эффектов, способствующих увеличению концентрации аэрозольных частиц и продолжительности срока их удержания в том слое, где наблюдаются стратосферные (перламутровые) облака, представляет интерес в связи с вопросами, касающимися генезиса этих скоплений, длительности их существования, а также режима повторяемости данного явления. Однако для выяснения роли космогенной эмиссии инфразвука в процессах подобного рода необходимы дополнительные исследования, направленные на выработку более определённого представления о механизме её генерации в возмущённых условиях.

Литература

1. *Герман Дж.Р., Голдберг Р.А.* Солнце, погода и климат. – Л.: Гидрометеиздат. 1981. 319 с.
2. *Миронова И.А., Пудовкин М.И.* Временные вариации атмосферного аэрозоля и солнечная активность // 7-я Пулковская конференция по физике Солнца. ГАО РАН, 2003. С.317-320.
3. *Огурцов М.Г.* Вековая вариация в аэрозольной прозрачности атмосферы как возможное звено, связывающее долговременные изменения солнечной активности и климата // Геомагнетизм и аэрономия. 2007. Т. 47, N 1. С.126-137.
4. *Ролдугин В.К., Ващенко Э.В.* Изменение прозрачности атмосферы под действием солнечных космических лучей // Геомагнетизм и аэрономия. 1994. Т.34, N2. С.155-157.
5. *Vach W.* Global air pollution and climate change // Rev. geophys. space phys. 1976. V.14, N3. Pp. 429-474.
6. *Гочелашвили К.С., Прохоров А.М., Чашей И.В., Шишов В.И.* Инфразвук космического происхождения в атмосфере // Письма в ЖЭТФ. 1982. N.36, вып.2. С.31-33.
7. *Власов В.И., Чашей И.В., Шишов В.И., Шишова Т.Д.* Межпланетная плазма по радиоастрономическим данным // Геомагнетизм и аэрономия. 1979. Т.19, N3. С.401-424.
8. *Пономарёв Е.А., Ерущенков А.И.* Инфразвуковые волны в атмосфере // Известия вузов. Радиофизика. 1977. Т.20, N12. С.1773-1789.
9. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика, т.6 (Гидродинамика). М.: Наука. 1988. 736 с.
10. *Бэтчелор Дж.* Введение в динамику жидкости. М.: Мир. 1973. 758 с.

EFFECT OF THE COSMOGENEOUS INFRASOUND RADIATION ON THE STRATOSPHERIC AEROSOL DYNAMICS

Medvedev M.Yu.

Summary

The influence of the solar wind turbulence on a vertical movement of the big aerosol particles being in the middle stratosphere is discussed. It is demonstrated that such effect may be realized by means of the infrasound waves generation.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ШИРОТЫ ПУЛКОВА С МЕЖДУНАРОДНЫМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ ЗА 1904-2006 ГОДЫ

Миллер Н.О., Прудникова Е.Я.

Данная работа посвящена исследованию уникального ряда, который был получен из наблюдений широты на ЗТФ-135 в течение 102 лет. Анализ этого ряда позволяет исследовать поведение основных составляющих движения полюса и сравнить их со сводными рядами международных служб, построенными в разные периоды времени с помощью различных методов наблюдений и анализа наблюдательного материала. Были выделены и исследованы чандлеровская, годовая и долгопериодическая составляющие. В заключение приведено описание основных результатов анализа наблюдений широты в течение последних лет.

1. Введение

19 сентября 1904 года начались регулярные наблюдения широты на зенит-телескопе ЗТФ-135. Этот телескоп был сделан в мастерской Пулковской обсерватории механиком Г.А. Фрейбергом-Кондратьевым и стал образцом инструмента данного типа. Целью наблюдений на ЗТФ-135 стало изучение изменчивости широт Пулкова и определение постоянных абберрации и нутации [1]. В 1941 году в связи с военными действиями телескоп был демонтирован. После окончания войны к сентябрю 1948 года инструмент был вновь установлен в Пулкове в новом павильоне, и на нем возобновились систематические наблюдения, которые были завершены 25 декабря 2006 года в связи с переходом на новые более точные способы определения ПВЗ. Вместе с тем, по завершению наблюдений получился уникальный ряд наблюдений широты на одном инструменте длиной более 100 лет. Этот ряд образован на основе семи программ наблюдений (табл. 1) В таблице введены следующие обозначения: N_p – общее число наблюдаемых пар, N_{pc} – количество пар текущей программы общих с парами предыдущей программы, δ – ошибка одного наблюдения.

Таблица 1.

Автор программы	Номер	Интервал наблюдений	Количество пар		δ
			N_p	N_{pc}	
Ф.Ф. Витрам	1	20.09.1904 – 28.02.1908	74	–	0.15"
Л.И. Семенов	2	22.03.1908 – 18.10.1915	69	52	0.15
Б.В. Нумеров, Н.В. Циммерман	3	17.10.1915 – 31.12.1928	106	12	0.20
В.К. Берг	4	01.05.1929 – 09.07.1941	106	11	0.18
Я.Е. Гордон	5	09.10.1948 – 18.01.1968	102	52	0.16
Л.Д. Костина	6	23.01.1968 – 29.12.1988	102	65	0.21
Л.Д. Костина	7	01.01.1989– 25.12.2006	102	63	0.21

При составлении первой программы невозможно было учесть как существование различных практических сложностей (таких, как наличие белых ночей и неравномерное распределение ясной погоды в течение года), так и возникновение новых задач (например, изучение векового изменения широты). Поэтому только к 1929 году сложился классический тип широтной программы, состоящей из двенадцати двухчасовых групп и рассчитанной на двадцать лет (нутационный цикл). Одним из основных принципов стала преемственность программ с тем, чтобы как можно большее число пар наблюдалось как можно дольше.

Все описанные выше наблюдения были использованы Е.П. Федоровым и др. для вычисления координат полюса [2]. Авторы вычислили ряд координат полюса, обработав около 100 широтных рядов. В этот ряд были включены не только ряды наблюдений международной службы широты, но и наблюдения других независимых станций. Пулковские наблюдения широты вошли в этот ряд с наибольшими весами.

Для вычисления координат полюса C01 (IERS, <http://hpiers.obspm.fr/iers/eop>) использовались ряды наблюдений, полученные во многих обсерваториях мира, при этом применялись как различные методы наблюдений, так и различные методы обработки. В ряд C01 вошли наблюдения, выполненные с помощью оптических инструментов, дальномеров для лазерной локации Луны и спутников (LLR, SLR), радиоинтерферометров со сверхдлинными базами (VLBI), а также наблюдения, полученные с помощью спутниковых навигационных систем GPS. С использованием новых методов точность получаемых астрометрических данных повысилась на три порядка [3]. Но, очевидно, что для исследования долгопериодических закономерностей изменения широты необходимо использовать как можно более длительные и однородные ряды наблюдений, выбирая такие методы анализа, которые наилучшим образом позволяют отделить полезный сигнал от шума. Уникальный по своей длительности и плотности ряд наблюдений широты Пулкова был получен на одном инструменте. Причём некоторые пары звёзд наблюдались на протяжении всей программы наблюдений.

В данной работе выполняется исследование и сопоставление наблюдений ЗТФ-135 с изменением широты Пулкова, вычисленным из международных данных. Сопоставление производится с помощью классического Фурье анализа и сингулярного спектрального анализа (метод «Гусеница-SSA» [4]). Этот метод имеет хорошее разрешение, как по времени, так и по частоте и хорошо отделяет полезный сигнал от шума даже в очень зашумленных рядах. SSA позволяет получить, а затем исследовать трендовые, периодические, квазипериодические компоненты и ряд остатков.

2. Данные и их исследование различными методами

В работе исследуются изменения широты Пулкова, полученные из наблюдений на ЗТФ-135 (ряд FIZTF) и из сводных рядов ПВЗ международной службы вращения Земли EOP(IERS) C01 (ряд FIC01). Данные C01 использовались для сравнения с данными ЗТФ-135 в виде, приведённом к полярным изменениям широты Пулкова по формуле

$$\varphi - \varphi_0 = X_p \cdot \cos \lambda + Y_p \cdot \sin \lambda,$$

где φ_0 – среднее значение широты, X_p, Y_p – координаты мгновенного полюса относительно его среднего положения, λ – долгота станции наблюдения.

На рис. 1 и в табл. 2 представлены результаты классического анализа Фурье рядов FIZTF (сплошная линия) и FIC01 (пунктирная линия) на всем интервале наблюдений с 1904 по 2006 гг. для диапазона периодов с 0.8 года до 1.3 года. По оси ординат отложена амплитуда, а по оси абсцисс период в годах, прямые линии – порог уровня шума, полученный при анализе ряда FIZTF. Для вычисления порога обнаружения сигнала в шумах использовались различные алгоритмы. На рис. 2 прямые level1, level2 – уровни

значимости, вычисленные по алгоритму [5] с вероятностью 0.99 для рядов FIZTF, FIC01, соответственно, а прямые level2, level3 – по алгоритму [6] для этих же рядов. Из таблицы и рисунка видно хорошее согласование частот годового и чандлеровского колебаний, полученных из разных рядов.

Спектральный анализ выделяет две области с максимальными частотами: чандлеровскую с периодом около 1.19 года и годовую – 1 год. Эти два периодических движения легко различаются в наблюдениях широты и многократно исследовались разными авторами [7]. Наличие годовой гармоник объясняется сезонными перемещениями воздушных и водных масс по земной поверхности. Чандлеровское колебание представляет собой квазигармоническое колебание сложной структуры и до сих пор вызывает дискуссии, как о структуре ряда, так и о физической интерпретации. В спектре чандлеровского движения полюса имеются два близко лежащих пика с максимальными амплитудами. В работе [8] было показано, что раздвоение пика ЧДП связано с изменением фазы на интервале 1924-1930 гг.

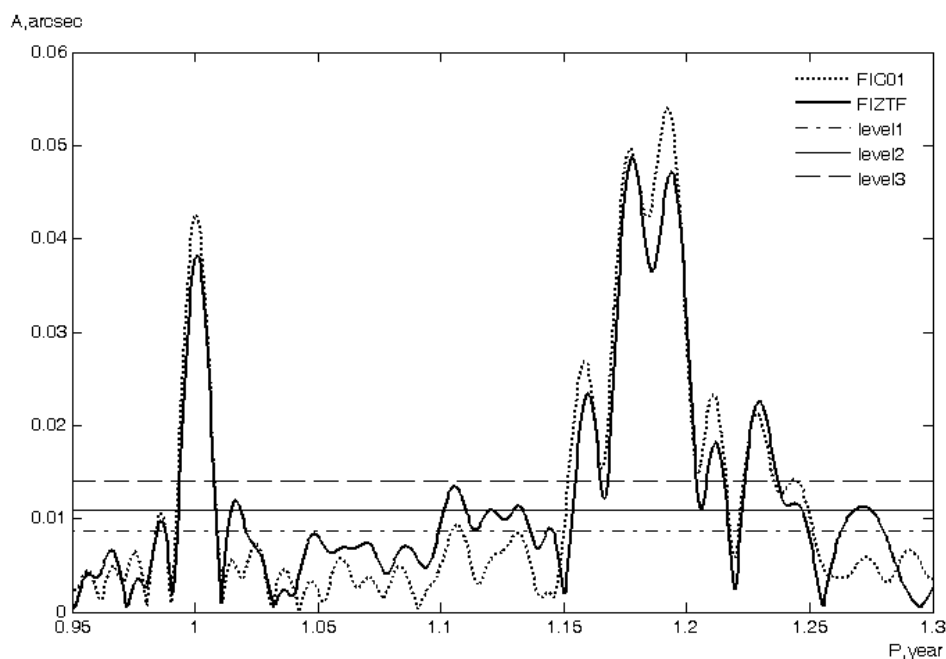


Рис. 2.

Таблица 2.

№	FIC01		FIZTF	
	период (год)	амплитуда (arcsec)	период (год)	амплитуда (arcsec)
1	1.19	0.054	1.19	0.049
2	1.18	0.050	1.18	0.047
3	1.00	0.043	1.00	0.038
4	1.16	0.027	1.16	0.023
5	1.21	0.023	1.21	0.023
6	1.23	0.021	1.23	0.018
7	1.24	0.014	1.24	0.014
8	1.11	0.009	1.11	0.012

Таблица 3.

Изменение широты	FIZTF	FIC01
Вековое	1.9%	2.7%
Чандлеровское	55.4	70.6
Годовое	13.8	19.9

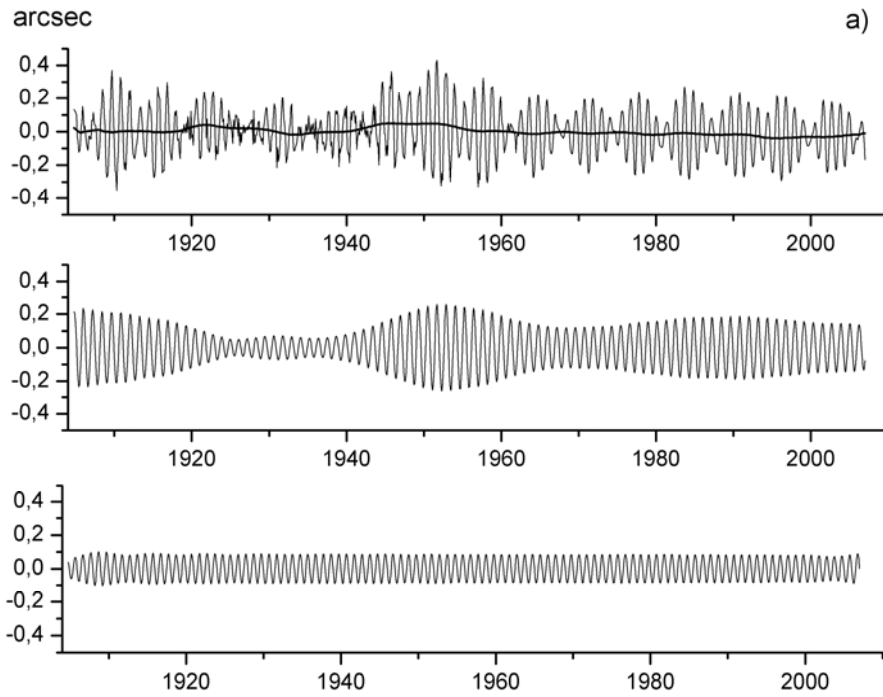


Рис. 3.

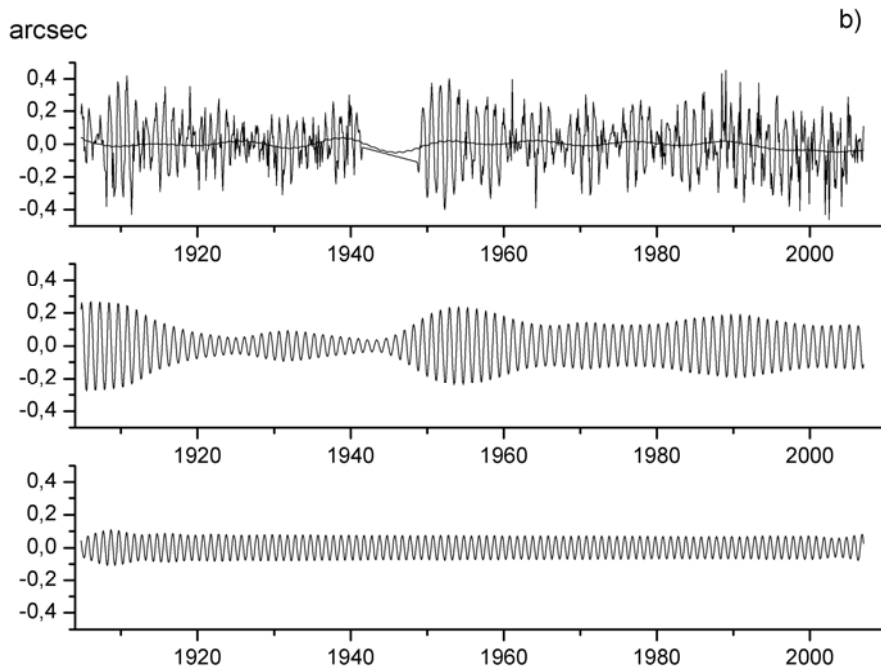


Рис. 4.

На рис. 3 и 4 представлены ряды изменения широты (рис. 3 – FIC01, рис. 4 – FIZTF) и разложение их на главные компоненты методом SSA с длиной окна равной половине длины ряда за период 1904-2006 (верхний график – исходный ряд и тренд, средний – Чандлеровский компонент, нижний – годовой компонент). При использовании метода SSA компоненты определяются таким образом, чтобы первый из них давал максимально возможный вклад в суммарную дисперсию всех параметров. Выполняемое преобразование не меняет сумму дисперсий, а только перераспределяет ее так, чтобы наибольшая дисперсия приходилась на первые компоненты. Таким образом, появляется возможность исключить из анализа компоненты, имеющие малые дисперсии.

В табл. 3 приведен процент вклада каждой составляющей в исходный ряд. Вклад суммы основных компонент в исходный процесс составляют для ряда FIC01 ~93%, а для ряда FIZTF ~71%. Нужно отметить, что процент вклада всех исследуемых компонент ряда наблюдений на ЗТФ-135 меньше, чем для компонент международного ряда. Одним из объяснений этого может быть наличие более высокого шума на всем интервале наблюдений для ряда FIZTF (рис. 2 и 7).

При разложении SSA (длина окна равна половине длины ряда) на частоте чандлеровского колебания было выбраны 6 компонент. Графики этих компонент представлены на рис. 5, 6, а их основные характеристики в табл. 4. В таблице и на рисунках компоненты располагаются по проценту вклада в исходный ряд. В первом столбце таблицы указан номер компонента, во втором и шестом столбцах – процент вклада каждого компонента в исходный ряд, в третьем и седьмом – период, в остальных столбцах – значения средней и максимальной амплитуды выделенных компонент для ряда FIZTF и FIC01. Надо отметить, что периоды у выделенных компонент для разных рядов практически совпадают, хотя и имеется различное распределение энергии между компонентами.

Таблица 4. Компоненты ЧДП.

№ компо- ненты	FIZTF				FIC01			
	вклад %	период (год)	амплитуда (arcsec)		вклад %	период (год)	амплитуда (arcsec)	
			mean	max			mean	max
1	36.4	1.19	0.112	0.186	49.6	1.19	0.126	0.190
2	9.7	1.17	0.059	0.264	13.4	1.17	0.067	0.258
3	3.0	1.12	0.026	0.045	3.7	1.22	0.031	0.043
4	2.9	1.23	0.024	0.036	2.1	1.15	0.026	0.128
5	2.0	1.10	0.025	0.069	1.0	1.12	0.015	0.022
6	1.4	1.15	0.016	0.026	0.5	1.10	0.012	0.091

Использование метода SSA тем эффективнее, чем больше размерность исходной матрицы, которая зависит от длины ряда. Очевидно, что чем длиннее ряд наблюдений, тем больше информации скрыто в нем. В результате применения метода SSA к длинным рядам можно получать более точное представление значимых составляющих исследуемого ряда. В работе [9] были исследованы те же ряды на более коротком промежутке времени (1904–1941, 1948–1999). Чандлеровская составляющая для этих интервалов разделилась только на два компонента, а вклад их суммы в исходный ряд составил ~65-69%.

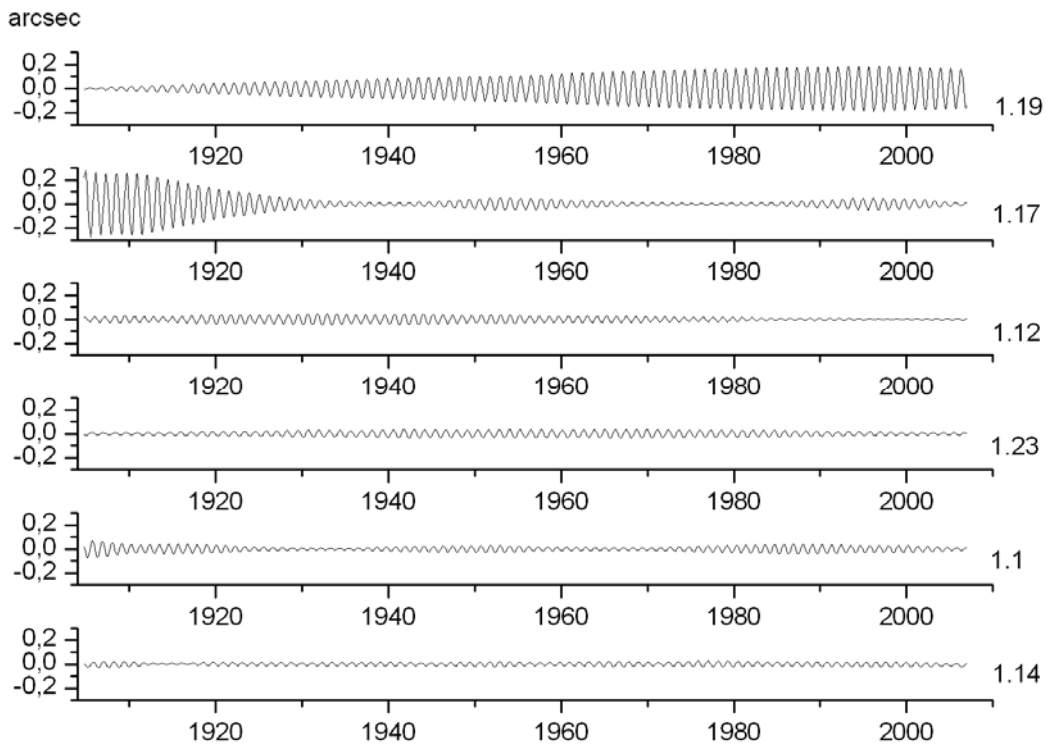


Рис. 5.

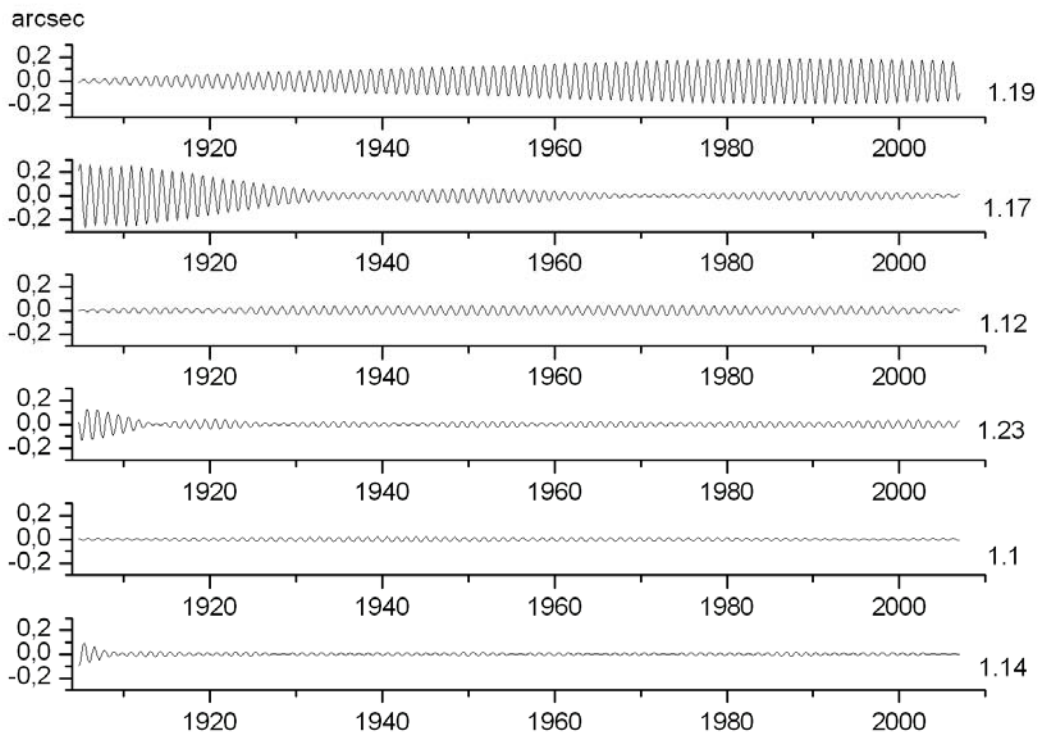


Рис. 6.

Восстановленные ряды, представляющие собой сумму годовой, чандлеровской и долгопериодических составляющих исследуемых рядов и ряд остатков (разности между восстановленными и исходными рядами) приведены на рисунках 7 (FIC01) и 8 (FIZTF). Верхние рисунки – исходные ряды, средние – восстановленные с помощью SSA, нижние – ряд остатков. Для ряда остатков, полученного из международных на-

блюдений характерно уменьшение амплитуды с течением времени. Это связано с применением новых более точных методов наблюдений. И, наоборот, в конце ряда наблюдений ЗТФ-135 заметно увеличение уровня шума. Это можно объяснить несколькими

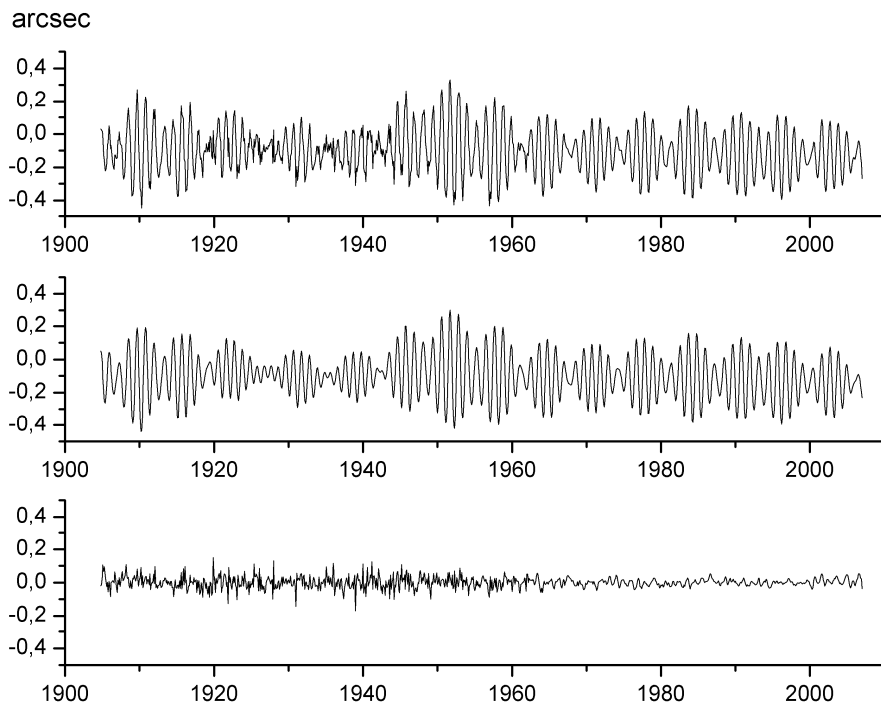


Рис. 7.

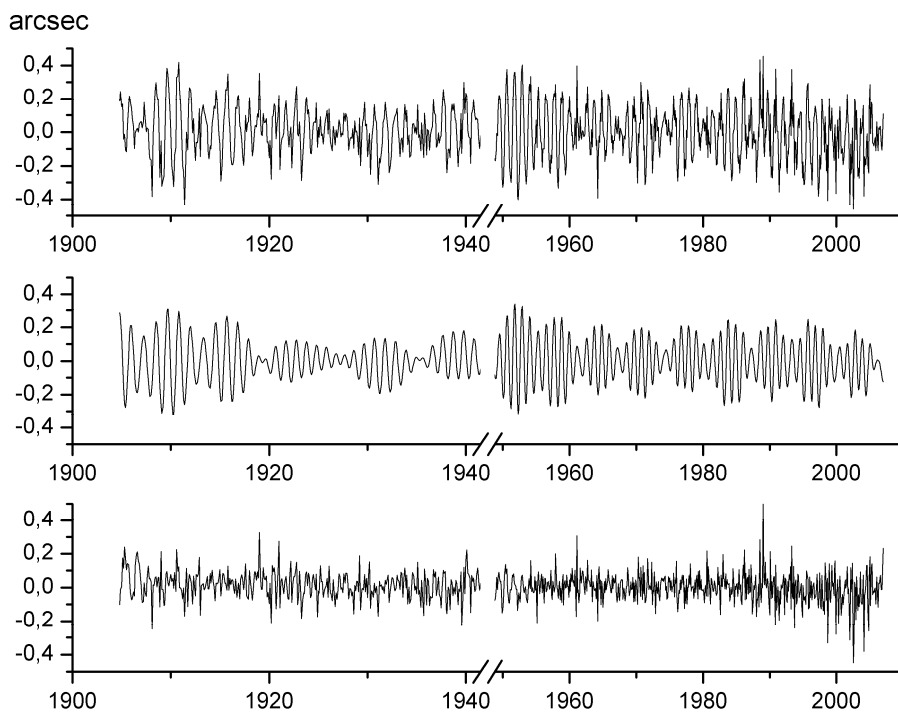


Рис. 8.

причинами. В связи с переходом на новые методы наблюдений исследователи перестали постоянно отслеживать различного рода инструментальные ошибки и регулярно

выполнять профилактические действия (наблюдения шкальных пар, определение постоянных инструмента и т.д.). Кроме того, произошло ухудшение качества изображения, по-видимому, из-за загрязнения атмосферы и усиления подсветки города. В статье [10] отмечается, что при фотографических наблюдениях на нормальном астрографе было замечено, что «пластинки, начиная с конца восьмидесятых годов, имеют более плотную вуаль из-за возрастания освещенности неба в Пулкове, увеличение плотности вуали приводит к увеличению ошибок измерений».

3. Заключение

Из проделанной работы видно хорошее согласие изменяемости широт, полученной на ЗТФ-135 и вычисленной из международных данных. Кроме того, метод SSA позволяет исследовать ряды, имеющие пропуски в наблюдениях. Несмотря на продолжительный пропуск на интервале с 1941.5 по 1948.2 удалось выделить чандлеровский и годовой компонент почти без искажения информации (рис. 3-5). Из этого следует, что таким способом можно исследовать долгопериодические закономерности чандлеровского колебания, основываясь на длительных рядах наблюдениях одной обсерватории, даже если в таких наблюдениях имеются пропуски.

Все исследования, проводимые с этим рядом, стали возможны только благодаря усилиям многих ученых. Особенность конструкции инструмента ЗТФ-135, созданного учёным-механиком Пулковской обсерватории Генрихом Андреевичем Фрейбергом позволил наблюдать на этом инструменте в течение 102 лет без капитального ремонта [11]. Одной из целей создания инструмента ЗТФ-135 было изучение изменяемости широты Пулкова. Усилиями 36 наблюдателей в течение 102 лет был получен длительный ряд наблюдений, который включает в себя около 170 тысяч наблюдений широты. Этот ряд, несмотря на достаточно сложные климатические условия, отличается высокой устойчивостью и однородностью, особенно в период с 1948 по 1994 годы. В статье [12] содержится обширная библиография работ, основанных на материале наблюдений на ЗТФ-135.

Перечислим некоторые результаты, полученные за последние годы с использованием вышеописанного ряда.

1. Короткопериодические изменения широты

С помощью метода Диминга для неравномерных рядов из неполярных вариаций широты, свободных от сглаживания, т.е. не искаженных фильтрацией, были выделены короткопериодические колебания и сделаны оценки их возможной связи с атмосферными и геофизическими процессами [13, 14]. Было выполнено определение комбинации чисел Лява ($1 + k - l$) по суточным колебаниям отвеса. Полученный результат $\Lambda_{\text{пул}} = 1.21 (\pm 0.05)$ согласуется с принятым значением $\Lambda = 1.2$ [1], для модели нежесткой Земли.

Двумя способами (через полученную величину Λ и коэффициент Шида $l = 0.08$, а также через средний период чандлеровского колебания, полученный из наблюдений широты Пулкова, и равный 435 суткам) было определено число $k = 0.29$.

2. Широта центра круглого зала Пулковской обсерватории

Было вычислено значение средней широты Пулкова по наблюдениям на различных инструментах. Средне взвешенное значение широты центра Круглого зала оказалось равным $59\ 46'18''65 \pm 0.01$ [15].

3. Нерегулярные изменения широты

Нерегулярные изменения широты, которые заключаются в том, что широта места наблюдения скачком увеличивается или уменьшается, могут быть связаны с резким уклонением отвесной линии. Одной из причин этого явления может быть воздействие

сильных землетрясений. Для анализа был использован ряд сейсмических событий Национального геофизического центра данных (Colorado USA, World Data Center A), в котором охватывается весь интересующий нас период. Каждому сейсмическому событию ставились в соответствие 5 ближайших дней наблюдений. Обнаружено наличие пиков, отстающих от момента землетрясения на 0.3 суток, что может говорить о возможной реакции изменения широты на сейсмический процесс.

4. Медленные изменения широты

Была сделана оценка изменения средней широты Пулкова за 100 лет. Кроме главного тренда, были обнаружены две гармоники, близкие к периодам солнечной активности (с периодами 20.48 г. и 10.23 г.). Эти гармоники сопоставлялись с рядом чисел Вольфа и рядом интенсивности космических лучей. Возможная взаимосвязь этих гармоник с солнечной активностью может быть объяснена воздействием солнечной активности на характер температурных инверсий в атмосфере [16].

Литература

1. Куликов К.А. Изменяемость широт и долгот. 1962. М. С.400
2. Федоров Е.П., А.А. Корсунь, С.П. Майор, Н.И. Панченко, В.К. Тарадий, Я.С. Яцкив. Движение полюса Земли с 1890 по 1969. 1972. Киев. С. 264.
3. Ковалевский Ж. Современная астрометрия. Фрязино. «Век-2». 2004. С. 480.
4. Данилов Д.Л., Жигляевский А.А. (ред.). Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница». СПбГУ. 1997. С. 308.
5. Витязев В.В. Спектрально-корреляционный анализ равномерных временных рядов. СПбГУ. 2001. С. 48.
6. Солонина А.И., Арбузов С.М. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в Matlab. СПб. 2008. С. 816.
7. Moritz H., Mueller I. Earth rotation. New York. NY 10017. 1987. P.617.
8. Федоров Е.П., Яцкив Я.С. О причинах кажущегося “раздвоения” периода свободной нутации Земли. Астрон. журн. №4. 1964. С.764-768.
9. Горшков В.Л., Миллер Н.О., Персиянинова Н.Р., Прудникова Е.Я. Исследование геодинамических рядов методом главных компонент. Изв. ГАО. № 214. 2000. С.173-180
10. Бронникова Н.М. Использование площадок с галактиками для создания астрометрических стандартов. Проблемы исследования вселенной. Вып.12. 1989. С.213-223.
11. Наумов В.А. Особенность конструкции зенит-телескопа ЗТФ-135. Изв. ГАО. № 217. 2004. С. 543-545.
12. Л.Д. Костина, Н.О. Миллер, Н.Р. Персиянинова, Е.Я. Прудникова, И.А.Зыков, В.В. Хохлов. 90 лет зенит-телескопу Фрейберга-Кондратьева. Основные научные результаты. Изв. ГАО № 210. 1996. С.121-130.
13. Н.О. Миллер, Е.Я. Прудникова. Приливные вариации из столетнего ряда наблюдений широты на ЗТФ-135. Изв. ГАО, 2004, №217, с.415-419.
14. Н.О. Миллер, Е.Я. Прудникова, Е.А. Литвиненко, Н.В. Соколова (БШЛ ОРИГ). Исследование приливных вариаций, полученных по наблюдениям широты. Изв. ГАО РАН, №218, 2006, с.238-245.
15. В.А. Наумов, Е.Я. Прудникова. Широта Пулковской обсерватории по наблюдениям на зенит-телескопах ЗТФ-135, ЗТЛ-180 и на большом вертикальном круге. Изв. ГАО №218. 2006. С.245-247.
16. Н.О. Миллер, Е.Я. Прудникова. Исследование медленных изменений широты Пулкова по наблюдениям на ЗТФ-135 за 100 лет. Изв. ГАО №217. 2004. С.409-414.

INVESTIGATION OF THE PULKOVO LATITUDE FOR 1904-2006

Miller N.O., Prudnikova E.J.

Summary

The unique set of the observation was investigated in this paper. The time series was obtained with zenith-telescope ZTF-135 during 102 years. This analyze permits to investigate the behavior of the main component of the Polar movement and to compare them with series IERS. The different analyze methods were applied to the observations made during the whole interval 1904-2006. The Chandler wobble, annual, and long-periodical components were studied, and residual set was obtained. The description of the basic results of the analysis of the latitude observation within last years is given in the conclusion of the article.

НАУЧНАЯ СЕТЬ ОПТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ АСТРОМЕТРИЧЕСКИХ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Молотов И.Е., Агапов В.М., Куприянов В.В., Титенко В.В., Хуторовский З.Н., Гусева И.С., Румянцев В.В., Бирюков В.В., Литвиненко Е.А., Борисов Г.В., Суханов С.А., Бурцев Ю.В., Корниенко Г.И., Бахтигараев Н.С., Русаков О.П., Щелков П.О., Ерофеева А.В., Круглый Ю.Н., Иващенко Ю.Н., Борисова Н.Н., Ирсамбетова Т.Р., Сальес Р., Гребецкая О.Н., Выхристенко А.М., Алиев А., Миникулов Н.Х., Гулямов М.И., Инасаридзе Р.Я., Ибрагимов М.А., Ерофеев Д.В., Лоскутников В.С., Ерофеев А.Д., Губин Е.Г., Дорохов Н.И., Цыбизов О.Ю., Лих Ю.С., Чекалин О.Н., Рыбак А.Л., Абдуллоев С.Х., Ермаков Б. К., Юрков В.В., Матреницкий Д.В., Семенчук С.А.

В 2004-2008 гг. была создана глобальная сеть оптических телескопов НСОИ АФН, перекрывающая все долготы вокруг земного шара. В состав сети входят 10 обсерваторий и наблюдательных пунктов, и еще с 14 осуществляется сотрудничество или проводятся подготовительные работы. С целью их переоснащения изготовлено 16 оптических инструментов апертурой от 12,5 до 80 см и приобретено 26 современных ПЗС-камер. Основной задачей сети сейчас является наблюдение космических объектов техногенного происхождения. Впервые в отечественной истории измерения по объектам космического мусора получают вдоль всей геостационарной орбиты. Полученные результаты накапливаются и обобщаются в Баллистическом центре ИПМ им. М.В. Келдыша РАН и открыты для научного анализа – уже собрано порядка 800000 измерений по почти 2000 высокоорбитальным объектам, включая около 700 новых объектов, открытых средствами НСОИ АФН. Получено подтверждение существования уникальных объектов с таким большим отношением площади к массе, что влияние светового давления приводит к существенной эволюции их орбит и делает невозможным прогноз эфемерид дольше, чем на несколько ночей. Количество обнаруженных объектов так велико, что требуется пересмотр существующих моделей динамического распределения космического мусора в околоземном пространстве. С 2007 г. проводятся кампании по фотометрическим наблюдениям сближающихся с Землей астероидов. Планируется, что с 2009 г. такие работы станут систематическими.

Введение

В 90-х гг. началось значительное отставание России в области исследований околоземного пространства. Ранее имевшаяся сеть оптических станций оказалась разрозненной (лучшие инструменты теперь были за границей и многие из них пришли в упадок), а оборудование оставшихся телескопов устарело, и продолжение наблюдений без их модернизации было невозможным. Практически не велись регулярные наблюдения за опасными околоземными астероидами. До минимального, критического уровня упал поток информации об орбитальных космических объектах, при котором невозможно обеспечивать безопасность космических полетов, контролировать тенденции эволюции популяции космического мусора, разрабатывать меры по снижению засоренности космического пространства. В России не имелось открытого каталога орбитальных космических объектов, доступного ученым, а также не было официального центра сбора и обработки немногочисленных российских измерений по астероидам и космическому мусору. В первую очередь тяжелое состояние отечественной наблюдательной базы вызвано фактическим отсутствием современных матричных фотоприемников в подавляющем большинстве обсерваторий на постсоветском пространстве. Данная негативная ситуация явилась предпосылкой для начала работ по созданию Пулковской кооперации оптических наблюдателей (ПулКОН) [1].

Формальной точкой отсчета проекта ПулКОН является конец 2004 г., но кооперация проекта начала складываться еще в 2001 году, когда на 10 см телескопе АКД в Пулково прошли первые отечественные ПЗС-наблюдения геостационарных объектов в поддержку российско-украинских экспериментов по РСДБ-локации космического мусора [2]. В период 2001-2003 гг. в рамках гранта ИНТАС 2001-0669 проводилась оценка состояния всех телескопов бывшего СССР. В 2003-2004 гг. ИПМ им. М.В. Келдыша и ГАО РАН организовали пробные кампании по наблюдению космических объектов в области геостационарной орбиты (ГСО) с участием нескольких обсерваторий. В ходе экспериментов был получен первый опыт координации наблюдений на долготно разнесенных наблюдательных пунктах, отлажена процедура обработки получаемых ПЗС-кадров, сформулированы требования к необходимому оборудованию. Впервые в мире была отработана методика обнаружения и последующего сопровождения малоразмерных фрагментов космического мусора с блеском от 15^m до 19^m (некоторые из обнаруженных фрагментов сопровождаются до сих пор) [3].

Это позволило заложить основы будущей кооперации и получить гранты ИНТАС (03-70-567, ГАО РАН) и Миннауки (09.255.52/053, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН) на переоснащение 8 телескопов современными ПЗС-камерами (МТМ-500 в Кисловодске, ЗТШ и АТ-64 в Научном, Цейсс-600 на Майданаке, двойные астрографы Цейсса в Уссурийске и Абастумани, АЗТ-8 в Чугуеве, строящийся РК-600 в Маяках). Работы проводились под эгидой Экспертной рабочей группы по проблеме «космического мусора», созданной при Совете по космосу распоряжением Президиума Российской академии наук.

В конце 2004 г. было налажено сотрудничество с европейскими партнёрами – Астрономическим институтом Университета Берна – AIUB (обсерватория Циммервальд), Европейским центром космических операций – ESOC (обсерватория на о. Тенерифе) [4], начали восстанавливаться связи с другими обсерваториями стран СНГ. С 2005 г. пошли регулярные наблюдения космических объектов, координируемые созданным Центром сбора и обработки информации по космическому мусору при Баллистическом центре ИМП им. Келдыша РАН.

После нескольких этапов модернизации, выполненных в т.ч. при поддержке ОАО МАК "Вымпел" и ЦНИИ МАШ, сформировалась Научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений (НСОИ АФН – International Space Observation Network, ISON [5]).

1. Работы по созданию НСОИ АФН

Согласно первоначальным планам, описанным в поданных заявках на гранты, предполагалось, что создаваемая кооперация телескопов будет работать в интересах решения широкого спектра научных и прикладных задач, включая исследования астероидов, гамма-всплесков и объектов «космического мусора». Наблюдения астероидов должны были координироваться ГАО РАН, гамма-всплесков – ИКИ РАН, космического мусора – ИПМ им. Келдыша РАН и ГАО РАН. Поскольку именно в проекте ПулКОН в России для астрометрических наблюдений стали впервые массово применяться ПЗС-камеры, то это потребовало разработки оригинального методического, аппаратурного и программного обеспечения. На первом этапе предполагалось, что решение возникающих технических вопросов будет обеспечиваться НИИ «КрАО», и крымские специалисты успели провести подготовительные работы в обсерваториях Майданак (АИ им. Улугбека АН РУз) и Уссурийск (УАФО ДВО РАН), но затем группа технической и программной поддержки Сети была сформирована в ГАО РАН. Первые наблюдения космических объектов в Пулково (на телескопе АКД) и Уссурийске (а в последующем и в Тарихе) обрабатывались программным пакетом ГЕОС (ГАО РАН), а в На-

учном-1 (НИИ «КраО») – собственными программами. В дальнейшем разработанный в ГАО РАН универсальный программный комплекс Арех II [6] был адаптирован для обработки наблюдений объектов ГСО; в настоящее время он используется более чем в 20 обсерваториях. Кроме того, программный пакет для управления ПЗС-камерами CameraControl был модернизирован с учетом требований таких наблюдений.

Первые ПЗС-камеры были установлены на ЗТШ в Научном-1 (FLI IMG1001E), ЗА-320 в Пулково (FLI IMG1001E), Цейсс-600 на Майданаке (FLI IMG1001E), РК-600 в Маяках (FLI IMG1001E), двойном астрографе Цейсса в Уссурийске (FLI IMG6303E), двойном астрографе Цейсса в Абастумани (FLI IMG6303E), двойном астрографе Цейсса в Китабе (FLI IMG1001E), АЗТ-8 в Чугуеве (FLI IMG47-10). Поскольку координация исследований астероидов в разных обсерваториях Сети на тот момент так и не началась, а для изучения послесвечения гамма-всплесков привлекался главным образом ЗТШ, то основной задачей Сети стали наблюдения ГСО-объектов. С целью привязки времени измерений в Пулково было разработано устройство для синхронизации наблюдений со службой точного времени GPS на базе модуля Trimble Resolution T (к настоящему моменту изготовлено более 30 таких устройств) и соответствующий управляющий программный модуль AccuTime. Для координации наблюдений были сформированы группа планирования наблюдений, сбора и обработки измерений (ИПИМ им. Келдыша РАН, КМЗ им. Зверева, ОАО «МАК "Вымпел"») и группа ведения динамического архива космических объектов и анализа динамики популяции объектов космического мусора (ИПИМ им. М.В. Келдыша РАН, ГАО РАН).

После начала регулярных наблюдений стало очевидным, что устаревшие неавтоматизированные телескопы с небольшими полями зрения и недостаточным прониканием мало подходят для наблюдений даже таких медленных объектов, как геостационарные. Поэтому были образованы группа планирования работ по развитию Сети (ИПИМ им. М.В. Келдыша РАН, ОАО «МАК "Вымпел"») и группа производства оптических телескопов и автоматизированных монтировок. Для каждой обсерватории Сети ежегодно формируется план поэтапной модернизации. Работа проводится в трех основных направлениях: изготовление принципиально новых телескопов с большими и сверхбольшими полями зрения и соответствующих автоматизированных монтировок к ним, увеличение поля зрения существующих телескопов путем установки линзовых корректоров и ПЗС-камер новой серии с большой площадью фотоприемной матрицы, автоматизация монтировок старых телескопов.

Кроме того, одновременно решалась задача перекрытия всех долгот, чтобы иметь возможность наблюдать ГСО на всем протяжении – была возобновлена регулярная работа бывшей боливийской экспедиции ГАО РАН в Тарихе (сейчас Боливийская национальная обсерватория) и бывшей Благовещенской широтной станции, развернуты новые наблюдательные пункты в Мильково на Камчатке и в Тирасполе в Приднестровье.

Наблюдатели всех новых обсерваторий Сети проходят переобучение и стажировку в Пулково или Уссурийске. Экспедиции ГАО РАН побывали в каждой обсерватории с целью установки аппаратуры, тренировки наблюдателей и организации тестовых наблюдений. Трижды, в 2005, 2006 и 2007 гг., были организованы общие встречи участников проекта для обмена опытом и обсуждения первоочередных планов работ. Созданы специальные веб-ресурсы – «Сайт инициативных астрономических проектов ПулКОН и LFVN» (www.lfvn.astronomer.ru) – для освещения новостей проекта, описания обсерваторий и используемого оборудования, а также, посредством форума, общения участников проекта и сообщений об отработанных ночах в каждой обсерватории, и сайт для централизованной загрузки регулярно обновляемого программного обеспечения (<http://arex.lna.gao.len.su/>, текущие версии AccuTime 2.0.4, CameraControl 3.7.2.542 и Арех 2.3.0).

Было разработано несколько типов светосильных телескопов для проведения быстрых обзоров небесной сферы – апертурой 22 см (RST-220 и ORI-22, Валерий Терехов) с полем зрения $5,5^\circ$, 25 см (GAS-250, Анатолий Санкович) с полем зрения $3,9^\circ$ (см. рис. 1.), 50 см VT-40/500 (Валерий Терехов) с полем зрения $2,5^\circ$ (см. рис. 2), 125 мм VT-53e (Валерий Терехов) с полем зрения 15° (поля зрения приведены при работе с ПЗС-матрицей размером 50×50 мм) и автоматизированных монтировок к ним – WS-240GT (нагрузочная способность до 80 кг) и WS-300 (нагрузочная способность до 150 кг).



Рис. 1. Телескоп ORI-22 апертурой 22 см и полем зрения $5,5^\circ$ в Мильково (Камчатка) на автоматической монтировке EQ6Pro (слева), телескоп GAS-250 апертурой 25 см и полем зрения $3,9^\circ$ с турелью и фильтрами BVRI в Уссурийске на монтировке Кудэ-рефрактора (справа).



Рис. 2. Телескоп VT-40/500 апертурой 50 см и полем зрения $2,5^\circ$ в Уссурийске на монтировке WS-300 (слева), объектив VT-53e апертурой 125 мм и полем зрения 15° в Уссурийске.

К настоящему моменту произведено и установлено на пункты 4 телескопа RST-220 (Научный-1, Пулково, Тирасполь, Научный-2), 5 телескопов ORI-22 (Китаб, Уссурийск, Абастумани, Мильково, Благовещенск), 1 телескоп GAS-250 (Уссурийск), 1 телескоп VT-40/500 (Уссурийск), два объектива VT-53e (Уссурийск и Научный-2). В производстве находятся 2 телескопа ORI-22, 4 телескопа GAS-250, 2 телескопа VT-40/400 и 2 объектива VT-53e. (Телескоп GAS-250 отличается от модели ORI-22 несколько меньшим полем зрения, но величина заднего отрезка позволяет установить турель с фильтрами.) Изготовлены 1 монтировка WS-300 (Уссурийск), две монтировки WS-

240GT (Тирасполь, Красноярск), приобретено 7 монтировок EQ6Pro (Тирасполь, Мильково, Уссурийск, Благовещенск, Китаб, Пулково), и еще 2 монтировки WS-240GT находятся в производстве. Для управления монтировками был разработан программный модуль СНАОС.

Использование широкопольных зеркально-линзовых телескопов привело к новому качеству решения задачи слежения за высокоорбитальным космическим мусором. В Научном-1 (НИИ «КрАО») на RST-220 был отработан метод проведения обзоров области ГСО в широкой полосе с обнаружением всех космических объектов в зоне обзора, имеющих угловую скорость в заданном диапазоне, с вероятностью близкой к 100% (до 500 объектов и 4000 измерений за ночь на одном телескопе).

В рамках выполнения планов модернизации обсерваторий было приобретено 16 ПЗС-камер новых серий ProLine и MicroLine – с охлаждением до -65°C , высокой скоростью считывания кадров и размером фотоприемной матрицы 36×36 мм и 50×50 мм. Новые ПЗС-камеры были установлены на RST-220 в Пулково (PL09000-90), АЗТ-8 в Гиссаре (PL1001E), ЗТШ в Научном-1 (PL1001E), АТ-64 в Научном-1 (PL16803-90), SRT-220 в Научном-1 (ML09000-65), SRT-220 в Тирасполе (PL09000), ORI-22 в Китабе (PL4301E), ORI-22 в Уссурийске (PL09000), ORI-22 в Абастумани (PL09000), ORI-22 в Мильково (PL09000), SRT-220 в Научном-2 (PL16803-90), VT-40/500 в Уссурийске (PL09000), VT-53e в Уссурийске (PL4301E), Цейсс-1000 в Симеизе (PL09000). Еще две камеры будут установлены на РК-800 в Маяках (ML09000-65) и ORI-22 в Тарихе.

Географическое расположение обсерваторий и наблюдательных пунктов Сети показано на рис. 3, а перечень телескопов, участвующих в наблюдениях НСОИ АФН приведен в Таблице 1.



Рис. 3. Географическое расположение обсерваторий НСОИ АФН.

Таблица 1. Характеристики телескопов, участвующих в наблюдениях НСОИ АФН.

Название пункта	Название телескопа	ПЗС-матрица, пиксель	Поле зрения	m, 5 с	Авто-матризация	Кол-во ночей наблюдений		Кол-во измерений	
						2007	2008	2007	2008
Пулково	RST-220	3к*3к, 12	4°	14	есть	33	31	9485	20109
Научный-1	ЗТШ, 260	1к*1к, 24	8,4'	20	будет	21	24	7127	17338
	АТ-64, 64	4к*4к, 9	2,3°	17	есть	122	111	12840	60813
	RST-220	3к*3к, 12	4°	15	есть	78	87	41880	89273
Симеиз	Цейсс1000	1к*1к, 24	12.8'	18	есть	17	9	3965	3589
	Цейсс-600	1к*1к, 24	30'	17	будет	модернизируется			
Научный-2	RST-220	4к*4к, 9	4°	15	нет	0	102	0	36509
Тирасполь	RST-220	3к*3к, 12	4°	14	есть	55	75	13081	16987
	К-360	3к*3к, 12	1°	15	будет	изготавливается			
Маяки	РК-800	3к*3к, 12	1°	17	будет	первые тесты			
	РК-600	1к*1к, 24	1.5°	16	будет	110	61	15309	6256
Андрушевка	S-600	3к*3к, 12	2°	16	есть	пробные наблюдения			
Терскол	Цейсс2000	2к*2к, 24	15'	20	будет		4		5193
	К-800	3к*3к, 12	1°	18	пульт	первые тесты			
Абастумани	АС-32	3к*2к, 9	36.7'	17	пульт	0	12	0	1612
	ОРИ-22, 22	3к*3к, 12	4°	15	пульт	87	30	12690	7925
Китаб	ОРИ-40, 40	3к*3к, 12	2.2°	16	будет	изготавливается			
	ОРИ-22, 22	2к*2к, 24	5.5°	15	пульт	203	184	38646	77789
	VT-15e	2к*2к, 24	15°	13	будет	испытания в Научном-2			
Гиссар	AZT-8, 70	1к*1к, 24	30'	17	пульт	28	104	3195	31861
Красноярск	ОРИ-40, 40	3к*3к, 12	2.2°	16	будет	изготавливается			
	Кудэ-рефр	3к*3к, 12	2°	14	пульт	устанавливается			
Благовещен	ОРИ-22	1к*1к, 24	2.6°	15	есть	пробные наблюдения			
Уссурийск	VT-40/500	2к*2к, 24	2.5°	16	есть	пробные наблюдения			
	GAS-250	3к*2к, 9	1°*2°	15	пульт	пробные наблюдения			
	ОРИ-22	3к*3к, 12	4°	15	есть	115	138	15875	32550
	VT-15e	2к*2к, 24	15°	13	есть	пробные наблюдения			
Мильково	ОРИ-22, 22	3к*3к, 12	4°	15	есть	2	54	279	14193
Тариха	Цейсс-600	3к*3к, 12	45'	17	будет	планируется установка			
	АФР-1	1к*1к, 24	35'	14	-	54	65	10419	12519
	ОРИ-22, 22	3к*3к, 12	4°	15	будет	ремонтируется			

2. Наблюдения космических объектов НСОИ АФН

Изучение популяции космического мусора является относительно новым научным направлением, но его растущая актуальность привлекает внимание все большего числа специалистов и различных организаций, вплоть до ООН. В настоящее время имеется более 17000 каталогизированных объектов, из которых только несколько процентов являются работающими космическими аппаратами (КА), остальные вместе с сотнями тысяч невидимых с Земли мелких фрагментов и частиц составляют космический мусор. Количество выработавших ресурс спутников, ступеней ракет и операционных фрагментов, сопровождающих каждый запуск, стремительно увеличивается с каждым годом и достигло уровня, представляющего серьезную угрозу для функционирующих КА. Имеются области пространства с повышенной плотностью объектов, где регулярно случаются опасные сближения. Обеспечение стабильной работы КА уже невозможно без знания текущей космической обстановки, анализа источников и закономерностей эволюции космического мусора. Необходимо отслеживать отработавшие КА для прогноза времени и места их падения на Землю, крупные фрагменты на орбитах пилотируемых КА и станций для предотвращения столкновений, изучать популяцию мелких

фрагментов с целью создания необходимой защиты КА и разработки мер по снижению засоренности околоземного космического пространства. Неконтролируемое техногенное загрязнение околоземного космического пространства способно привести к невозможности его использования уже в обозримом будущем. Американские специалисты показали на модели, что после достижения определенной концентрации космического мусора может произойти цепная реакция взрывов космических объектов.

Российская академия наук проводила исследования объектов искусственного происхождения на околоземных орбитах с момента запуска первого ИСЗ. Они были направлены преимущественно на наблюдения крупных высокоорбитальных объектов с целью изучения динамики неуправляемого движения нефункционирующих ступеней и космических аппаратов, отработки методов астрометрии и фотометрии и т.п. Однако систематических исследований по проблеме засоренности околоземного космического пространства ранее не выполнялось. В виду всё возрастающей важности проблемы космического мусора ИПМ им. Келдыша РАН по поручению Президиума РАН начинает курировать это научное направление и формулирует перед НСОИ АФН следующие основные цели:

- определение реальной населенности геостационарной и высокоэллиптических орбит;
- совершенствование используемых моделей движения;
- определение вероятных источников образования обнаруженных объектов;
- верификация существующих моделей распределения космического мусора;
- оценка опасности, которую представляют фрагменты для КА на высоких орбитах в настоящем и будущем.

При этом решаются следующие задачи:

- обнаружение и длительное сопровождение как можно большего количества неизвестных до настоящего времени слабых (и, в первом приближении, малоразмерных) объектов на высоких орбитах;
- формирование «почти непрерывного» орбитального архива для наблюдаемых объектов;
- исследование баллистической эволюции обнаруженных новых объектов и её соответствия используемым моделям;
- изучение физических свойств наблюдаемых объектов;
- выявление и анализ возможных опасных ситуаций;
- анализ вероятных источников образования объектов, моделирование обстоятельств их образования;
- анализ фактического распределения управляемых и неуправляемых объектов в области ГСО;
- изучение особенностей движения активных КА, управляемых разными операторами, но размещёнными в окрестности одной и той же точки на ГСО;
- изучение особенностей запуска объектов, схем выведения и объектов, образующихся в процессе выведения и первоначального развёртывания КА.

С целью повышения эффективности использования инструментов НСОИ АФН и увеличения объёмов получаемой информации было принято решение о выделении и развитии в составе Сети трёх подсистем:

- поисково-обзорной подсистемы для ярких (не слабее $15,5^m$) объектов в области ГСО;
- подсистемы обнаружения и сопровождения фрагментов космического мусора с блеском 16^m - 20^m ;
- подсистемы для наблюдения ярких (не слабее 14^m звёздной величины) объектов на высокоэллиптических и низких орбитах.

В поисково-обзорную подсистему НСОИ АФН входят девять 22 см телескопов RST-220 и ORI-22 с полем зрения 4° – в Пулково, Научном-1, Научном-2 (ГАИШ МГУ), Тирасполе, Абастумани, Китабе, Благовещенске, Уссурийске и Мильково. Она предназначена для проведения регулярных обзоров всей дуги ГСО по долготе (0° - 360°) и наклонению (0° - 20°). В наблюдениях подсистемы обнаружения и сопровождения малоразмерных фрагментов космического мусора участвуют телескопы апертурой от 50 см до 2,6 м, в первую очередь это АТ-64 и ЗТШ в Научном-1, АЗТ-8 в Гиссаре, РК-600 в Маяках, АС-32 в Абастумани, Цейсс-2000 на Терсколе и Цейсс-1000 в Симеизе, а также телескопы обсерваторий-партеров – АЗТ-33ИК в Мондах (ИСЗФ СО РАН), Цейсс-600 в Архызе (НИИ ПП), Цейсс-1000 на Тенерифе (ESOC) и ZIMLAT (AIUB). Подсистема для наблюдений высокоэллиптических и низкоорбитальных объектов находится на стадии формирования – в нее будут включены 4 объектива VT-15e и 10 телескопов GAS-250.

Благодаря предпринятым мерам производительность обсерваторий Сети увеличивается с каждым годом – на рис. 4 показано распределение количества измерений НСОИ АФН по годам, а в Таблице 1 приведены данные по каждому телескопу за 2007 и 2008 (10 месяцев). За 2 последних года количество измерений и проводок (серий измерений по одному объекту) НСОИ АФН увеличилось в 8 раз. В частности, с января по октябрь 2008 г. уже получено 430000 измерений в 45000 проводкам по почти 2000 космическим объектам. Важным показателем работы Сети является регулярность проведения наблюдений. Как видно из Таблицы 1, общее количество телескопо-ночей в 2007 г. составило 1059 (с учетом наблюдений Цейсс-600 на Майданаке), а за 10 месяцев 2008 г. – 1091. Более подробно статистика работы НСОИ АФН за 8 месяцев 2008 г. анализируется в Таблице 2. Видно, что после ввода в строй пункта Мильково космические объекты ежемесячно наблюдаются вдоль всей геостационарной орбиты. Также в течение всего рассматриваемого периода наблюдения проводятся практически каждую ночь. Всего за время работ по проекту Центром сбора и обработки информации по космическому мусору при Баллистическом центре ИМП им. Келдыша РАН собрано около 800000 измерений и из них 190000 – по малоразмерным фрагментам.

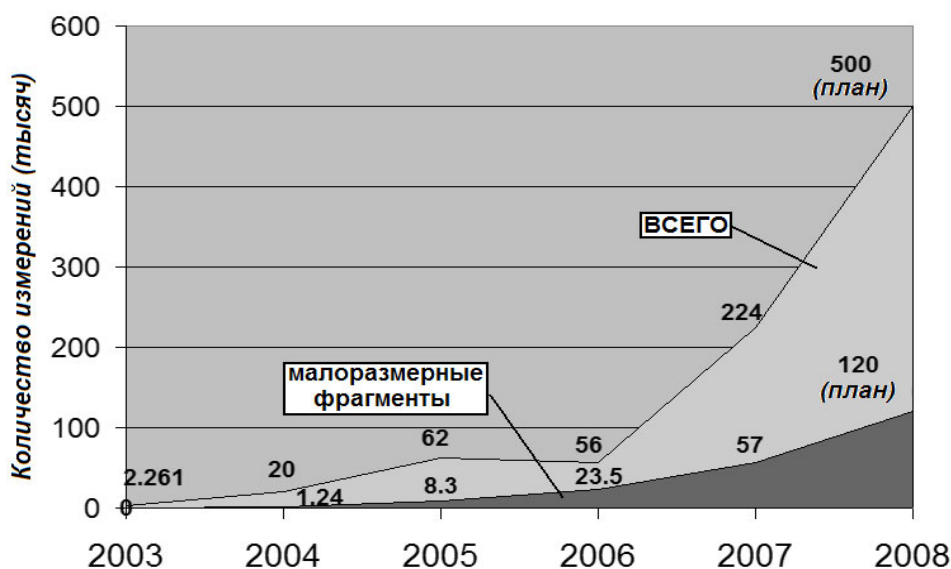


Рис. 4. Количество тысяч измерений, полученных НСОИ АФН по годам. Верхняя кривая – все измерения, нижняя – измерения по малоразмерным фрагментам.

Таблица 2. Наблюдательная статистика НСОИ АФН за 8 месяцев 2008 г.

Показатели	Статистика НСОИ АФН за 2008 г.							
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август
ночи с наблюдениями	30	28	31	29	31	30	31	31
проводки КО	7077	5212	4858	4838	4826	5294	3602	5185
сумма всех проводок (час)	1627	2402	872	899	925	908	552	1027
средняя длительность проводки (мин)	14	15	11	11	11	10	9	13
количество измерений	49053	39751	34391	42750	48880	55568	35717	55839
среднее число измерений в проводке	7	8	8	9	10	11	10	10
количество наблюдаемых объектов	1200	972	1008	1060	1064	1051	824	1073
длина дуги ГСО с измерениями по КО (град)	330	228	360	360	360	360	360	360

3. Полученные результаты

Впервые в истории страны осуществляется регулярный просмотр всей приэкваториальной области ГСО на дуге 360° . Для зоны 31.5° з.д. – 90° в.д. осуществлён выход на режим регулярных (до 140 ночей в год) глобальных обзоров области ГСО в полосе шириной $\pm 16^\circ$ относительно экватора. В 2009 г. планируется выход на режим глобального обзора всей области ГСО. Открытие новых неизвестных объектов происходит в каждом обзоре. Построен архив орбитальной информации и событий (манёвров, разрушений и т.п.), определены физические характеристики объектов (блеск, отношение площади к массе), в котором сопровождается почти 2000 высокоорбитальных объектов. Этот архив будет использован в качестве основы для формирования уточнённой модели распределения и эволюции космического мусора в области ГСО, а впоследствии – и в области высокоэллиптических орбит. Обнаружено 700 новых объектов, отсутствующих в публично распространяемой орбитальной информации – 152 неизвестных крупных (с блеском ярче 15^m) геостационарных объектов и 120 неизвестных крупных объектов на высокоэллиптических орбитах, 434 малоразмерных (с блеском слабее 15^m) фрагментов на ГСО и геопереходных орбитах. В результате, благодаря деятельности НСОИ АФН популяция известных объектов в области ГСО увеличилась на 35%.

Для избранного перечня космических объектов на основе наиболее точных измерений (ошибка измерений углового положения – $0.4''$ – $0.8''$) построены высокоточные орбиты, позволяющие решать задачи поиска и детального анализа опасных сближений, выявления малых непрогнозируемых изменений орбиты, обусловленных неизвестными причинами, и т.п. Благодаря значительному количеству и высокому качеству измерений стало возможным решать задачи выявления «слабых» динамических событий в области высоких орбит. Например, обнаружены случаи необъявленного отделения операционных фрагментов в области ГСО (фрагменты китайского КА Феньюнь-2Д, американских КА типа DSP и др.), в 2007 г. выявлены случаи внезапных изменений в орбитальном движении пассивных КА на ГСО (КА «Купон» 1997-070А, КА «Радуга» 1993-013А и др.), обусловленные дополнительным воздействием пока не установленной природы [7]. Накоплен значительный по объёму наблюдательный материал, достаточный для анализа особенностей удержания КА в орбитальной позиции при одновременном размещении в той же точке стояния КА других операторов.

Впервые в мире совместно с европейскими коллегами сформирован банк данных по малоразмерным фрагментам космического мусора на высоких орбитах, отсутствующих в публичных источниках информации. Из них 192 фрагмента сопровождается на длительных – до 3-х лет – интервалах времени. При этом следует отметить, что они

были обнаружены на разных типах орбит: как дрейфующих, так и либрационных. Это означает, что образование фрагментов осуществляется за счёт разных механизмов:

- для объектов на либрационных орбитах – это отделение с малой относительной скоростью от «родительского» объекта (возможные сценарии: низкоскоростное столкновение, разрушение внешних поверхностей при старении за счёт воздействия факторов окружающей среды или низкоскоростное отделение операционных фрагментов);

- для объектов на дрейфующих орбитах – это низкоскоростные отделения от объектов на орбитах захоронения (возможные сценарии: низкоскоростное столкновение, старение внешних поверхностей за счёт воздействия факторов окружающей среды) или высокоскоростные от любых объектов в области ГСО (возможный сценарий – разрушение КА).

Подтверждено существование «облаков» фрагментов на ГСО, порожденных разрушением нескольких КА "Экран" и ступеней типа "Транстейдж". Впервые это сделано не на анализе «статистических» (на проход через поле зрения телескопа) наблюдений, а на основе длительного сопровождения отдельных составляющих «облаков».

Получено независимое подтверждение существования нового класса объектов с таким большим отношением площади поперечного сечения к массе (ОПМ), что влияние светового давления приводит к существенной эволюции эксцентриситета и наклона их орбит. Количество подобных объектов оказалось столь велико, что требуется пересмотр существующих моделей динамического распределения космического мусора в околоземном пространстве и оценок опасности для функционирующих КА [8].

Вариации ОПМ вследствие непрогнозируемого движения относительно центра масс приводят к большим ошибкам прогноза даже на коротких интервалах времени. При этом баллистическая эволюция объектов с большим ОПМ очень критична к наличию теневых участков, что в сочетании с переменностью величины отношения приводит к дополнительным неопределённостям в определении движения. Среди фрагментов с большим ОПМ открыт подкласс объектов, орбиты которых со временем пересекают траектории высокоэллиптических и низкоорбитальных КА. Также было обнаружено несколько объектов с большим ОПМ, демонстрирующих периодическое огромное увеличение видимого блеска до 9^m – 10^m , что делает их сравнимым по яркости с самыми большими известными КА на ГСО.

Впервые по объектам с большим ОПМ получено значительное количество данных на длительных интервалах времени, которое позволило выявить и проанализировать их наблюдательные и орбитальные особенности. На рисунках 5–10 показаны распределения объектов, открытых НСОИ АФН, по блеску, отношению площади к массе, некоторым орбитальным параметрам.

Можно заметить, что блеск большей части открытых фрагментов (рис. 5) находится в области 16^m – 18^m . Эта картина отражает скорее текущие наблюдательные возможности НСОИ АФН, чем реальное распределение объектов в популяции. Более слабые объекты гораздо труднее открывать и отслеживать, особенно принимая во внимания большие вариации блеска многих из них. Для этой задачи требуются телескопы с апертурой 1,5–2,5 м, в то время как основные инструменты НСОИ АФН являются телескопами среднего класса с апертурой 60–70 см. Ожидается, что вовлечение в проект дополнительных крупных телескопов обсерваторий в Болгарии и Азербайджане сильно изменит картину распределения блеска малоразмерных фрагментов.

Распределение величины ОПМ (рис. 6) построено только с учетом фрагментов, для которых удалось определить полный вектор состояния, т.е. и количество измерений и длина измерительной дуги была достаточной, чтобы оценить отношение площади к массе, как дополнительный параметр. Только 211 из 434 открытых фрагментов удовле-

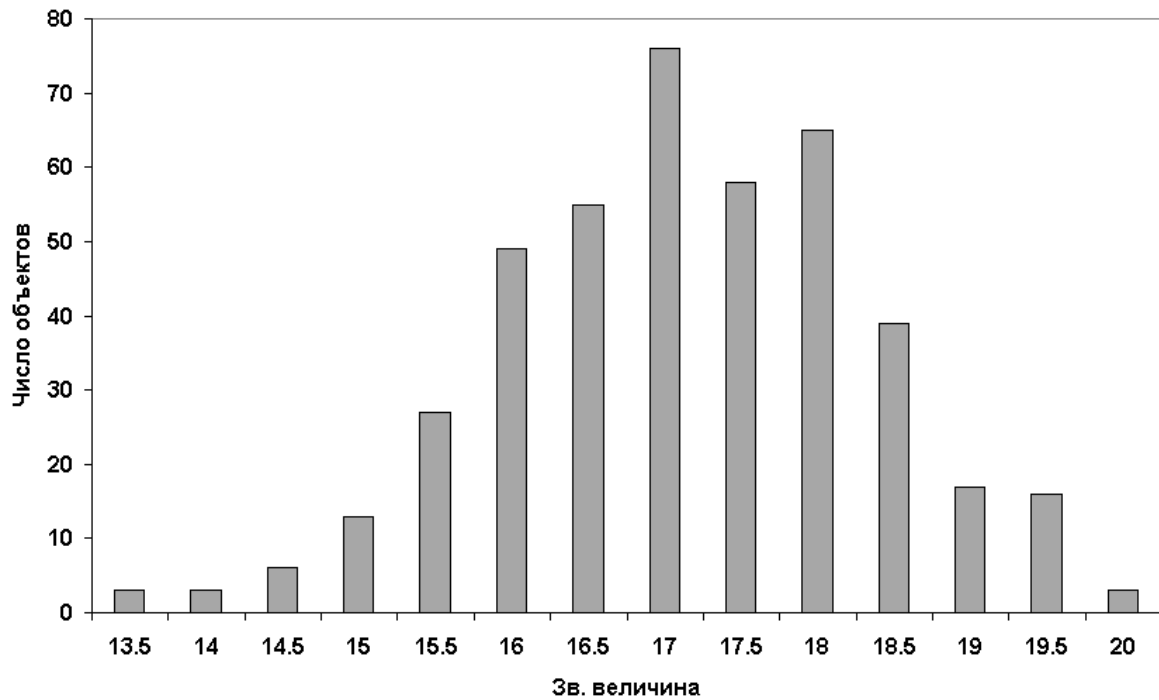


Рис. 5. Распределение среднего блеска для 434 фрагментов.

творяют этим критериям. Для других фрагментов измерительная дуга была слишком короткой. Природа объектов с отношением площади к массе большим $1 \text{ м}^2/\text{кг}$ пока еще не ясна. Основной гипотезой является предположение, что такие объекты формируются из кусков многослойного изоляционного покрытия (экранно-вакуумной теплоизоляции), которые отделяются от космического аппарата под воздействием окружающей

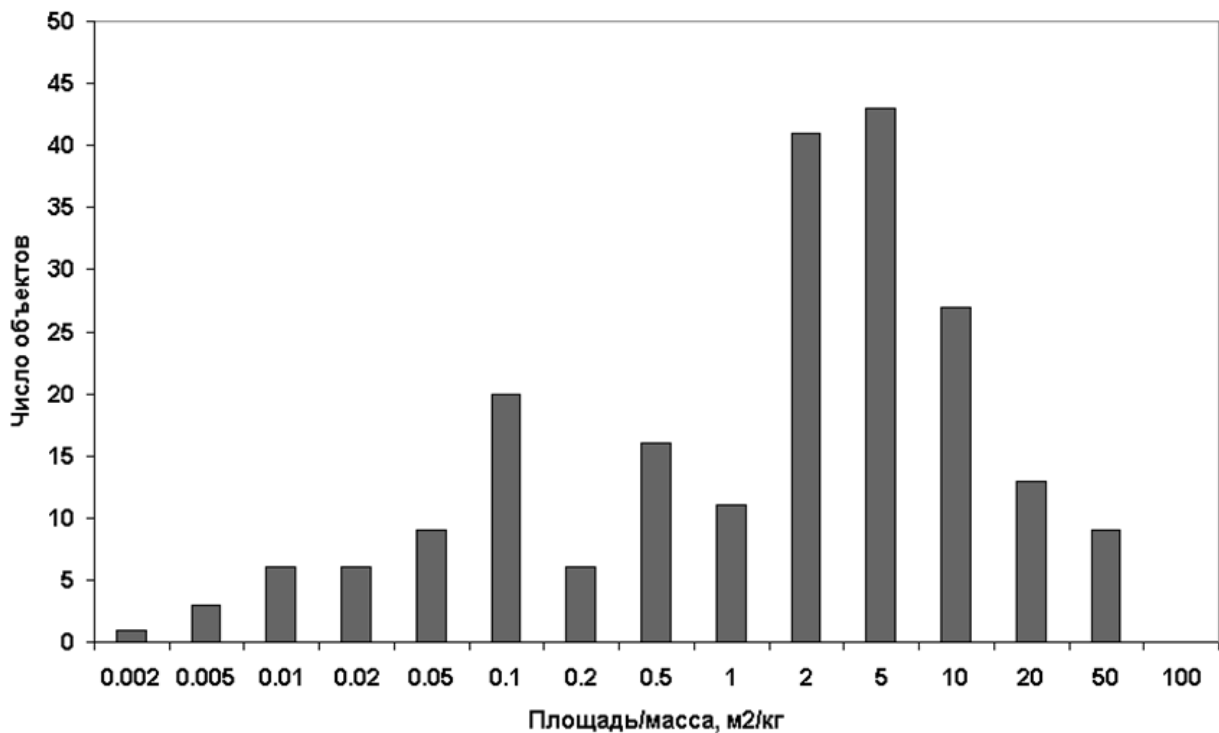


Рис. 6. Распределение отношения площади к массе для 211 фрагментов.

среды (при этом отделяются куски с разным количеством слоев – отсюда такое разнообразие величин ОПМ). Рис. 7 и 8 показывают распределение орбитальных параметров открытых фрагментов, для которых получен достоверный вектор состояния, но не было определено ОПМ. Область с объектами с большими значениями ОПМ отмечена на рисунке эллипсом.

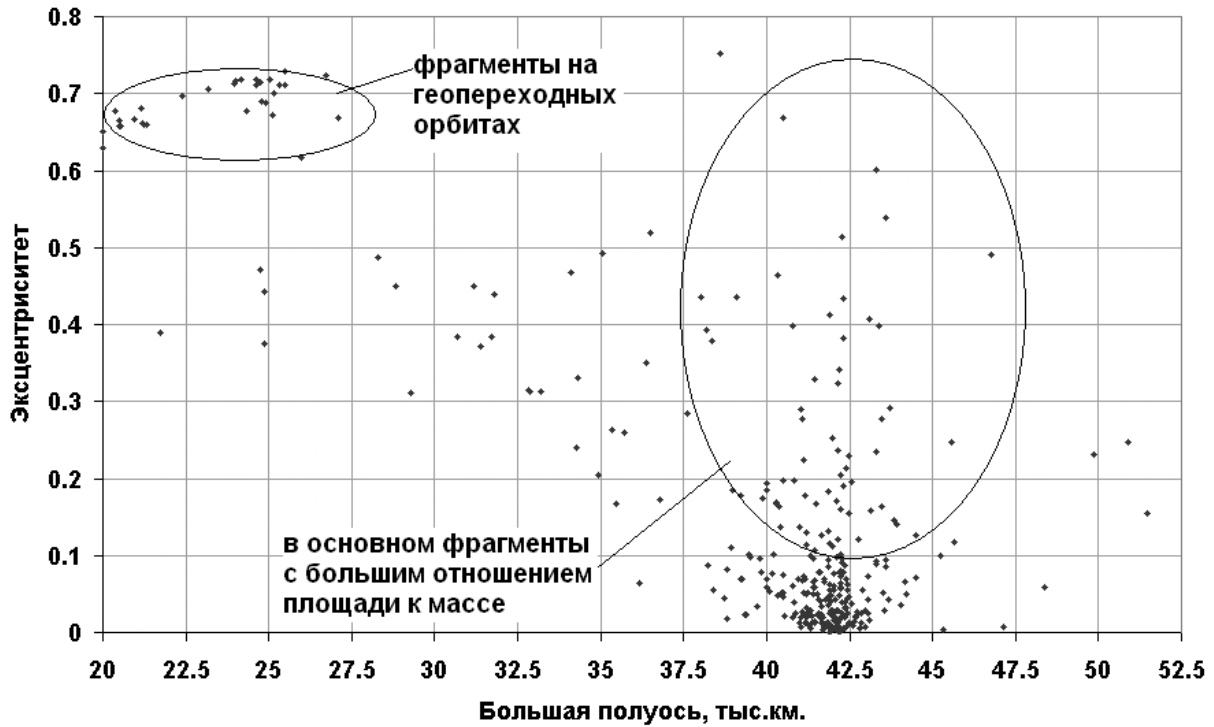


Рис. 7. Распределение большой полуоси и эксцентриситета для 336 фрагментов.

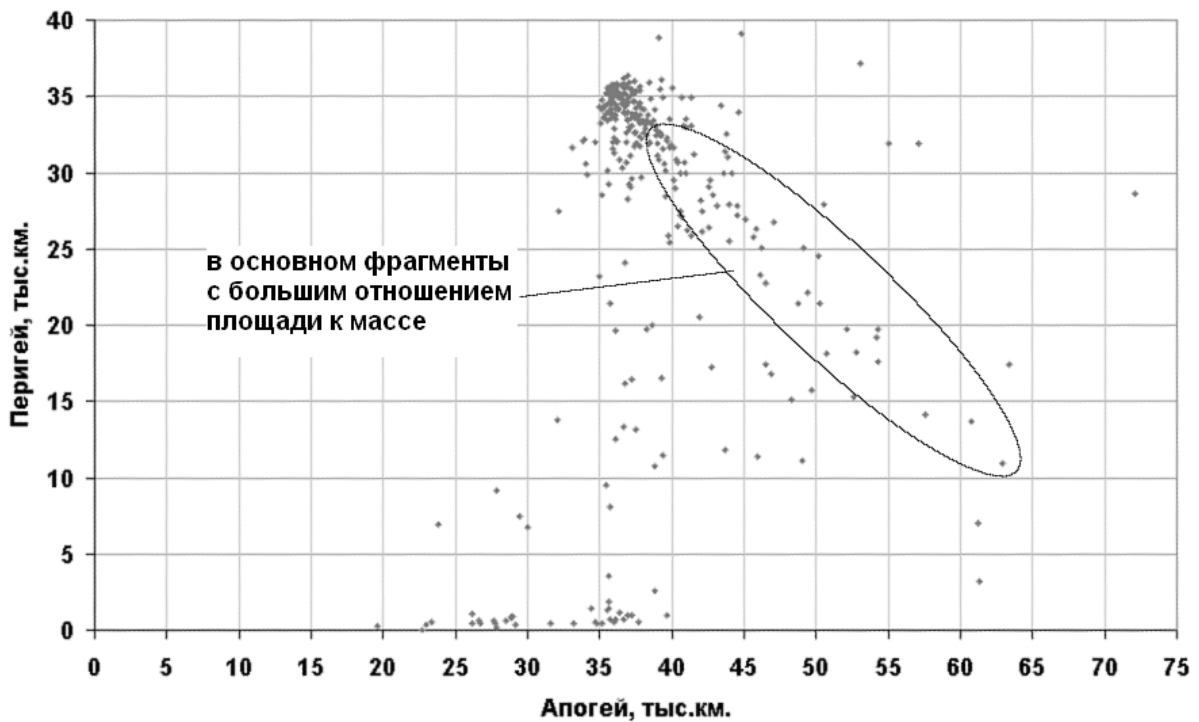


Рис. 8. Распределение высоты апогея и перигея для 336 фрагментов.

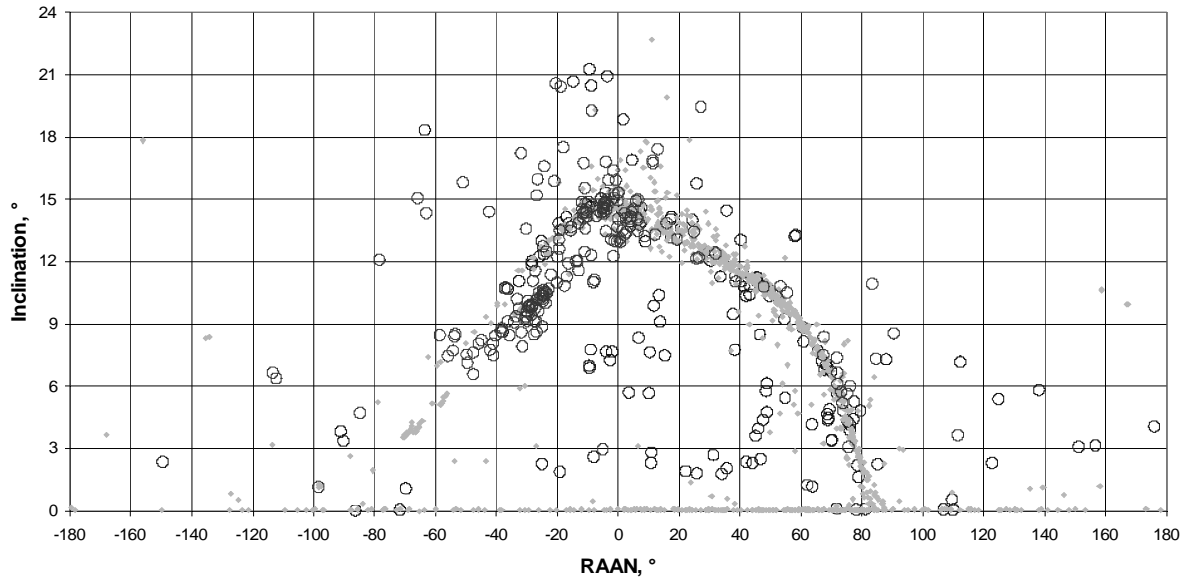


Рис. 9. Распределение 1309 ГСО-объектов, находящихся на сопровождении Сети, включая 152 крупных и 192 малоразмерных объекта, открытых НСОИ АФН, по наклонению (вертикальная ось) и прямому восхождению (горизонтальная ось).

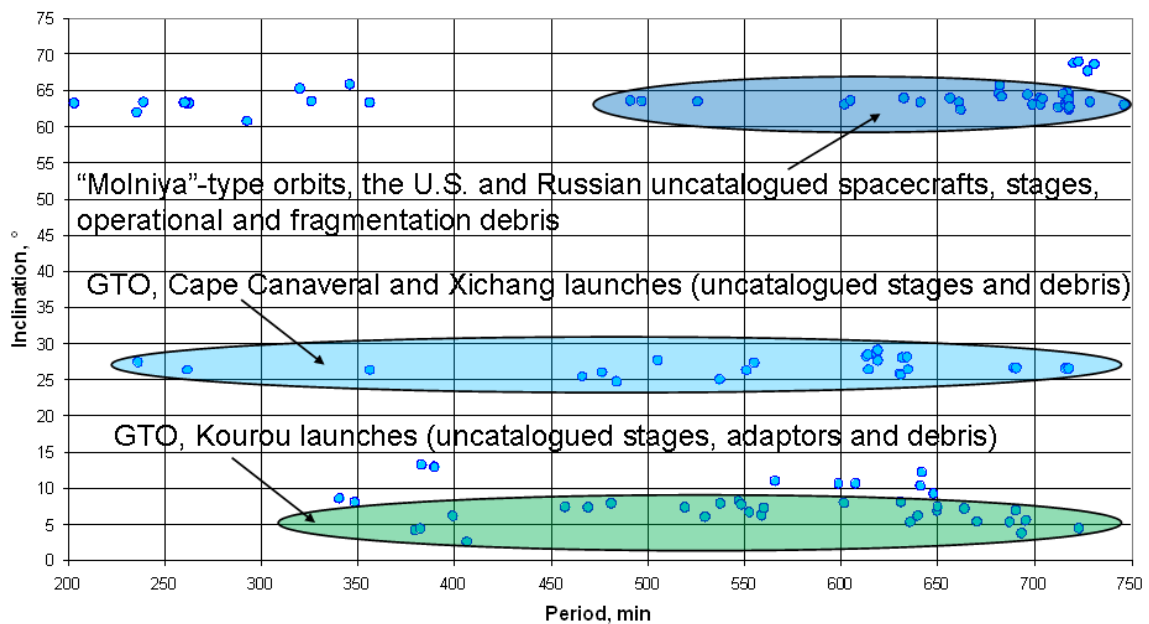


Рис. 10. Распределение 120 «новых» крупных объектов на высокоэллиптических орбитах, открытых НСОИ АФН, по наклонению (вертикальная ось) и периоду (горизонтальная ось).

Рис. 9 демонстрирует распределение по наклонению и прямому восхождению всех ГСО-объектов, которые отслеживаются НСОИ АФН. Интересно, что объекты, открытые НСОИ АФН, имеют плоскости орбит, сильно отличающиеся от объектов, орбиты которых официально выдаются американской системой контроля. Многие из этих объектов отождествляются с военными запусками США. Они в основном яркие и легко обнаруживаются даже любителями астрономии. Также на этом рисунке заметны сгущения фрагментов – облака, что позволяет предположить, что они произошли в результате нескольких разрушений космических объектов на ГСО.

На рис. 10, взятом из [9], приведены совсем свежие результаты – распределение недавно открытых объектов на различных высокоэллиптических орбитах, главным образом геопереходных и типа «Молния». Это – яркие, и, вероятно, крупные объекты, и их открытие является дополнительным подтверждением неполноты текущих данных систем контроля даже для крупных высокоэллиптических объектов. Предварительный анализ показывает, что большая часть «новых» объектов на высокоэллиптических орбитах ассоциируются с запусками из Куру (наклонение 4–8 градусов), мыса Канаверал и Сичан (наклонение 25°–29°) на геопереходные орбиты.

Другая группа объектов с наклонением, близким к 63,4° связана с российскими и американскими запусками на орбиты типа «Молния». Конечно, возможно, что некоторые из открытых высокоэллиптических объектов связаны с неизвестными взрывами верхних ступеней.

Полученные в ходе исследований орбитальные данные по неизвестным геостационарным объектам с блеском ярче 15^m ежегодно публикуются в сборнике «ESOC Classification of Geosynchronous Objects» (в последний выпуск [10] вошло уже 143 таких объекта).

Результаты совместных с европейскими партнёрами наблюдений высокоорбитальных фрагментов публикуются в ежемесячном бюллетене ИПМ им. М.В. Келдыша РАН «High Geocentric Orbit Space Debris Circular».

Заключение

Деятельность проекта НСОИ АФН охватывает 22 обсерватории бывшего СССР и позволила коренным образом улучшить ситуацию с наблюдательной астрономией в странах СНГ. Возобновлена работа обсерваторий в Китабе, Благовещенске, Гиссаре, Абастумани, Тарихе, созданы новые пункты наблюдений в Тирасполе и Мильково, изготовлено 16 оптических телескопов, приобретено и установлено в обсерваториях 25 современных ПЗС-камер.

За 4 года создана глобальная оптическая Сеть, превышающая по своим возможностям существующие системы контроля России и США в части наблюдений высокоорбитальных космических объектов. За счёт создания и развития проекта НСОИ АФН во взаимодействии с партнёрами Сети достигнут новый уровень качества исследований области ГСО – впервые получена полнота знаний о популяции ГСО-объектов с блеском до 16^m.

Обнаружение более 700 ранее неизвестных объектов показывает наличие существенных пробелов в современных знаниях о популяции космического мусора на высоких орбитах. Количество открываемых высокоорбитальных фрагментов растёт, поэтому исследования этой области пространства необходимо продолжать и расширять с целью выявления как можно большего числа потенциально опасных объектов, пересекающих орбиты функционирующих космических аппаратов

Отработан процесс обнаружения и устойчивого сопровождения значительного количества малоразмерных фрагментов на высоких орбитах. Впервые в мировой практике информация по высокоорбитальным малоразмерным объектам космического мусора регулярно публикуется и доступна исследователям.

Сеть НСОИ АФН интенсивно развивается и в ближайшее время будет способна осуществлять контроль всех ярких объектов и на высокоэллиптических орбитах.

Результаты работы Сети могут использоваться в международной деятельности по изучению проблемы космического мусора. В 2007 и 2008 гг. полученные результаты представлялись на сессиях Научно-технического подкомитета Комитета ООН по использованию космического пространства в мирных целях.

С 2007 г. в НСОИ АФН начата поддержка второго научного направления – исследований астероидов, сближающихся с Землей, при координирующей роли НИИ «Астрономическая обсерватория» Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина. В дополнение к поддержке традиционных наблюдений астероидов в Чугуеве и Симеизе начаты периодические фотометрические наблюдения на Майданаке и в Гиссаре [11]. А в попытке наблюдений астероида 2001 SN263 приняли участие большинство обсерваторий НСОИ АФН. Задачами нового проекта являются исследование двойных АСЗ, определение координат полюса астероида и построение модели его формы, изучение влияния YORP эффекта на вращение астероида. С этой целью разрабатывается новая стандартная методика наблюдений и проводятся алгоритмические усовершенствования пакета Арех II, что позволит повысить точность фотометрической информации, получаемой на большинстве инструментов сети.

Литература

1. *Molotov I.* Pulkovo cooperation of optical observers. Programme&Abstracts of Fourth European Conference on Space Debris, ESOC, Darmstadt, Germany, 18-20 April, ESA Publication Division, 2005, p.173
2. *Агапов В.М., Бирюков В.В., Борисов Г.В., Гусева И.С., Девяткин А.В., Диденко А.В., Кизюн Л.Н., Львов В.Н., Молотов И.Е., Панушев П.Г., Румянцев В.В., Сочилина А.С., Сухов П.П., Юрасов В.С.* Координированные оптические наблюдения околоземных космических объектов в поддержку сеансов РСДБ-локации. Тезисы докладов на всероссийской астрономической конференции ВАК-2004 «Горизонты Вселенной». Труды Государственного астрономического института им. П.К. Штенберга, т. 75, М., 2004, стр. 219
3. *Вольвач А.Е., Румянцев В.В., Молотов И.Е., Сочилина А.С., Титенко В.В., Агапов В.М. и др.* Исследования фрагментов космического мусора в геостационарной области. Космическая наука и технология, Т.12, N. 5/6, 2006, стр. 50-57.
4. *Agapov V., Dick J., Guseva I., Herridge P., Khutorovskiy Z., Molotov I. et al.* Joint RAS/PIMS/AIUB GEO survey results. Proceedings of the Fourth European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, 18-20 April, 2005 (ESA SR-587, August 2005), Editor: D. Danesy, ESA Publication Division, ESTEC, Netherlands, pp. 119-124.
5. *Molotov I., Agapov V., Titenko V., Khutorovsky Z., Burtsev, Yu. Guseva I. et al.* International scientific optical network for space debris research, Advances in Space Research, Volume 41, Issue 7, 2008. p. 1022-1028.
6. *Kouprianov V.* Distinguishing features of CCD astrometry of faint GEO objects. Advances in Space Research, Volume 41, Issue 7, 2008, p. 1029-1038.
7. *Agapov Vladimir, Molotov Igor, Titenko Vladimir.* The ISON International Observation Network – latest scientific achievements and the future works. Abstracts of 37th COSPAR Scientific Assembly, July 13-20 2008, Montreal, Canada, PEDAS1-0004-08, 2008, 2 pages.
8. *Agapov Vladimir, Molotov Igor, Khutorovsky Zakhary, Titenko Vladimir.* Analysis of the results of the 3 years observations of the GEO belt and HEO objects by the ISON Network. Proceedings of 59th International Astronautical Congress, Glasgow, Scotland, DVD ISSN 1995-6258,2008, AC-08-A6.1.02, 11 pages.
9. *Agapov V.M., Molotov I.E.* Worldwide scientific optical network as a global space surveillance data source, Proceedings of the the Third IAASS International Space Safety Conference "Building a Safer Space Together", 21-23 October 2008, Rome, Italy, 2008, in press.
10. *Choc R., Jehn R.* Classification of Geosynchronous Objects. Issue 10, ESOC, Ground Systems Engineering Department, Space Debris Office, Darmstadt, Germany, 2008. <http://lfvn.astronomer.ru/report/0000028/index.htm>
11. *Durech, J.; Vokrouhlický, D.; Kaasalainen, M.; Weissman, P.; Lowry, S.C.; Beshore, E.; Higgins, D.; Krugly, Y.N.; Shevchenko, V.G.; Gaftonyuk, N.M.; Choi, Y.-J.; Kowalski, R.A.; Larson, S.; Warner, B.D.; Marshalkina, A.L.; Ibrahimov, M.A.; Molotov, I.E.; Michałowski, T.; Kitazato, K.* New photometric observations of asteroids (1862) Apollo and (25143) Itokawa - an analysis of YORP effect. Astronomy and Astrophysics, Volume 488, Issue 1, 2008, pp. 345-350.

INTERNATIONAL SCIENTIFIC OPTICAL NETWORK

Molotov I.E., Agapov V.M., Kouprianov V.V., Titenko V.V., Khutorovsky Z.N., Guseva I.S., Rumyantsev V.V., Biryukov V.V., Litvinenko E.A., Borisov G.V., Sukhanov S.A., Burtsev Yu.V., Kornienko G.I., Bakhtigaraev N.S., Rusakov O.P., Schelkov P.O., Erofeeva A.V., Krugly Yu.N., Ivaschenko Yu.N., Borisova N.N., Irmambetova T.R., Zalles R., Grebetskaya O.N., Vikhristenko A.M., Aliev A., Minikulov N.H., Gulyamov M.I., Inasaridze R.Ya., Ibrahimov M.A., Erofeev D.V., Loskutnikov V.S., Erofeev A.D., Gubin E.G., Dorokhov N.I., Tsibizov O.Yu., Likh Yu.S., Chekalin O.N., Ryback A.L., Abdulloev S.H., Ermakov B.K., Yurkov V.V., Matrenitsky D.V., Semenchuk S.A.

Summary

The ISON international scientific observation network developed in the last few years have demonstrated capability to produce significant amount of high quality and often unique results in the field of space surveillance of high altitude (though mainly GEO for a while) orbits population of artificial objects. The ISON now is capable to observe whole GEO ring thanks to worldwide distribution participating facilities.

16 new telescopes with large FOV automated mounts were produced, 25 modern CCD cameras were purchased for reequipping of ISON observatories that allowed to greatly improving the ISON performances. About 800000 measurements about almost 2000 space objects were received at Center on collection, processing and analysis of information on space debris (CCPAISD) of the Keldysh Institute of Applied Mathematics up to now, and about 430000 from its during 10 months of 2008.

During the last 4 years of the work 152 bright (9th – 15th magnitude) and 434 faint (fainter than 15th magnitude) earlier unknown objects are discovered, including ones having high area-to-mass ratio (AMR). Thus population of continuously tracked objects in GEO region is increased more than 35 per cent comparing to the available public sources of space surveillance data. New discovery of 15th–16th magnitude uncorrelated short tracks continues to happen in every GEO survey. Specially developed algorithm permits to find correlation between such tracks spaced by days, weeks and even months that in turn results in discovery of new objects with well established orbits. In addition, the ISON have obtained the large amount of data for almost all previously known GEO objects.

Fragments in GEO region are discovered on different types of orbits both drifting and librating. That means there are different GEO debris creation processes involved into the generation of the fragments. In some cases definitive conclusion on the origin of discovered object is made.

All collected data for the first time in the public domain represents deterministic picture of the bright part of the whole GEO population with the high level of completeness.

Besides discovering and tracking of objects the analysis of orbital behavior based on gathered measurements is carrying out. As a result, unexpected changes in orbital motion of old GEO objects are revealed («KUPON» 1997-070A, «RADUGA» 1993-013A and other). Cause of those changes is not yet understood but in any case they cannot be explained by natural forces like gravity or solar radiation pressure. In addition, independent study of maneuvering GEO objects orbital motion is performed. Results are compared with other sources of orbital information from the point of view of quality and reliability.

The studying of the objects on HEO orbits of various classes (GTO, “Molniya” etc.) was started recently. About 120 new objects were discovered.

New fields of research have started with the ISON in last time – photometry observations of NEA.

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ

Панас Н.М., Маньшина Т.В.

В работе описаны результаты массовой обработки событий техногенного происхождения, зарегистрированных во второй половине 2006 года станциями Выборг и Валаам. В процессе исследований было осуществлено сравнение данных локализации сейсмических событий и их магнитуд по HEL (Хельсинки, Финляндия), программе рутинной обработки WSG и программе SEISAN. Сравнительный анализ данных Санкт-Петербургской и Финской сетей дал возможность установить, что существуют расхождения в локализации сейсмических событий разными сейсмологическими сетями. Выявленные расхождения величин очаговых параметров и их распределений объективно связаны с локальными и региональными скоростными и структурными неоднородностями в земной коре на пути распространения волн с различных расстояний и в разных азимутальных секторах. Следует учитывать также использование различных скоростных моделей и методических приемов финскими и нашими сейсмическими центрами. Выявлено, что совместная обработка улучшает результаты локализации.

Введение

Вопрос о сейсмической активности территории Ленинградской области к настоящему времени остается не решенным. Кроме того, этот крупный промышленный регион характеризуется интенсивной техногенной деятельностью, что влечет за собой глобальные изменения состояния геологической среды, которые должны контролироваться. В этой связи создание региональной сейсмологической сети является актуальной проблемой.

В 2006 году Геофизической службой РАН при участии ГАО РАН начата организация региональной сейсмической сети. В настоящее время уже функционируют три станции: Валаам, Выборг и Измиран. В дальнейшем планируется продолжить развитие сети.

За прошедшие два года на территории Ленинградской области зарегистрировано более двух тысяч сейсмических событий, в основном, техногенной природы, которые явились фактической основой для предварительной оценки качества сейсмической регистрации.

Под эффективностью сети сейсмических станций мы понимаем ее способность решать задачи мониторинга сейсмической опасности территории, которая определяется величиной минимального энергетического уровня регистрируемых землетрясений или взрывов, а также величиной погрешности локализации.

Сравнение эффективности работы Финской и Санкт-Петербургской сейсмологической сети оценивается только на территории Карельского перешейка и Финского залива.

Некоторые геологические сведения об исследуемой территории

Всего на Карельском перешейке разведано 12 месторождений на блочный камень и 22 месторождения – на щебень. Многие месторождения являются одновременно источником блоков и щебня. Суммарный объем промышленных запасов блочного камня по данным разведок составляет более 75 млн. м³. В исследуемом районе сосредоточено основное количество месторождений, разведанных на блочный камень для штучных изделий и для производства щебня.

По геологическим особенностям в пределах северной части Карельского перешейка М.С. Зискинд [1] выделяет следующие группы месторождений гранитов и гранито-гнейсов:

1. **Выборгскую**, охватывающую месторождения гранитов рапакиви в пределах Выборгского гранитного массива; к данной группе относятся рассматриваемые нами месторождения Эркия, Возрождение и Гавриловская группа карьеров. Выборгский массив является многофазной интрузией, состоящей из нескольких разновидностей гранита: выборгитами, трахитоидными гранитами, жильными образованиями. Повсеместно породы массива разбиты трещинами, преимущественно северо-западного и северо-восточного направлений.
2. **Центральную**, в границах площади распространения наиболее древних толщ гранито-гнейсов и гнейсов, прорываемых небольшими интрузиями гранитов; к ней приурочено Каменногорское месторождение блочного камня. Оно расположено на левобережной террасе р. Вуоксы в пределах Вуоксинского крупного опущенного блока, ориентированного на северо-запад параллельно р. Вуоксе. На западе блок ограничен разломными структурами второго порядка северо-западного простирания.
3. **Приладожскую**, приуроченную к Каарлахтинской гранитной интрузии и вмещающей ее метаморфизованные толщи гранито-гнейсов и гнейсов. В данной группе разведаны месторождения Кузнечное, Кузнечное I, Ровное и другие.

Район Кузнеченских карьеров относится к Хиитольской структурной зоне северо-западного простирания, приподнятой относительно соседних блоков. Здесь широко развиты разрывные нарушения, среди которых отчетливо выделяются системы северо-западного, субширотного и северо-восточных направлений, благодаря чему район имеет сложное блоковое строение.

Исходные данные. Методика исследования

В ходе исследований было обработано около 200 событий техногенного происхождения, зарегистрированных, в основном, во второй половине 2006 года сейсмическими станциями Выборг и Валаам. Эти события были разделены на несколько отдельных выборок. Первая выборка (1) образована всеми событиями, данные о которых получены в процессе массовой обработки сейсмограмм (рис. 1). События в акваториях Финского залива и Ладоги связаны, скорее всего, с расчисткой фарватера и строительством порта в г. Приморске. Последующие три массива (2, 3, 4) образованы только из 98 одних и тех же сейсмических явлений.

В качестве основы использована спутниковая карта (<http://earth.google.com>) северной части Санкт-Петербургского региона, на которых отображаются практически все промышленные карьеры региона (рис. 2).

Массив 3 представляет собой результаты рутинной обработки материалов станций сети (VAL, VYB) с применением программного комплекса WSG 5.5.5. (разработанного Геофизической Службой РАН совместно с ООО «НПП Геотех», автор Акимов Андрей Петрович) с ограниченным использованием данных других станций. Эти данные еще не были доступны в 2006 году (рис. 4).

Выборка 4 – это результаты локализации тех же взрывов по совокупности данных Санкт-Петербургской сети и HEL с помощью системы SEISAN 8.0. (the earthquake analysis software) и использованием программы гипоцентрии НУР [3] (рис. 5).

Контроль результатов, полученных в результате анализа выборок (2, 3, 4), осуществлялся посредством сравнения последних с результатами обработки специального массива (6), состоящего из 16 специально выделенных «элитных» взрывов, представляющих все группы карьеров (рис. 6).

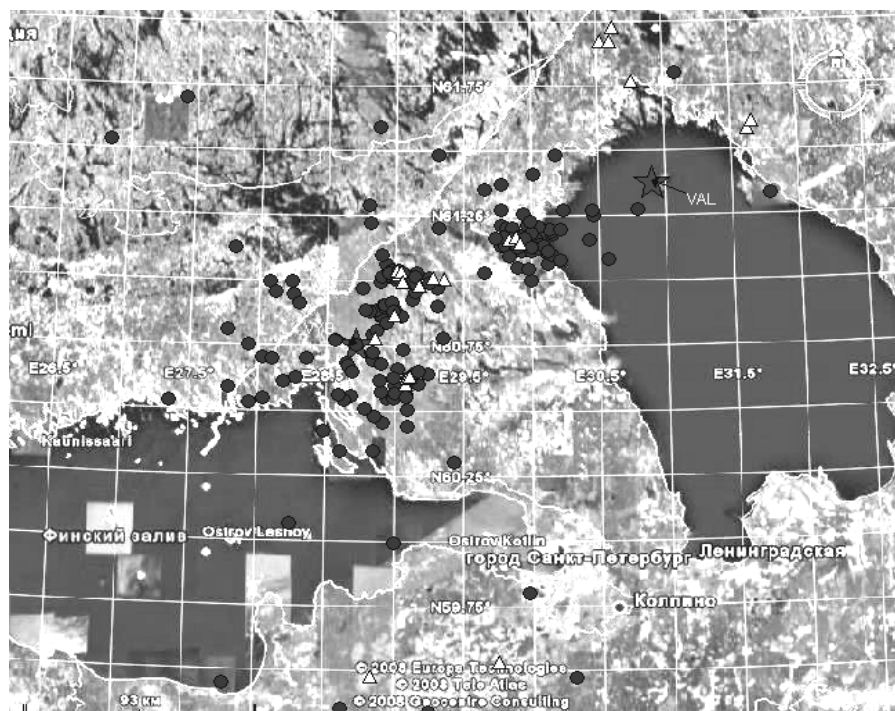


Рис. 1. Все локализованные события периода сентябрь-декабрь 2006 года.
М 1:2325000.

- △ – карьеры
- – эпицентры взрывов
- ★ – сейсмические станции Санкт-Петербургской сейсмологической сети

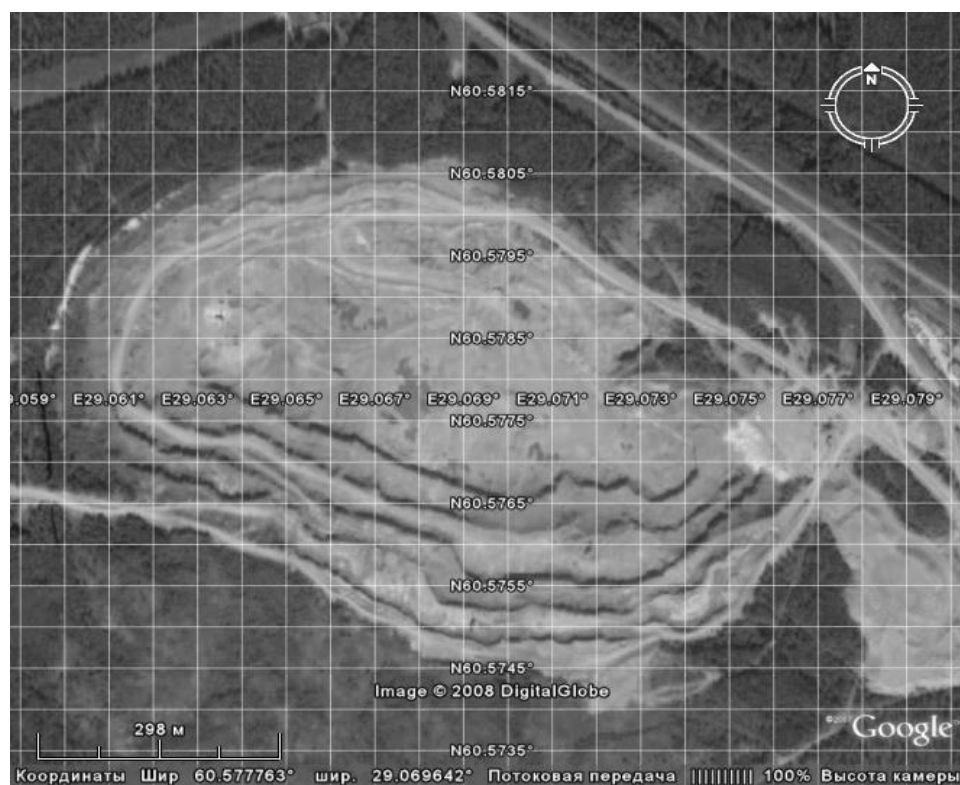


Рис. 2. Карьер Гавриловской группы.
М 1:7450.

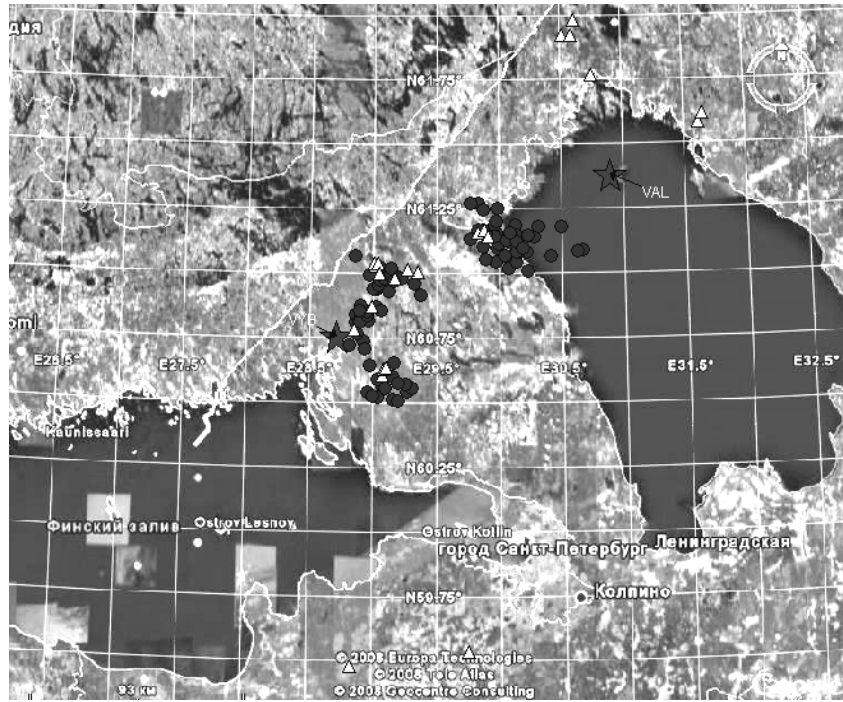


Рис. 3. Взрывы, локализованные финским сейсмическим центром HEL.
М 1:2325000.

- △ – карьеры
- – эпицентры взрывов
- ★ – сейсмические станции Санкт-Петербургской сейсмологической сети



Рис. 4. Взрывы, локализованные программой WSG.
М 1:2325000.

- △ – карьеры
- – эпицентры взрывов
- ★ – сейсмические станции Санкт-Петербургской сейсмологической сети

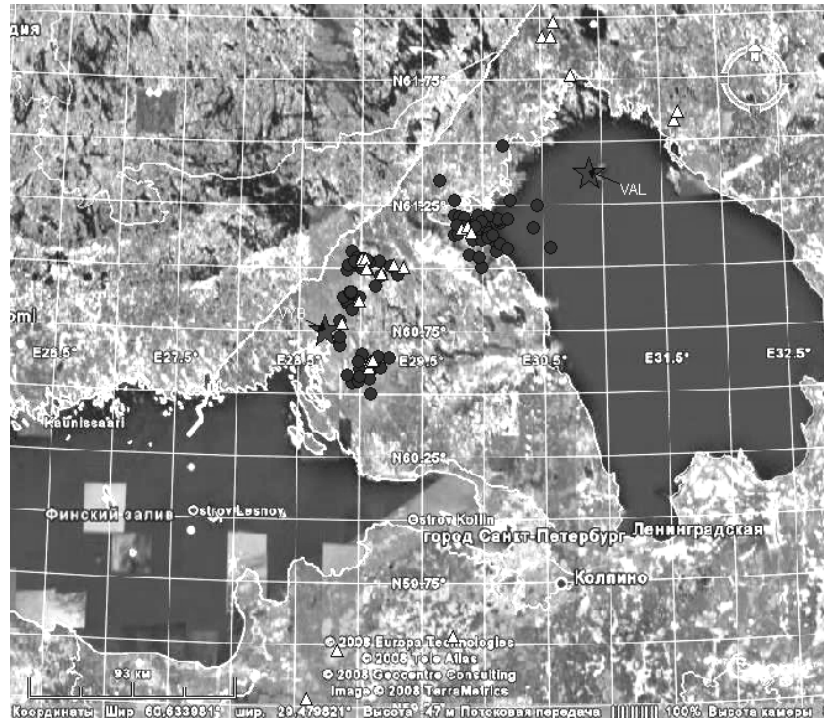


Рис. 5. Взрывы, локализованные программой Seisan с добавлением данных каталога HEL.
М 1:2325000.

- △ – карьеры
- – эпицентры взрывов
- ★ – сейсмические станции Санкт-Петербургской сейсмологической сети

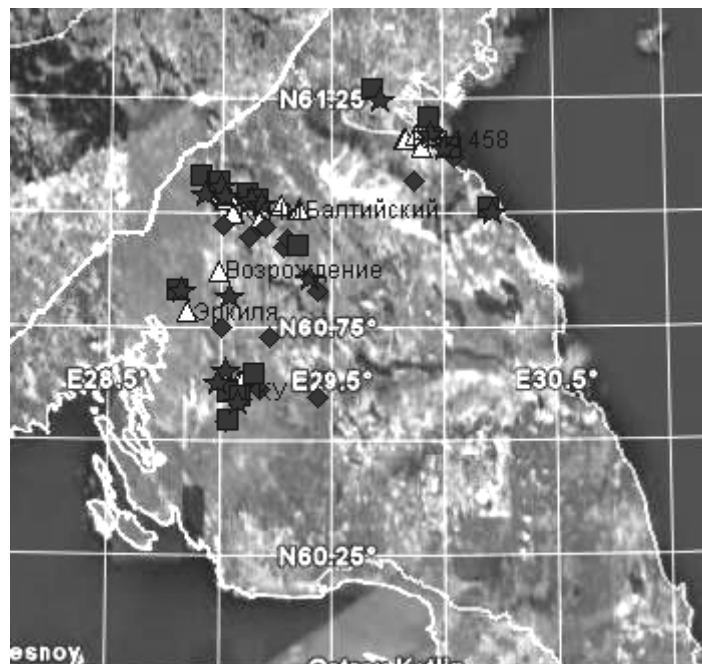


Рис. 6. Выборка из 16 событий, зарегистрированных станциями
в период август-сентябрь 2007 года.
М 1:929100

- ◆ – события, локализованные финскими станциями
- – события, локализованные в программном комплексе WSG 5.5.5.
- ★ – события, локализованные в программном комплексе Seisan 8.0.
- △ – карьеры

В окончательном виде результаты обработки представлены картой эпицентров.

Для дальнейшего анализа были сформированы 4 карьерные группы (карьеры в районе пос. Кузнечного (Куз); в районе г. Выборг («Возрождение» – Voizr); у г. Каменогорска (Кам) и у пос. Гаврилово (Gavr)).

Понятно, что на данном уровне анализа невозможно определить приуроченность того или иного события к конкретному месту взрыва, так как к настоящему времени не разработана точная скоростная модель. Поэтому все расчеты проводились относительно центров карьерных групп.

Для локализации очагов использован скоростной разрез земной коры из работы Литвиненко И.В. [2].

Следует добавить также, что в выборку (1) включены 92 события второй половины 2006 года, зарегистрированных станцией Выборг, но отсутствующих в бюллетенях финской сейсмологической сети. Эти события отдельно представлены на рисунке 7. Обработка данных событий была осуществлена комплексами WSG 5.5.5. и SEISAN 8.0.



Рис. 7. Взрывы, отсутствующие в каталоге HEL.
М 1:2325000.

- △ – карьеры
- – эпицентры взрывов
- ★ – сейсмические станции Санкт-Петербургской сейсмологической сети

Анализ выборок 2, 3, 4

Анализ локализации 98 событий, проведенной с применением различных методик обработки (HEL, WSG, SEISAN) показал, что на территории Карельского перешейка имеется, по крайней мере, четыре сейсмических источника. Однако результаты расчетов указывают на существенные расхождения в их локализации разными методами. Так, несмотря на небольшие расчетные погрешности определения эпицентров, указан-

ные в финских каталогах (порядка 2 км), фактические отклонения положения событий от центров карьерных групп оказались в 10 раз больше (табл. 1). Расхождения носят систематический характер, так как отклонения всегда происходят на юг и юго-запад, и для группы карьеров в районе пос. Кузнечного – на юго-восток.

Таблица 1. Погрешности определения времени в очаге и локализации событий, относящихся к различным карьерным группам.

Кам	Невязка по широте, км		Невязка по долготе, км		Невязка по времени, с
	расчетная	фактическая	расчетная	фактическая	
Данные по SEISAN 8.0	3,3	5,1	6,8	7,0	1,75
Данные по HEL	1,4	4,0	1,3	8,0	0,3
Кyz					
Данные по SEISAN 8.0	7,5	16,7	13,4	14,0	2,25
Данные по HEL	1,72	17,0	2,04	21,0	0,32
Gavr					
Данные по SEISAN 8.0	7,4	8,0	9,1	10,0	1,98
Данные по HEL	2,1	10,0	1,6	13,0	0,34
VoZR					
Данные по SEISAN 8.0	3,8	5,1	8,9	9,5	1,94
Данные по HEL	1,9	6,0	2,2	8,0	0,37

События той же выборки, обработанные в WSG без использования данных станций финской сети, распределены на карте хаотично и слабо привязаны к карьерным группам, при этом смещение эпицентров происходит на юго-запад, юг и северо-запад.

Подобные ошибки, очевидно, объясняются недостаточным количеством станций в сети (только две), имевшихся в 2006 году, и отсутствием в то время данных других (финских) материалов регистрации финских станций в нужном формате. Следует констатировать также, что система WSG не позволяет полностью рассчитать погрешности определения положения гипоцентра сейсмического события.

Совместная обработка событий в программном комплексе Seisan 8.0. с использованием данных финской и Санкт-Петербургской сетей несколько уточнила локализацию и уменьшила невязки (приблизительно на 2 км), но при этом также присутствовало отклонение от карьеров на юго-запад и запад, в случае событий Кузнечной группы – на юго-восток. Размеры скоплений событий в среднем составляют 10-11 км, что связано с вытянутостью самих карьерных групп. Выборгская группа карьеров вытянута с северо-востока на юго-запад, Каменногорская группа – с северо-запада на юго-восток.

Анализ данных показал, что повсеместно, как финские, так и совместные определения положения источников совпадают между собой только в радиусе 5 км. Географически они приурочены к карьерам с точностью 13 км. При этом средние расчетные стандартные отклонения по выборке по широте и долготе по данным финских станций (табл. 1) составляют 1,8 км (ошибка счета), при добавлении российских станций погрешность резко увеличивается. Ошибка определения времени в очаге (RMS) – 0,3 и 2,2 секунды соответственно.

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что взрывы из карьеров Каменногорской группы локализируются наиболее точно, что связано с близким расположением данных карьеров к финским и российским сейсмическим станциям. Напротив, большие невязки при локализации сейсмических событий из карьеров в районе пос. Кузнечное вызваны неоднородным геологическим строением – наличием Приозерского разлома.

Выявленные расхождения величин очаговых параметров и их распределений объективно связаны с локальными и региональными скоростными и структурными неоднородностями в земной коре на пути распространения волн с различных расстояний и в разных азимутальных секторах. Следует учитывать также использование различных скоростных моделей и методических приемов финским и Санкт-Петербургским сейсмическими центрами.

Кроме того, расхождения могут быть обусловлены технологией проведения горных работ, в частности короткозамедленным взрыванием.

Эффективность сейсмической регистрации может быть определена по графику повторяемости сейсмических событий с различными магнитудами на данной территории. Анализ данных показал, что Санкт-Петербургская сеть станций регистрирует все события с магнитудой 0,8 и более (рис. 8), финская же сеть – начиная с магнитуды 1,1 в соответствии с нормальным распределением (рис. 9).

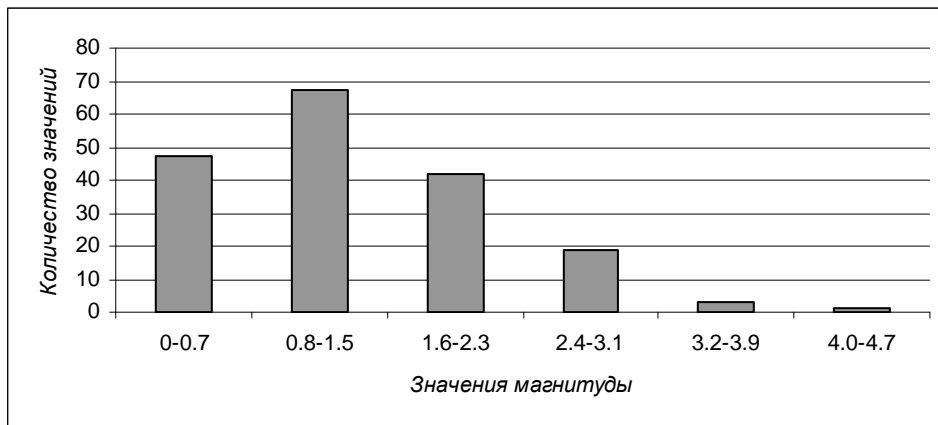


Рис. 8. График повторяемости по данным станций VAL и VYB за вторую половину 2006 года.

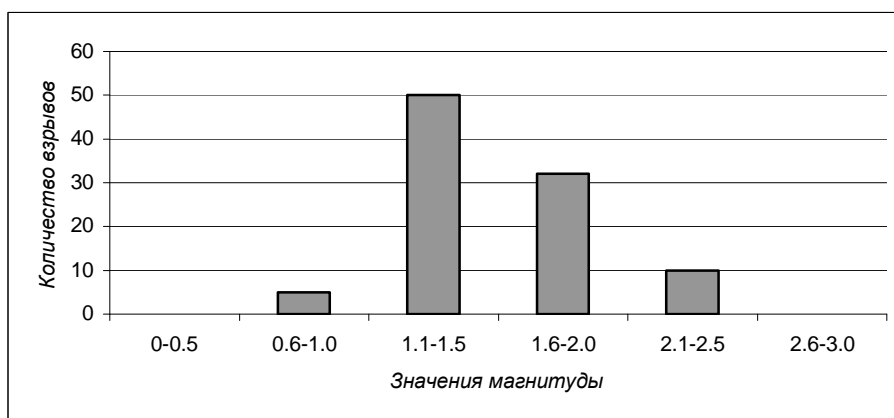


Рис. 9. График повторяемости по данным станций финской сейсмической сети за вторую половину 2006 года.

Анализ выборки из 92 событий, не локализованных сетью сейсмических станций HEL

Очень интересным фактом оказалось отсутствие в финских бюллетенях некоторых событий, зарегистрированных станциями Санкт-Петербургской сети. По своей природе они могут быть несанкционированными взрывами, местными землетрясениями или просто помехами.

92 выбранных события в пределах региона распределены крайне неравномерно, в большинстве своем они все же приурочены к определенным группам карьеров.

Магнитуды большинства событий представленной выборки находятся в диапазоне – 0,6-1,1.

Кроме того, события имели место на побережье Финского залива; вероятно, источниками являлись строительные работы. Можно предположить также, что некоторые события имеют тектоническую природу, однако эта проблема требует дополнительных исследований.

Анализ выборки из 16 событий

Данная выборка была составлена для контроля результатов массовой обработки в системе WSG материалов регистрации 2006 года.

В начале исследования из бюллетеня HEL были выбраны 16 достаточно сильных события (M_L 1.4 – 1.8), имевших место в августе-сентябре 2007 года. Основным критерием выбора была их приуроченность к четырем описанным выше группам карьеров и достаточна большая магнитуда. Как и раньше, события были обработаны с помощью пакетов WSG 5.5.5. и Seisan 8.0. Результаты обработки сравнивались с данными локализации, опубликованными на сайте HEL.

По результатам обработки построена карта эпицентров (рис. 5). Рассмотрение рисунка показало, что даже в этом случае обработка разными методиками дает различные результаты локализации. Так, например, по определениям в программе Seisan получается, что 4 события попали в группу карьеров Кузнечное, 6 событий – в Каменногорскую группу, 2 события – в Выборгскую группу, 3 события – в группу Гаврилово и 1 событие отклонилось от всех карьерных групп. Отклонение одного события от всех карьерных групп, а также расхождения в количестве событий в группе карьеров Возрождения и Гаврилово связаны, скорее всего, с ошибками в локализации события. Таким образом, возникает три вопроса:

1. С использованием какого программного комплекса WSG или Seisan результаты локализации лучше?
2. Улучшает ли локализацию совместная обработка станций HEL и станций Выборг и Валаам?
3. Достоверны ли результаты локализации HEL?

Построенная карта эпицентров для 16 событий (рис. 5) показала, что результаты обработки в программе Seisan 8.0. лучше, чем результаты локализации в программном комплексе WSG 5.5.5. Эпицентры, полученные в программе Seisan, отклоняются от карьерных групп значительно меньше.

Для получения ответа на второй вопрос сравним погрешности локализации в виде стандартных отклонений по широте и долготе, которые опубликованы для решений HEL, и вычислены нами в процессе обработки программой Seisan. Программный модуль WSG 5.5.5., к сожалению, методически не дает возможности рассчитать стандартные отклонения.

Таблица 2. Погрешности определения времени в очаге и локализации событий, относящихся к различным карьерным группам.

Кар	Невязка по широте, км		Невязка по долготе, км		Невязка по времени, с
	расчетная	фактическая	расчетная	фактическая	
Данные по SEISAN 8.0	4.57	3.15	8.33	5.20	2.13
Данные по HEL	2.17	5.55	4.10	5.25	0.43
Кyz					
Данные по SEISAN 8.0	7.2	7.82	10.7	9.4	2.00
Данные по HEL	1.47	4.45	2.22	5.95	0.30
Gavr					
Данные по SEISAN 8.0	8.93	4.85	10.25	3.45	1.93
Данные по HEL	2.7	5.70	4.3	8.55	0.55
Voze					
Данные по SEISAN 8.0	3.80	0.40	7.20	5.40	1.88
Данные по HEL	2.10	9.7	4.10	5.40	0.50

Таблица 2 показывает, во-первых, что совместная обработка в программном комплексе Seisan с использованием данных финской и Санкт-Петербургской сетей станций улучшает результаты локализации по всем карьерным группам, кроме карьеров в районе поселка Кузнечное. Во-вторых, публикуемые данные локализации событий сейсмической сетью HEL, скорее всего, не являются вполне достоверными, так как фактические ошибки на порядок превышают расчетные.

Образованная нами контрольная выборка из 16 событий подтверждает результаты, полученные ранее в процессе массовой обработки.

На основании проведенных исследований можно сделать несколько выводов:

1. Сеть сейсмических станций, существующая в Санкт-Петербургском регионе, не дает возможности локализовать сейсмические события с необходимой точностью даже при привлечении данных регистрации финских станций. Ошибки в локализации событий могут быть связаны с односторонним расположением финских станций относительно сейсмических источников; с неоднородным геологическим строением; с технологией проведения горных работ.
2. В бюллетенях HEL представлены не все взрывы, производимые на территории Санкт-Петербургского региона.
3. Функционирование Санкт-Петербургской сети снизило минимальный порог магнитуды регистрируемых событий с 1.1 до 0.8.
4. Приводимые в бюллетенях HEL значения погрешностей определения основных параметров сейсмических событий существенно занижены и не соответствуют фактическим отклонениям от положения карьеров на картах.

Литература

1. *Киселев И.И., Проскуряков В.В., Саванин В.В.* Геология и полезные ископаемые Ленинградской области. СПб, 1997. 195 с.

2. *Литвиненко И.В., Анкудинов С.А. и др.* Глубинный сейсмический разрез земной коры Приладожья и юго-западной Карелии. // Записки Горного института им. Г.В. Плеханова. 1982. 9 с.
3. Lienert, Havskov. A computer program for locating earthquakes both locally and globally // Seism. Res. Lett., 1995. V.66. P. 26–36.

THE EFFICIENCY OF THE REGISTRATION OF THE ST. PETERSBURG SEISMIC NETWORK

Panas N.M., Manshina T.V.

Summary

The results of total data processing of technogenic origin events registered by seismic stations VAL, VYB in the second half of 2006 are described in this paper. In the process of research was carried out by comparing the data localization of seismic events and their magnitude on HEL (Helsinki, Finland), routine processing program WSG and the program SEISAN. The comparative analysis of data of the St.-Petersburg and Finnish networks revealed that distinctions exist in localization of seismic events by different seismic stations. Identified divergence values focal parameters and their distributions objectively linked to the local and regional expressways and uneven structural in homogeneities in the earths crust in the way of wave propagation from different distances and in different azimuth sectors. It should also take into account the use of various high-speed models and teaching methods and our Finnish seismic centers. It is revealed, that joint elaboration improves results of localization.

МОРФОЛОГИЯ РОДИТЕЛЬСКИХ ГАЛАКТИК СВЕРХНОВЫХ ТИПА Ibс

Полякова Г.Д.

Изучено распределение морфологических типов близких ($V_r < 18000$ km/s) родительских галактик сверхновых типа Ibс, которое сравнивалось с аналогичными распределениями для сверхновых типов II и Ia. Проведенный анализ не выявил их статистически значимого различия и показал, что выборки морфологических типов родительских галактик сверхновых SNe Ibс, SNe II и SNe Ia типа SN 1991T, можно отнести к одной и той же генеральной совокупности. Сравнение распределений морфологических типов галактик SNe Ibс и SNe Ia нормальных и пекулярных типа 1991bg, напротив, выявило их значимое различие (уровень $P = 99\%$), указывая на различие состава их (родительских галактик) звездного населения.

1. Введение

Сверхновые типа I (SNe I) впервые разделены на два класса Ia и Ib в 1985 г. Элиасом и др. [1]. К классу Ib были отнесены три звезды SN 1983I, 1983N и 1984L.

Оптическая спектроскопия этих трех звезд [2-4] близко к эпохе максимума показала, что в их спектрах отсутствуют линии водорода и сильная абсорбционная линия кремния 6150А, являющаяся характерным признаком классических сверхновых типа I в эпоху максимума. В полученных ранее Бертолой [5, 6] спектрах SN 1962L и 1964L также отсутствовала абсорбция с λ 6150 А, поэтому эти звезды были классифицированы как пекулярные сверхновые типа I. Спектры SN 1983N [2] и 1984L [3] оказались практически идентичными спектрам, полученным Бертолой, что еще раз подтвердило справедливость деления SNe I на два типа Ia и Ib.

Проведенное Уилером и Левролтом [3] сравнение спектров двух сверхновых SN 1983N и 1984L со спектром классической сверхновой Ia SN 1981B выявило основные различия между ними и явилось доказательством спектрального различия между сверхновыми классическими (тип Ia) и пекулярными (тип Ib). Авторы показали также, что SN 1962L, 1964L, 1983N, 1984L, 1983I и 1983V образуют отдельную группу спектрально однородных сверхновых SNe Ib, прототипами которых являются SN 1983N и 1984L.

Подробный анализ всех опубликованных результатов наблюдений восьми кандидатов в группу SNe Ib был проведен Филиппенко и Портером [7], а также Панагия и Лейдлер [8] с целью выявления их наиболее характерных свойств. Авторы [7] сформулировали основные спектральные критерии классификации сверхновых типа Ib: 1) линии водорода не наблюдаются в их спектрах в течение всего времени эволюции; 2) в фотосферной стадии отсутствует абсорбция λ 6150 А; 3) в небулярной фазе преобладают сильные эмиссионные линии [OI] 6300, 6364 А; [Ca II] 7291, 7324 А и других металлов. Эти спектры сильно отличаются от небулярных спектров SNe Ia и убедительно показывают, что SNe Ib образуют отдельный класс сверхновых типа I [9].

Результаты изучения SN 1983I и 1983V, приведенные в [4], показали, что в спектрах этих сверхновых, а также SN 1962L и SN 1964L, полученных близко к их максимумам блеска, помимо линий водорода, отсутствовали сильные абсорбционные линии вблизи $\lambda\lambda$ 6150 и 5700 А. Последняя наблюдалась в ранних спектрах SNe Ib 1983N и 1984L в течение первых двух месяцев и была отождествлена Харкнессом и др. [4, 10] с линией He I λ 5876 А, смещенной эффектом Допплера [4, 10]. Авторы [4] отметили большое сходство спектров SN 1983I и 1983V между собой и предположили, что они принадлежат третьему типу сверхновых с дефицитом водорода, типу Ic. Согласно Филиппенко [11], разделять сверхновые на Ib и Ic можно только по ранним спектрам этих

звезд, поскольку их поздние спектры не различаются заметным образом. Позднее Матесоном и др. был опубликован детальный анализ спектров сверхновых этих типов в фотосферной и небулярной фазах их эволюции [12].

Схематическое представление деления сверхновых по типам в эпоху максимума блеска и небулярной фазе приведено в обзоре “Классификация сверхновых” Харкнесса и Уилера [13].

В некотором отношении сверхновые типов Ibc и II похожи. Они наблюдаются в основном в рукавах спиральных галактик поздних типов [7], тесно связаны с H II-областями, являющимися индикаторами областей недавнего звездообразования [14, 15]. Поэтому авторы этих работ считали, что предсверхновые SNe Ibc и II являются массивными звездами с коротким временем эволюции. В этой связи представляется интересным факт открытия двух сверхновых разных типов SN 1998Y (тип II) [16] и SN 2000C (тип Ic) [17], положение которых в родительской галактике NGC 2415 различалось незначительно. Другим аналогичным примером являются сверхновые SN 2001I (тип II) [18] и расположенная несколько севернее SN 2003ih (тип Ib/c) [19], открытые в галактике UGC 2836.

Прямым доказательством связи между типами SNe Ib и SNe II является изменение спектрального типа у некоторых сверхновых в процессе их эволюции. Примерами таких звезд являются SN 1987K [20], 1993J [21] и 1996cb [22], названные Вусли сверхновыми типа IIb [23]. В эпоху максимума блеска в их спектрах присутствовали довольно слабые фотосферные линии H I и Ca II. Спустя несколько месяцев они напоминали спектры SNe Ib. Вместо широкой эмиссионной линии H α , доминирующей в небулярных спектрах SNe II, появились эмиссионные линии [OI] $\lambda\lambda$ 6300, 6364; [Ca II] $\lambda\lambda$ 7291, 7324 и инфракрасный триплет Ca II. Эти звезды представляют доказательство связи между предсверхновыми и механизмами взрыва SNe II и SNe Ibc [24].

Также как и SNe II, сверхновые типа Ibc иногда являются источниками радиоизлучения и ассоциируются с гамма всплесками.

2. База данных

Список сверхновых SNe Ibc, опубликованный в [25], был дополнен звездами, открытыми к концу 2008 года. Он содержит 315 сверхновых, наблюдавшихся в 308 родительских галактиках. В семи из них (NGC 7714, NGC 1187, NGC 2207, NGC 2770, NGC 3464, NGC 3810, NGC 4568) отмечались повторные вспышки таких звезд. Интересно, что в спиральной галактике (типа SBT5) NGC 3464 в 2002 году были открыты две сверхновые 2002J (тип Ic) [26] и 2002hy (тип Ib/c) [27], первая из которых наблюдалась немного юго-западнее второй. Кроме того, 39 сверхновых наблюдались в галактиках, которые являются членами взаимодействующих пар или систем, приведенных в каталоге Воронцова-Вельяминова [28] Этот факт лишний раз подтверждает справедливость выводов работы Смирнова и Цветкова [29].

Сверхновые типа Ibc являются сравнительно редкими объектами. Однако, за последние годы число открытых SNe Ibc значительно возросло и к концу 2008 года достигло 315. Из них были отобраны 234 звезды, открытые в близких ($V_r < 18000$ km/s), ярких родительских галактиках с известными морфологическими типами. Последнее позволяет провести некоторые статистические исследования характеристик как самих звезд, так и их родительских галактик, а полученные результаты сравнить с результатами подобных исследований SNe Ia и SNe II. Как отмечалось выше, последние по ряду свойств похожи на SNe Ibc. Все необходимые сведения о родительских галактиках этих сверхновых были получены из каталогов [30, 31].

Список SNe II, открытых к концу 2008 года, также составлен нами по данным Циркуляров МАС, известных Каталогов сверхновых ГАИШ [32], обсерватории Асияго

[33] и другим многочисленным публикациям, привести которые не представляется возможным. Он содержит 1134 звезды, для каждой из которых приводятся астрометрические, спектральные и фотометрические данные о самой звезде и ее родительской галактике. Наш каталог также содержит данные о фазе эволюции SN на момент открытия, признак классификации звезды как SN II (вид спектра, форма кривой блеска), метод фотометрии (фотографический, визуальный и с применением ПЗС матриц); ее взаимосвязь с областями H II, OB- ассоциациями и спиральной структурой родительских галактик. Для последующей работы были отобраны звезды, открытые в близких галактиках, и тип которых определен по виду спектра.

Заметим, что при составлении списка SNe Ia, необходимого для выполнения этой работы, из каталога ГАИШ [32] и Циркуляров МАС мы отобрали 527 звезд, также открытых в близких родительских галактиках. Морфологические типы последних были получены нами в основном из каталогов RC3 [30], PGC [31] и ГАИШ [32].

Анализ частот распределений морфологических типов в выборках сверхновых SNe Ibc, SNe Ia и SNe II проводился методом сравнения двух выборочных относительных частот (долей вариантов), а значимость их разностей определялась по “u-критерию” [34]. Такой метод анализа правомочен, поскольку он позволяет сравнивать выборки разного объема.

Различие самих распределений морфологических типов определялось по критериям Пирсона χ^2 и Колмогорова-Смирнова [34]. Полученные результаты приведены в разделе 3.

3. Результаты

3.1. Распределение морфологических типов родительских галактик SNe Ibc и SNe II

Как указывалось выше, нами составлена выборка из 234 сверхновых типов Ib, Ic и Ib/c, открытых в близких галактиках, имеющих определения морфологических типов. Напомним, что сверхновые SNe Ib и SNe Ic различаются по спектрам в течение первых двух месяцев благодаря присутствию (Ib) или отсутствию (Ic) линии He I с λ 5700Å [4, 10, 12]. Чтобы проверить различаются ли по типам их родительские галактики, мы составили выборки звезд, которые на момент открытия уверенно классифицированы как SNe Ib (63) и SNe Ic (107) (табл. 1). Морфологические типы родительских галактик этих сверхновых брались нами из каталогов PGC [31] и RC3 [30].

Таблица 1. Распределение морфологических типов родительских галактик SNe Ib и SNe Ic

	E S0	Sa Sab	Sb Sbc	Sc Scd	Sd- Sm	Irr P	S...	Σ
n_1	6	4	18	19	3	3	10	63
p_1	0.095	0.063	0.286	0.302	0.048	0.048	0.159	
n_2	5	11	32	36	10	3	10	107
p_2	0.047	0.103	0.299	0.336	0.093	0.028	0.093	
$ p_1 - p_2 $	0.048	0.039	0.013	0.035	0.046	0.020	0.065	
u	1.20	0.92	0.18	0.46	1.12	0.07	1.26	

Полученные частоты распределений типов галактик приведены в табл. 1. В первой колонке указано обозначение характеристики распределения, в колонках 2–8 – частоты галактик по типам, в 9 – их сумма. Величины n_1 и n_2 характеризуют частоту встречаемости сверхновых типов Ib и Ic соответственно в галактиках разных морфологиче-

ских типов. Из табл. 1 видно, что наибольшее число сверхновых обоих типов было открыто в спиральных галактиках Sb, Sbc и Sc, Scd и значительно меньшее – в галактиках других типов. Частоты галактик Sa, Sb и Sc включают частоты промежуточных типов Sab, Sbc и Scd соответственно. В колонках 2 и 7 приведены суммарные частоты галактик ранних (E и S0), а также неправильных (Irr) и пекулярных (P) типов ввиду их малочисленности. В 8-й колонке указана частота галактик, классифицированных как спиральные S... без уточнения подтипа.

Как указывалось выше, анализ частот распределений n_1 и n_2 проводился путем сравнения выборочных относительных частот (равных отношению $n_i/\Sigma n_i = p_i$) p_1 и p_2 [34]. Они использовались для определения величин “u”, которые сравнивались с граничным значением $u_{01} = 2.58$, соответствующим уровню достоверности $P = 99\%$ и позволяющему оценить значимость разностей относительных частот ($p_1 - p_2$).

Как видно из этой таблицы разности относительных частот не значимы, поскольку вычисленные значения “u” получились значительно меньше граничного значения $u_{01} = 2.58$. Последнее означает, что сверхновые Ib и Ic одинаково часто наблюдаются в галактиках всех указанных типов.

Сравнение самих распределений морфологических типов галактик также не выявило их значимого различия. Вычисленная величина $\lambda^2 = 0.29$ существенно меньше величины $2.65 = \lambda^2_{01}$ граничного значения критерия Колмогорова-Смирнова [34], соответствующего уровню достоверности $P = 99\%$. Поэтому можно предположить, что выборки родительских галактик сверхновых SNe Ib и SNe Ic принадлежат одной генеральной совокупности, а сами галактики не различаются составом звездного населения.

Таким образом мы получили, что выборка морфологических типов родительских галактик SNe Ibc является однородной и может использоваться в качестве базовой при сравнении аналогичных выборок сверхновых типов II и Ia.

Далее мы провели сравнение частот распределений n_1 и n_2 типов родительских галактик сверхновых SNe Ibc и SNe II. Полученные частоты распределений последних приведены в табл. 2. Величины n_1 и n_2 характеризуют частоту встречаемости сверхновых типов Ibc и II соответственно в галактиках разных морфологических типов. Из этой таблицы видно, что наибольшее число сверхновых обоих типов было открыто в спиральных галактиках Sb, Sbc и Sc, Scd и значительно меньшее – в галактиках других типов. Вычисленные величины “u” получились меньше граничного значения, равного 2.58, для всех типов галактик кроме ранних (E и S0). Последнее означает, что сверхновые Ibc и II одинаково часто наблюдались в галактиках всех типов, кроме E и S0. Для них величина $u = 3.49$, получилась больше граничного значения, поэтому полученную разность ($p_1 - p_2$) (небольшую по величине) можно считать значимой (уровень достоверности $P = 99\%$). Последнее показывает, что SNe Ibc наблюдаются в E и S0 галактиках чаще, чем SNe II. Поскольку число сверхновых обоих типов, наблюдаемых в этих галактиках невелико (18 и 15 соответственно), справедливость сделанного заключения может быть проверена дальнейшими наблюдениями этих звезд.

Таблица 2. Распределение морфологических типов родительских галактик SNe Ibc и II.

	E S0	Sa Sab	Sb Sbc	Sc Scd	Sd- Sm	Irr P	S...	Σ
n_1	18	27	64	75	18	6	26	234
p_1	0.077	0.115	0.274	0.320	0.077	0.026	0.111	
n_2	15	63	214	228	61	28	81	690
P_2	0.022	0.091	0.310	0.330	0.088	0.040	0.117	
$ p_1 - p_2 $	0.055	0.024	0.037	0.010	0.011	0.015	0.006	
u	3.49	1.04	1.04	0.28	0.53	1.04	0.25	

Сравнение самих распределений морфологических типов галактик не выявило их значимого различия. Вычисленная величина $\lambda^2 = 1.14$ получилась значительно меньше граничного значения $\lambda^2_{01} = 2.65$ (уровень достоверности $P = 99\%$) критерия Колмогорова-Смирнова [34]. Поэтому можно предположить, что полученные распределения типов родительских галактик SNe Ibc и SNe II не различаются между собой, а сами выборки галактик принадлежат одной генеральной совокупности. Это еще раз показывает, что данные сверхновые наблюдаются в галактиках одних и тех же типов, а их предсверхновые являются звездами одного типа населения.

Аналогичный результат был получен в работе С. ван ден Берга и др. [35] при анализе однородных выборок родительских галактик сверхновых тех же типов SNe Ibc и SNe II, открытых в Ликской обсерватории по программам LOSS и LOTOSS с помощью автоматического телескопа КАИТ [36, 37]. Морфологические типы галактик в системе DDO [38–40] определялись ими как по снимкам с этого телескопа, так и по негативам, полученным в Паломарской обсерватории в ходе проведения обзоров POSS I и POSS II. Авторы [35] не получили никакого значимого различия в распределениях по хаббловским типам родительских галактик SNe Ibc и SNe II. По их мнению это подтверждает, что сверхновые этих типов имеют одинаково массивные предсверхновые.

Как указывалось в [25], четыре сверхновые SNe Ib (SN 2000ds [41], 2005ar [42], 2005cz [43], 2007ke [44]) и одна SN II (SN 2005md [45]) были открыты в эллиптических галактиках. Тип всех этих сверхновых определен достаточно уверенно. Родительские галактики SN 2000ds (NGC 2768) и 2005cz (NGC 4589) имеют показатели цвета $(B - V)_T$, равные 0.97 и 0.87 соответственно [30]. Последнее означает, что в этих галактиках доминируют звезды населения типа II, которые не могут быть предсверхновыми SNe Ib. SN 2007ke была открыта в NGC 1129, взаимодействующей с NGC 1130, (пара E + E галактик), а SN 2005md (тип II) – в галактике NGC 2274, взаимодействующей с NGC 2275 (пара E + S0 галактик) [28]. Согласно авторам [35], объяснить этот факт можно или ошибками в определении типов этих галактик, или наличием в этих старых объектах небольшой доли молодых звезд.

Отметим некоторое различие в определениях морфологического типа галактики NGC 2768.

В каталогах RC3 [30] и [31] NGC 2768 классифицирована как эллиптическая галактика E6: и как линзовидная S0 – в Карнеги Атласе галактик Сэндиджа и Бедке [46], а также в работе Хакобяна и др. [47]. Напомним, что ее тип в [46] и каталоге Вокулеров и Корвина RC2 [48] определялся по снимкам, полученным с 60" телескопа обсерватории Маунт Вилсон (масштаб изображения 27 "/мм). При описании снимка этой галактики авторы Атласа отмечали, что наличие внешней оболочки, окружающей ее балдж (тип E 6), позволило уверенно классифицировать NGC 2768 как галактику типа S0. Она имеет активное галактическое ядро низкой светимости, излучающее эмиссионные линии с низким потенциалом возбуждения класса LINER, в котором происходят процессы звездообразования [37]. Ее показатели цвета, исправленные за поглощение в Галактике, диске самой галактики и красное смещение, равны $(B-V)_T^0 = 0.92$, $(U-B)_T^0 = 0.43$ [30].

Различие в определениях морфологического типа отмечено также у UGC 2836, галактики с ультрафиолетовым континуумом Mrk 1405, в которой, как указывалось выше, были открыты SN 2001I (тип II_n) [18] и SN 2003ih (тип Ib/c) [19]. Она классифицирована как E/S0 и L в каталогах Нилсона [47] и RC3 и как E2 в работе ван ден Берга и др. [36]. Хотя в примечании к табл. 2 в [37] авторы отмечают наличие некоторой субструктуры в оболочке этой галактики и считают, что тип Sa является более предпочтительным по сравнению с E 2. Однако в [35] они вновь классифицировали ее как эллиптическую E:1. Позднее в работах Петросяна и др. [50], Хакобяна и др. [47] тип этой галактики определен как Sa.

3.2. Распределение морфологических типов родительских галактик SNe Ibc и нормальных SNe Ia

Далее мы провели сравнение частот распределений морфологических типов родительских галактик сверхновых типов Ibc и Ia. Напомним, что выборка SNe Ia составлена нами по данным каталога ГАИШ [32] и Циркуляров МАС. Она включает 527 звезд, открытых в ярких, близких ($V_r < 18000\text{km/s}$) родительских галактиках. Морфологические типы последних получены нами в основном из каталогов RC3 [30], Патюреля и др. [31] и ГАИШ [32].

Известно, что сверхновые типа Ia не являются однородным классом объектов, поскольку различаются видом оптических спектров и формой кривых блеска. Они делятся на нормальные SNe Ia и спектроскопически пекулярные SNe Ia типа SN 1991bg и SNe Ia типа SN 1991T. В спектрах последних имеются яркие и сильные детали, отличающие их от спектров нормальных SNe Ia.

В спектрах нормальных сверхновых типа Ia в эпоху максимума блеска присутствуют сильные абсорбционные детали около $\lambda 6150\text{\AA}$ (Si II) и $\lambda 3750\text{\AA}$ (Ca II), а также линии Co II, S II, O I, и Mg II [51]. Их спектры похожи на спектры SNe 1981B, 1989B, 1992A и 1972E [52]. и наблюдаются в галактиках всех типов. Они считаются однородными по форме кривых блеска и служат “стандартными свечами” при определении расстояний во Вселенной.

Выборка близких и ярких нормальных SNe Ia, составленная нами по данным Бранча и других [52], Блондина и Тонри [53] и Циркулярам МАС, приведена в табл. 3 В колонках 1, 2 указаны имена сверхновых и их родительских галактик. Нами приняты обычные сокращения в обозначениях их имен: NGC (N), ESO (E), MCG (M), IC (I), UGC (U), PGC (P). Морфологические типы последних приведены в колонке 3. В последней колонке указаны соответствующие ссылки [52 – 56]. Из-за большого количества ссылок на экспрессные издания IAU они не помещены в списке литературы. Буква “Т” обозначает электронные телеграммы IAU СВЕТ, а рядом с буквой указан номер издания.

Таблица 3. Нормальные сверхновые типа Ia.

SN	Galaxy	M.type	reference	SN	Galaxy	M.type	reference
1937C	I 4182	SAS9	50	1998aq	N 3982	S3	51
1937D	N 1003	SAS5	50	1998bu	N 3368	S2	51
1939A	N 4636	E	50	1998dh	N 7541	S4	51
1954B	N 5668	Sd	50	1998dk	U 139	S5	51
1959C	M1-34-5	SBc	50	1998dm	M-1-4-44	S5	51
1960F	N 4496a	SBT7	50	1998ec	U 3576	S3	51
1961H	N 4564	E	50	1998eg	U 12133	S5	51
1961P	U 2096	SBS6	50	1999cc	N 6038	S5	51
1962J	N 6835	SBa	50	1999cl	N 4501	S3	51
1963I	N 4178	SB	50	1999ee	I 5179	S4	51
1963J	N 3913	Sd	50	1999ej	N 495	S0/Sa	51
1965I	N 4753	L	50	1999gd	N 2623	S1	51
1967C	N 3389	SAS5	50	2000B	N 2320	E	51
1970J	N 7619	E	50	2000E	N 6951	S4	51
1971L	N 6384	SBR4	50	2000cf	M11-19-25	S3	51
1972E	N 5253	Sd	50	2000cx	N 524	L	51
1974G	N 4414	Sc	50	2000fa	U 3770	Irr	51
1975A	N 2207	SBT4P	50	2001V	N 3987	S3	51
1976D	N 5427	Sc	50	2002bo	N 3190	SAS1	51
1978E	M6-49-36	S5	50	2002er	U 10743	S1	51
1979B	N 3913	Sd	50	2003du	P52091	S8	51
1981B	P 41823	SBT4	50, 51	2004S	M-05-16-21	S5	52

1981F	N 4716	L	50	2004eo	N 6928	Sbab	53
1981G	N 4874	E	50	2005cf	P 54817	S0p	54
1983G	N 4753	L	50	2008O	E 256-11	L	T 1227
1983R	I 1731	SBS5	50	2008R	N 1200	LAS	T 1232
1983U	N 3227	SBS1	50	2008af	U 9640	E	T 1253
1984A	N 4419	SBS1	50	2008ar	I 3284	Sab	T 1273
1987D	U 7370	SB.4	50	2008bq	E 308-G25	Sa	T 1329
1987N	N 7606	SAS3	50	2008cc	P 35204	S5	T 1357
1988B	N 3191	SBS4	50	2008cm	N 2369	SBS1	T 1393
1989A	N 3687	SBR4	50	2008cq	A 1421-29	Irr	T 1398
1989B	N 3627	SBS3	50, 51	2008db	N 50	L	T 1411
1989D	N 2963	SB.2	50	2008dt	N 6261	S0	T 1424
1989M	N 4579	S..4	50	2008ec	N 7469	PSXT1	T 1438
1990N	N 4639	SBT4	50, 51	2008eg	U 1324	SB.3	T 1444
1990O	M+3-44-3	S1	50, 51	2008eo	P 2504	S...	T 1465
1990af	P340526	LB	50	2008ep	P 4654	S3	T 1465
1991M	I 1151	S5	51	2008er	P 7909	E	T 1465
1992A	N 1380	S0	50, 51	2008ff	U 2866	S0/Sa	T 1508
1994D	N 4526	L	51	2008fl	P 63413	E1	T 1508
1994M	N 4493	E	51	2008fv	P 30019	SAT4	T 1522
1994S	N 4495	S2	51	2008fw	P 30868	SBT3	T 1521
1994T	CGCG 16-58	S1	51	2008hj	M-2-1-14	S1?	T 1583
1994ae	N 3370	S5	51	2008hq	P 21589	S8	T 1606
1995D	N 2962	S0	51	2008hs	P 4965	SAS5	T 1599
1995E	N 2441	S3	51	2008hu	E 561-G18	S...	T 1606
1995ac	P999654	S...	51	2008hv	N 2765	L	T 1615
1995al	N 3021	S4	51	2008hy	P 13759	S...	T 1610
1995bd	U 3151	S5	51	2008ia	E 125-G6	S0	T 1615
1996C	M+8-25-47	SB..	51	2008ig	E 269-G20	S...	T 1612
1996X	N 5061	E	51	2008io	P 43424	LAR	T 1640
1997do	U 3845	S4	51				
1997dt	N 7448	S4	51				
1998V	N 6627	S3	51				

Выборка содержит 107 звезд, частоты распределения которых по типам галактик (n_2) приведены в табл. 4. Из нее видно, что из 107 наблюдаемых нормальных SNe Ia 28 звезд (около 26 %) наблюдались в E или S0 галактиках.

Таблица 4. Распределение морфологических типов родительских галактик SNe Ibc и нормальных SNe Ia.

	E S0	Sa Sab	Sb Sbc	Sc Scd	Sd- Sm	Irr P	S...	Σ
n_1	18	27	64	75	18	6	26	234
p_1	0.077	0.115	0.274	0.320	0.077	0.026	0.111	
n_2	28	17	27	18	8	2	7	107
p_2	0.262	0.159	0.252	0.168	0.075	0.019	0.065	
$ p_1-p_2 $	0.185	0.043	0.021	0.152	0.002	0.007	0.046	
u	4.40	1.10	0.43	3.08	0.06	0.40	1.40	

Сравнение относительных частот распределений Хаббловских типов родительских галактик сверхновых SNe Ibc (p_1) и нормальных SNe Ia (p_2) показало их значимое различие (уровень $P = 99\%$) для E и S0 галактик. Их разность, равная 0.185, соответствует значению критерия $u = 4.40$, которое больше его граничного значения $2.58 = u_{01}$. Отсюда следует, что нормальные сверхновые SNe Ia наблюдаются чаще в E и S0 галак-

тиках нежели SNe Ibc. Ранее к аналогичному выводу пришли ван ден Берг и др. [35]. По их мнению нормальные SNe Ia наиболее часто вспыхивают в галактиках ранних типов E, S0, тогда как SNe Ibc наблюдаются в них достаточно редко.

Однако нормальные SNe Ia реже, чем SNe Ibc, вспыхивают в спиральных Sc – Scd. Вычисленная величина разности $p_1 - p_2 = 0.152$ соответствует значению $u = 3.08$, что больше граничного значения 2.58 (уровень $P = 99\%$). Известно, что галактики этих типов имеют маленькую ядерную область и хорошо развитую спиральную структуру. Она образована молодыми массивными звездами и значительным количеством пыли и газа, что создает благоприятные условия для вспышек SNe Ibc.

По данным нашей выборки нормальные SNe Ia и SNe Ibc одинаково часто наблюдаются в спиральных промежуточных типов (Sa – Sbc), S... и поздних типов (Sd – Sm), а также в неправильных галактиках (Irr). Полученные разности их относительных частот не являются значимыми, поскольку значения “ u ” значительно меньше граничного значения $2.58 = u_{01}$.

Различие самих распределений морфологических типов родительских галактик нормальных сверхновых SNe Ia и SNe Ibc установлено по критерию Пирсона. Вычисленная величина $\chi^2 = 27.7$ получилась больше граничного значения $15.1 = \chi^2_{01}(5)$ при числе степеней свободы $f = 5$ и уровне достоверности $P = 99\%$. Она показывает, что сравниваемые выборки галактик можно считать принадлежащими разным генеральным совокупностям, различающимися составом звездного населения. Аналогичный результат был получен ранее ван ден Бергом и др. [35] при анализе выборок нормальных SNe Ia и SNe Ibc.

Полученное различие распределений возможно объяснить тем, что наибольшее число SNe Ibc было открыто в спиральных галактиках Sb – Sm (67%), а число этих звезд, наблюдаемых в галактиках ранних типов, невелико (около 8%). Хотя нормальные SNe Ia наблюдаются в галактиках всех типов, однако наибольшее их число (57%) было открыто в галактиках тех же Sb – Sm типов и около 22% – в E и S0 галактиках. Последнее позволяет предположить, что их предсверхновыми могут быть звезды разных типов населений. Это заключение согласуется с заключением Делла Валле и Ливио [57], которые показали, что из 24 SNe Ia, открытых в спиральных, 50% звезд связаны с их спиральной структурой. Поэтому авторы предположили, что предсверхновые SNe Ia в спиральных могут быть звездами другого типа населения, чем предсверхновые в эллиптических галактиках.

3.3. Распределение морфологических типов родительских галактик SNe Ibc и SNe Ia типа SN 1991bg (subluminous)

Пекулярные SNe Ia по своим спектральным и фотометрическим характеристикам делятся на два типа. Прототипами одного из них являются SN 1991bg и SN 1986G. В спектрах пекулярных сверхновых SNe Ia типа 1991bg в эпоху максимума блеска наблюдаются широкая абсорбционная бленда Ti II с λ от 4100Å до 4400Å и абсорбционная деталь Si II около 5800Å. Фотометрические наблюдения этих звезд показали, что возрастание их блеска до максимума и последующее его падение проходят с большей скоростью, чем у нормальных SNe Ia. В эпоху максимума эти сверхновые являются менее яркими \approx на 2^m в V диапазоне (subluminous), чем нормальные SNe Ia [51, 58].

Выборка пекулярных сверхновых типа SN 1991bg, открытых в близких ($V_r < 18000$ km/s), ярких, с известными типами родительских галактик, составленная нами по данным Ховела [58], Блондина и Тонри [53], Бранча и др. [52], ван ден Берга и др. [35, 37], Таубенбергера и др. [59] и Циркулярам МАС, приведена в таблице 5. Она содержит 62 звезды, частоты распределения которых по типам (n_2) приведены в табл. 6. Из таблицы видно, что наибольшее число 41 из 62 (66%) сверхновых наблюдались в E и S0

галактиках. Вычисленный критерий χ , соответствующий полученной разности $(p_1 - p_2)$ относительных частот убедительно показывает, что сверхновые этого типа наблюдаются преимущественно в галактиках ранних типов. Они значительно реже, чем SNe Ibc наблюдались в спиральных галактиках Sb, Sbc (уровень достоверности $P = 95\%$) и Sc, Scd (уровень $P = 99\%$). В анализируемой выборке они не наблюдались в поздних (Sd – Sm) и S... (без уточнения типа) спиралах.

Вероятность того, что по крайней мере 41 звезда из 62 случайного выбранных SNe Ia наблюдалась в галактиках ранних типов, оценивалась по формуле Бернулли, приведенной в

$$P(r) = \sum_{i=r}^N \frac{N!}{r_i!(N-r_i)!} \pi^{r_i} (1-\pi)^{N-r_i},$$

[58], где N – объем выборки SNe Ia типа 1991bg (62), r – частота (41) E и S0 галактик, π – вероятность того, что случайно выбранная родительская галактика сверхновой будет E или S0 типа. Она определялась по данным каталога ГАИШ [32]. Из 527 близких, ярких, с известными типами родительских галактик SNe Ia, 138 (то есть 26%) являются E и S0 галактиками. Вероятность того, что типы родительских галактик 41 сверхновой случайным образом оказались ранними типами, $P(r)$ получилась практически равной нулю. Последнее свидетельствует о тесной связи пекулярных SNe Ia типа SN 1991bg с галактиками ранних типов E и S0, а также о том, что их предсверхновые вероятно являются старыми звездами.

Таблица 5. Спектрально пекулярные SNe Ia типа SN 1991bg.

SN	Galaxy	M. type	reference	SN	Galaxy	M. type	reference
1957a	N 2841	Sb	56	2002ey	A 2310+07	E/S0	35
1960h	N 4096	Sc	56	2002fb	N 759	E	35
1971i	N 5055	SAT4	56	2002ge	N 7400	S4	35
1980i	N 4387	E	56	2002he	U 4322	E	35
1986g	N 5128	L	50, 51, 56	2002jm	I 603	S1	35
1991f	N 3458	S0	56	2003d	M-1-25-9	E	35
1991bg	N 4374	E	51, 56	2003y	P 25009	L	35
1992k	E 269-57	S2	56	2003au	P 57411	L	35
1993r	N 7742	Sb	56	2003ek	P 915	S5	33
1996bk	N 5308	L	56	2003gj	N 7017	L	33
1997cn	N 5490	E	51, 56	2003gs	P 9359	SBa	33
1998bp	N 6495	E	51, 56	2003hh	P 6728	E	33
1998de	N 252	S0	51, 56	2003hs	U 11149	E/Sa	33
1999bh	N 3435	S3	56	2003iz	U 638	E	33
1999by	N 2841	SAR3	51, 56	2004h	P 35720	E	33
1999da	N 6411	E	56	2004w	P 42831	E	33
1999dg	U 9758	L	56	2004gs	P 24286	E	33
1999gh	N 2986	E	56	2005bl	N 4070	E	57
2000cn	U 11064	S6	56	2005mz	P 12429	P...	46
2000dk	N 382	E	56	2007ao	N 5532	L	T 892
2000ej	I 1371	L	33, 56	2008bd	M-2-26-42	L	T 1304
2001de	U 12009	S4	35	2008bi	N 2618	S2	T 1317
2001ib	P 68434	E	35	2008bt	N 3404	L	T 1337
2002cf	N 4786	E	35	2008cv	E 598-G22	S0	T 1401
2002cu	N 6575	E	35	2008dx	A 1300+27	E/S0	T 1427
2002di	M+5-40-2	S1	35	2008ek	I 1181	SXT0	T 1454
2002dk	P 6616	S2	35	2008fa	N 6722	S3	T 1508
2002dl	U 11994	S4	35	2008fh	A 0320+41	S1	T 1492
2002do	M+7-41-1	E	35	2008fj	U 10759	E/S0	T 1495
2002es	P 12702	L	35	2008gh	U 3957	E	T 1585
2002eu	P 212843	S0/Sa	35	2008hi	M-1-2-15	S3	T 1580

Действительно, для них (галактик E и S0) вычисленное среднее значение исправленного за покраснение показателя цвета $\langle (B - V)_T^0 \rangle$ получилось равным $0.^m92 \pm 0.^m01$.

Различие самих распределений морфологических типов сверхновых SNe Ia типа SN 1991bg и SNe I bc установлено по критерию Пирсона. Вычисленная величина $\chi^2=108.2$ получилась больше граничного значения $9.21 = \chi^2_{01}(2)$ при числе степеней свободы $f = 2$ и уровне достоверности $P = 99\%$. Она показывает, что выборки морфологических типов сравниваемых сверхновых можно считать принадлежащими разным генеральным совокупностям и что их родительские галактики различаются составом звездного населения.

Таблица 6. Распределение морфологических типов родительских галактик SNe Ibc и спектрально пекулярных SNe Ia типа SN 1991bg.

	E S0	Sa Sab	Sb Sbc	Sc Scd	Sd- Sm	Irr P	S...	Σ
n_1	18	27	64	75	18	6	26	234
p_1	0.077	0.115	0.274	0.320	0.077	0.026	0.111	
n_2	41	7	10	3	0	1	0	62
p_2	0.661	0.113	0.161	0.048	0.000	0.016	0.000	
$ p_1 - p_2 $	0.584	0.002	0.112	0.227	0.077	0.010	0.111	
u	9.21	0.09	1.97	5.29	3.93	0.49	4.75	

3.3. Распределение морфологических типов родительских галактик SNe Ibc и пекулярных SNe Ia типа SN 1991T (overluminous)

К пекулярным сверхновым SNe Ia другого типа (SN 1991T) относятся звезды, спектры которых подобны спектрам SN 1991T или SN 1999aa [60]. В эпоху максимума в их спектрах присутствуют яркие линии Fe III с $\lambda\lambda$ около 4300 и 5000Å, а также слабые линии Si II. После максимума в спектрах этих звезд усиливаются линии Si II, S II и Ca II, и \approx через 2 недели они становятся похожими на спектры нормальных SNe Ia [61]. В эпоху максимума блеска эти сверхновые являются более яркими (overluminous) в V диапазоне \approx на 0.4^m по сравнению с нормальными SNe Ia. Их кривые блеска показывают более медленное возрастание блеска и последующее его падение после максимума, чем у нормальных SNe Ia. [51,58].

Выборка близких, ярких, с известными морфологическими типами родительских галактик пекулярных SNe Ia типа 1991T, составленная нами по данным Ли и др [51], Ховела [58], ван ден Берга и др. [35, 37], Блондина и Тонри [53] и Циркулярам МАС, приведена в таблице 7. Она содержит 31 звезду, частоты распределения которых по Хаббловским типам (n_2) приведены в табл. 8.

Как видно из этой таблицы значительную долю рассматриваемой выборки составляют спиральные галактики (24 из 31 то есть 77%), тогда как E и S0 – около 10%. Для них вероятность случайного совпадения составляет 1.7%, тогда как для спиралей Sb – Sm она значительно меньше, около 0.2%. Последнее показывает тесную связь сверхновых этого типа со спиральными галактиками Sb – Sm типов. Действительно, для них вычисленное среднее значение исправленного за покраснение показателя цвета $\langle (B - V)_T^0 \rangle$ получилось равным $0.^m66 \pm 0.^m04$.

Сравнение относительных частот распределений сверхновых SNe Ibc и SNe Ia типа 1991T не выявило их значимого различия ни для одного из морфологических типов. Оно показало, что сверхновые этих типов одинаково часто наблюдаются в родитель-

ских галактиках указанных в таблице типов, а их предсверхновые, вероятно, являются звездами одних и тех же типов звездного населения.

Таблица 7. Спектрально пекулярные SNe Ia типа SN 1991T.

SN	Galaxy	M.type	reference	SN	Galaxy	M.type	reference
1988g	P 1971096	S5	56	1999ac	N 6063	S5	56, 51
1991t	N 4527	S4	56, 50, 51	1999cw	P 1288	S2	56
1991ag	I 4919	S7	56	1999dq	N 976	S5	56, 51
1992p	I 3690	S4	56	1999gp	U 1993	S3	56, 51
1992bc	E 300-G09	S4	56	2000cx	N 524	S0	56
1994ae	N 3370	S5	56	2001v	N 3987	S3	35
1995ac	P 999654	S...	56	2001ah	U 6211	SB.4	56, 33
1995al	N 3021	S4	56	2003aa	N 3367	Sbc	35
1995bd	U 3151	S5	56	2003fa	M7-36-33	S3	33
1996bv	U 3432	S5	56	2003gq	P 69922	S4	33
1997br	E576-40	SB6P	56, 51	2004br	P 41409	E	33
1997cw	N 105	S2	56	2004bv	P 64650	S4	33
1998ab	N 4704	S5	56, 51	2005hk	U 272	SXS7	T 269
1998ci	P 157946	S5	56	2008ae	P 28662	S...	T 1250
1998es	N 632	S0	56, 51	2008ds	P 1828	S5	T 1419
1999aa	N 2595	S5	56, 51, 35				

Таблица 8. Распределение морфологических типов родительских галактик SNe Ibc и SNe Ia типа 1991T

	E	Sa	Sb	Sc	Sd-	Irr	S...	Σ
	S0	Sab	Sbc	Scd	Sm	P		
n ₁	18	27	64	75	18	6	26	234
p ₁	0.077	0.115	0.274	0.320	0.077	0.026	0.111	
n ₂	3	2	10	12	2	0	2	31
p ₂	0.097	0.064	0.322	0.387	0.064	0.000	0.064	
p ₁ - p ₂	0.020	0.051	0.049	0.067	0.012	0.026	0.047	
u	0.39	0.93	0.55	0.72	0.25	1.69	1.29	

Мы также не получили значимого различия самих распределений типов родительских галактик этих сверхновых. Вычисленная величина $\chi^2 = 0.39$ получилась значительно меньше граничного значения $9.21 = \chi^2_{01}(2)$ при числе степеней свободы $f = 2$ и уровне достоверности $P = 99\%$. Она показывает, что выборки морфологических типов сравниваемых сверхновых можно считать принадлежащими одной генеральной совокупности. Последнее означает, что состав звездного населения родительских галактик сверхновых сравниваемых типов возможно аналогичен, а предсверхновые ярких SNe Ia могут быть звездами более молодого типа населения, такого же как у SNe Ibc [58, 61].

4. Заключение

Опубликованный ранее список сверхновых типов Ib, Ib/c, Ic (SNe Ibc) [25], дополнен звездами, открытыми к концу 2008 года. Он содержит 315 звезд, 234 из которых наблюдались в близких ($V_r < 18000$ km/s) галактиках с известными морфологическими типами. Последнее позволило провести некоторые статистические исследования и сравнить морфологию родительских галактик сверхновых типов Ibc, II и Ia (нормальными и спектрально пекулярными) для выявления их сходства и различия.

Из списков сверхновых типов II и Ia также были выбраны звезды, открытые в близких галактиках с известными морфологическими типами. Эти выборки содержат

690 и 527 объектов соответственно. Поскольку выборка SNe Ia не является однородной, из нее были выделены три подвыборки нормальных и двух спектрально пекулярных типов звезд.

Сравнение относительных частот распределений морфологических типов родительских галактик сверхновых типов Ibc и II показало, что они одинаково часто наблюдаются в галактиках всех типов, кроме ранних (E и S0). В них сверхновые типа Ibc наблюдаются чаще, чем типа II. Однако пока количество SNe, открытых в таких галактиках, невелико и, возможно, последующие наблюдения позволят уточнить этот результат.

Применение метода Колмогорова-Смирнова не выявило статистически значимого различия в распределениях морфологических типов родительских галактик сверхновых типов Ibc и II.

Интересно, что несколько сверхновых обоих типов были открыты в эллиптических галактиках. Является ли это обстоятельство редким или это обычное явление покажут дальнейшие наблюдения. Интерес представляет также тот факт, что значительное число SNe Ibc было открыто во взаимодействующих и других пекулярных галактиках.

Сравнение относительных частот распределений типов родительских галактик SNe Ibc и SNe Ia (нормальных и пекулярных типа SN 1991bg) показало, что последние наиболее часто наблюдались в галактиках ранних типов (E и S0), но значительно реже в спиральных (Sc-Scd).

Различие же самих распределений типов родительских галактик установлено по критерию Пирсона χ^2 . Оно показало, что сравниваемые выборки галактик можно считать относящимися к разным генеральным совокупностям, различающимися составом звездного населения.

Из 62 сверхновых SNe Ia типа SN 1991bg 41 звезда (66%) была открыта в галактиках E, S0 и 17 – в спиральных ранних типов (Sa – Sbc). Поэтому можно предположить, что их предсверхновыми являются старые звезды. Эти сверхновые значительно чаще, чем SNe Ibc наблюдаются в галактиках E и S0 и значительно реже – в спиральных Sb – Scd.

Из 31 сверхновой SNe Ia типа SN 1991T 24 звезды наблюдались в спиральных галактиках типов Sb-Sm, указывая, что их предсверхновыми являются молодыми звездами. Сверхновые этого типа и SNe Ibc одинаково часто наблюдаются в родительских галактиках всех хаббловских типов, а их предсверхновые вероятно являются звездами одного и того же типа населения.

Представленные в работе результаты, не противоречащие опубликованным ранее, получены из анализа более представительных выборок. Они будут уточняться по мере накопления новых данных.

Считаю приятным долгом поблагодарить Ананьевскую Ю.К., Ефимову Н.В., Новикова В.В., Гаген-Торн Е.В. за помощь при выполнении работы.

Литература

1. *Elias J.H., Matthews K., Neugebauer G. et al. // Astrophys. J. 1985. Vol.296, P.379.*
2. *Probhu T.P. // Bull. Astron. Soc. India. 1985. Vol. 13, P.68.*
3. *Wheeler J.C., Levrealt R. // Astrophys.J.1985. Vol. 294, L.17.*
4. *Wheeler J.C., Harkness R.P., Barker E.S. // Astrophys.J.1987. Vol.313, L.69.*
5. *Bertola F. // Ann. Astrophys. 1964. Vol. 27. P.319.*
6. *Bertola F., Mammanj A., Perinomotto M. // Conrib. Asiago Obs. 1965. Vol. 174, P.51.*
7. *Porter A.C., Filippenko A.V. // Astron. J. 1987. Vol. 93, P.1372.*
8. *Panagia N., Laidler V.G. // in Lecture Notes in Physics. 1988. Ed. Kundt W. Vol. 316, P.187.*
9. *Filippenko A.V., Porter A.C., Sargent W.W. // Astron. J. 1990. Vol. 100, P.1575.*

10. *Harkness R.P., Wheeler J.C., Margon B. et al.* // *Astrophys. J.*, 1987. Vol. 317, P.355.
11. *Filippenko A.V.* // *Astrophys. J.* 1992. Vol. 384, L 37.
12. *Matheson T., Filippenko A.V., Li W. et al.* // *Astron. J.* 2001. Vol. 121, P. 1648.
13. *Harkness R.P., Wheeler J.C.* // in *Supernovae*. Ed. Petschek A.G Springer Verlag New York. 1990.P.1.
14. *Bartunov O.S., Tsvetkov D.Yu., Filimonova I.V.* // *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 1994, Vol.106, P. 1276.
15. *Van Dyk S. D., Hamuy M., Filippenko A.V.* // *Astron. J.*, 1996. Vol. 111, P.2017.
16. *Filippenko A.V., Leonard D.C., Riess A.G.* // *IAU Circular*. 1998. No 6850.
17. *Cappellaro E., Turatto M.* // *IAU Circular*. 2000. No 7352.
18. *Filippenko A.V., Chornock R.* // *IAU Circular*. 1998. No 6850.
19. *Filippenko A.V., Chornock R.* // *IAU Circular*. 1998. No 8246.
20. *Filippenko A.V.* // *Astron. J.*, 1988. Vol. 96, P.1941.
21. *Filippenko A.V., Matheson T., Ho L.C.* // *Astrophys. J.*, 1993. Vol. 415, P.L103.
22. *Qiu Y., Li W., Qiao Q.* // *Astron. J.*, 1999. Vol. 117, P 736.
23. *Woosley et al.* // *Astrophys. J.* 1987. Vol. 318, P.664.
24. *Filippenko A.V.* // *ARA&A.*, . 1997. Vol. 35, P.309.
25. *Полякова Г.Д.* // *Астрофизический бюллетень.*, 2009. Vol. 64, С.143.
26. *Cappellaro E.* // *IAU Circular*. 2002. No 7808.
27. *Benetti S., Altavilla G., Pastorello A et al.* // *IAU Circular*. 2002. No 8019.
28. <http://cdsarc.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?VII/236>
29. *Смирнов М.А., Цветков Д.Ю.* // *ПАЖ*. 1981. Том 7, С.154.
30. *de Vaucouleurs G., de Vaucouleurs A., Corwin H.G. et al.* // *Third Reference Catalogue of Bright Galaxies*. Berlin: Springer. 1991.
31. <http://cdsarc.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?VII/237>
32. *Цветков Д.Ю., Павлюк Н.Н., Бартунов О.С.* // *ПАЖ*. 2004. Том 30, С. 803.
33. <http://web.pd.astro.it/supern>
34. *Урбах В.Ю.* *Математическая статистика для биологов и медиков*. М.: Издательство АН СССР. 1963. С.215, 261, 281.
35. *Van den Bergh S., Li W., Filippenko A.V.* // *PASP*. 2005. Vol. 117, P.733.
36. *van den Bergh S., Li W., Filippenko A.V.* // *PASP*. 2003. Vol. 114, P.820.
37. *van den Bergh S., Li W., Filippenko A.V.* // *PASP*. 2003. Vol. 115, P.1280.
38. *van den Bergh S.* // *Astrophys. J.* 1960. Vol. 131, P. 215.
39. *van den Bergh S.* // *Astrophys. J.* 1960. Vol. 131, P. 558.
40. *van den Bergh S.* // *Publ. David Dunlap obs.* 1960. Vol. 2, P.159.
41. *Modjaz M., Kirshner R., Matheson T.* // *IAU Circular*. 2005. No 8493.
43. *Leonard D.C.* // *IAU Circular*. 2005. No 8579.
44. *Siverman J.M., Filippenko A.V., Foley R.J.* // *IAU CBET*. 2007. No 1101.
45. *Modjaz M., Kirshner R., Challis P.* // *IAU Circular*. 2005. No 8650.
46. *Sandage A., Bedke J.* // *The Carnegie atlas of Galaxies*. 1994. Washington: Carnegie Inst. of Washington publ.
47. *Hakobyan A.A., Petrosian A.R., McLean B. et al.* // *A&A*. 2008. Vol. 488, P.523.
48. *de Vaucouleurs G., de Vaucouleurs A., Corwin H.G.* // *Second Reference Catalogue of bright Galaxies*. 1976. Univ. of Texas Press, Austin and London.
49. *Nilson P.* 1973, *Uppsala General Catalogue of Galaxies*, Uppsala: Roy. Soc. Sci. Uppsala (UGG).
50. *Petrosian A., Navasardyan H., Cappellaro E. et al.* // *Astron. J.* 2005. Vol. 129. P.1369.
51. *Li W., Filippenko A.V., Treffers R.R.* // *Astrophys.J.* 2001. Vol. 546, P. 734.
52. *Branch D., Fisher A., Nugent P.* // *Astron. J.* 1993. Vol. 106. P. 2383.
53. *Blondin S., Tonry J.L.* // *Astrophys. J.* 2007. Vol. 666, P. 1024.
54. *Misra K., Kamble A.P., Bhattacharya D. et al.* // *MNRAS*. 2005. Vol.360, P.662.
55. *Pastorello A., Mazzali P.A., Pignato G. et al.* // *MNRAS*. 2007. Vol. 377, P.1531.
56. *Pastorello A., Taubenberger S., Elias-Rosa N. et al.* // *MNRAS*. 2007. Vol. 376, P.1301.
57. *Della Valle M., Livio M.* // *Astrophys. J.* 1994. Vol. 423, P. L31.
58. *Howell D.A.* // *Astrophys. J.* 2001. Vol. 554, P.L193.
59. *Taubenberger S., Hachinger S., Pigmata G.* // *MNRAS*. 2008. Vol. 385, P.75.

60. *Filippenko A.V. et al.* // *Astrophys. J.* 1992. Vol. 384, P. L15.
61. *Hamuy M. et al.* // *Astron. J.* 1996. Vol. 112, P.2391.

THE MORPHOLOGY OF THE HOST GALAXIES OF TYPE Ibc SUPERNOVAE

Polyakova G.D.

Summary

We have studied the distribution over morphological types of the near hosts ($V_r < 18000\text{km/s}$) of the Supernovae type Ibc and compared with analogous distributions of the Supernovae types II and Ia. The statistical analysis showed no significant difference (on the level $P = 1\%$ of statistical significance) between the distributions over morphological types of SNe Ibc, SNe II and over luminous SNe Ia. Therefore it is possible to conclude that SNe Ibc and SNe II occurred among similar stellar populations. On the contrary the distributions over morphological types of SNe Ibc and normal and sub luminous SNe Ia are different (on the level $P = 1\%$ of statistical significance). This confirms that these types of Supernovae have different progenitors.

О СЛУЧАЙНЫХ ОШИБКАХ АСТРООПТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ НЕСЛУЧАЙНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ

Прудникова Е.Я.

На материале 10 лет наблюдений на Пулковском зенит-телескопе ЗТФ-135 за 1997.0–2006.0 годы выполнена оценка возможных систематических изменений ошибки одного наблюдения широты. За рассматриваемый интервал времени у данного коллектива наблюдателей эта величина не возросла. Выделены изменения с годовым периодом, а также двухмесячным, месячным и полумесячным периодами. Годовые вариации для разных наблюдателей близки между собой. Наличие в спектре давления годовой, двухмесячной, месячной и полумесячной вариаций и их мощность позволяют предположить, что вариации давления могут участвовать в формировании ошибки наблюдения.

Введение

Одной из основных причин, по которым астрооптические определения широты были сочтены неудовлетворительными для современных нужд, является величина средней квадратической ошибки наблюдений, или ошибки одного значения широты. Она определяется по отклонениям мгновенных широт от средневечерового значения и рассматривается как случайная, несмотря на то, что наличие суточного члена в изменениях широты сомнения не вызывает [1]. Более того, отмечалось систематическое изменение ошибки в течение года [2]. Высказывалось предположение, что в течение последних лет она неуклонно растет из-за таких причин, как ухудшение атмосферных условий в пункте наблюдения, старения инструментов, замены опытных наблюдателей менее опытными. Такие причины могут оказывать влияние на наблюдения, но вносимые ими изменения в ошибку широты должны зависеть от времени и иметь вид тренда, что еще раз ставит под сомнение случайность ошибки наблюдения. С формальной точки зрения теперь, с прекращением астрооптических наблюдений вопрос о природе их ошибки имеет лишь историческое значение. Однако любой вид измерений, не зависимо от того, какими техническими средствами выполняется, имеет свою ошибку, и вопрос о том, в какой мере она является случайной или систематической всегда будет. Кроме того, поскольку исследуемый процесс непрерывен, может возникнуть (как возникало прежде) необходимость в новой переработке старых наблюдений, в особенности такого уникального ряда, как столетний ряд ЗТФ-135. В этом случае информация об их точности может оказаться полезной.

Данные и их обработка

Для исследования были взяты изменения ошибки наблюдений ϵ на зенит-телескопе ЗТФ-135, признанном лучшим из инструментов этого типа, в течение последних 10 лет работы, как наименее благополучных (меньшее, чем прежде, количество наблюдений в год, смена наблюдателей).

В избранный период работали следующие наблюдатели: Л.Д. Костина (1997–2001), Н.Р. Персиянинова (1997–2001), И.А. Зыков (1997–2002), Е.Я. Прудникова (1997–2006), Н.В. Фомина (2000–2005), Л.А. Калихевич (Глебова) (2001–2006), С.П. Пуляев (2002–2006).

Обсуждение

Данные, представленные в Таблице 2, проиллюстрированы на двух графиках. Видно (рис. 1.), что ϵ только для трех наблюдателей (ЛДК, НРП и ИАЗ) имеет слабый

тренд, который говорил бы об увеличении ошибок со временем. У ϵ других же наблюдателей имеется скорее противоположная тенденция – к уменьшению (особенно ярко выраженная у ССП, что можно расценивать, как увеличение опытности).

Рис. 2 показывает, что в среднем у данного коллектива наблюдателей ошибка одного наблюдения на протяжении десяти лет не увеличивалась.

Из графиков на рис. 3 видно, что ошибки всех наблюдателей близки между собой в двух точках, соответствующих 8-9 и 16-18 широтам. Как правило (хотя, строго говоря, не всегда) 8-9 широт означают полную группу, а 16-18 – полную связь, т.е. две группы. При составлении программы пары в группы подбираются таким образом, чтобы максимально скомпенсировать для полной группы влияние ошибок масштаба, т.е. цены оборота винта. Поэтому можно полагать, что $\epsilon = 0.212$ для этих двух точек не будет отягощена влиянием ошибки масштаба и будет представлять минимальное значение ошибки наблюдений лучше, чем в случае наблюдений неполных групп. Случайной эту ошибку называть неправомерно, будь она случайной, она уменьшалась бы с увеличением числа отнаблюденных в ночь пар. Возможно, она формируется из параметров, характеризующих систему «инструмент + программа» и должна иметь в себе систематическую часть.

Далее была выделена систематическая часть ошибки наблюдения. Для этого ошибки были расположены и просуммированы помесячно. Результат представлен на графиках рис. 4.

Таблица 1. Количество наблюдений (кол-во выходов, кол-во широт).

	ЛДК	НРП	ИАЗ	ЕЯП	НВФ	ЛАК	СПП	За год
1997	30 407	42 603	22 235	30 310	-	-	-	124 1555
1998	29 296	37 512	30 359	23 283	-	-	-	119 1450
1999	24 239	39 564	34 413	25 280	-	-	-	122 1496
2000	9 110	36 440	28 301	21 222	16 177	-	-	110 1250
2001	2 27	12 122	38 302	16 165	16 170	12 130	-	96 916
2002	-	-	21 132	9 99	21 206	15 162	34 288	100 887
2003	-	-	14 94	14 113	17 145	9 101	8 51	62 504
2004	-	-	-	15 139	24 233	10 112	16 104	65 588
2005	-	-	-	26 232	5 41	10 91	8 61	49 425
2006	-	-	-	17 134	-	15 126	8 49	40 309
Итого	94 1079	166 2241	187 1836	197 1977	99 972	71 722	74 553	887 9380

Таблица 2. Ошибки наблюдателей по годам.

	ЛДК	НРП	ИАЗ	ЕЯП	НВФ	ЛАК	СПП	Ср. год. знач.
1997	0.231"	0.209"	0.217"	0.232"	-	-	-	0.222"
1998	0.230	0.208	0.206	0.247	-	-	-	0.223
1999	0.222	0.216	0.196	0.238	-	-	-	0.218
2000	0.295	0.224	0.184	0.245	0.231	-	-	0.236
2001	0.284	0.232	0.220	0.240	0.246	0.247	-	0.245
2002	-	-	0.198	0.272	0.203	0.218	0.238	0.226
2003	-	-	0.245	0.260	0.194	0.258	0.258	0.243
2004	-	-	-	0.225	0.196	0.230	0.220	0.218
2005	-	-	-	0.202	0.183	0.192	0.222	0.200
2006	-	-	-	0.224	-	0.210	0.192	0.209
Ср.	0.252	0.214	0.209	0.238	0.208	0.226	0.226	0.225

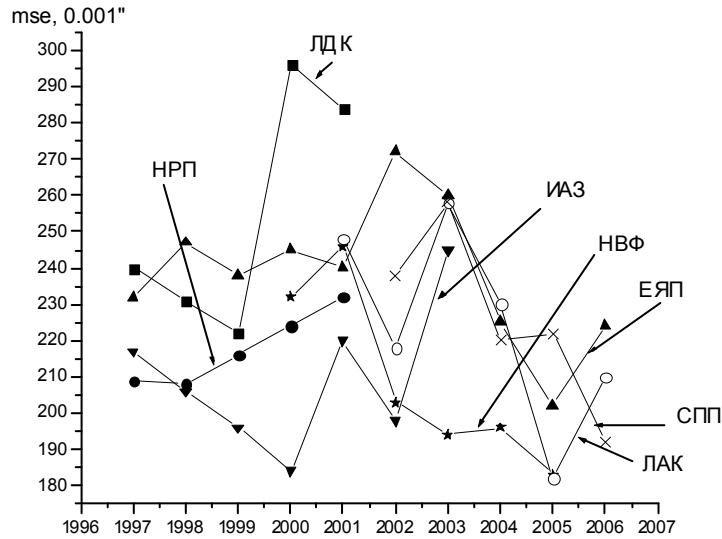


Рис. 1. Изменение ϵ со временем для различных наблюдателей.

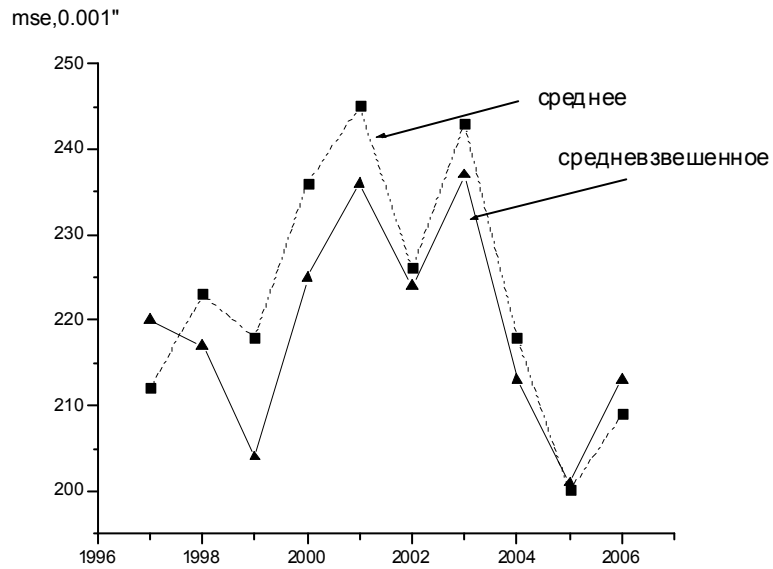


Рис. 2. Средние значения ϵ для «среднестатистического наблюдателя» (простые средние и средневзвешенные значения).

Таблица 3. Зависимость ошибок от количества широт, полученных за ночь.

Кол-во широт	ИАЗ	ЛДК	НРП	ЕЯП	НВФ	ЛАК	СПП
1-3	0.239''	0.230''	0.284''	0.248''	0.136''	-	0.258''
4-7	0.207	0.263	0.217	0.230	0.208	0.239''	0.245
8-9	0.202	0.212	0.195	0.220	0.210	0.192	0.184
10-15	0.220	0.235	0.211	0.248	0.260	0.255	0.276
16-18	0.200	0.228	0.205	0.225	0.223	0.205	0.206
19-22	0.180	0.202	0.248	0.187	-	-	-

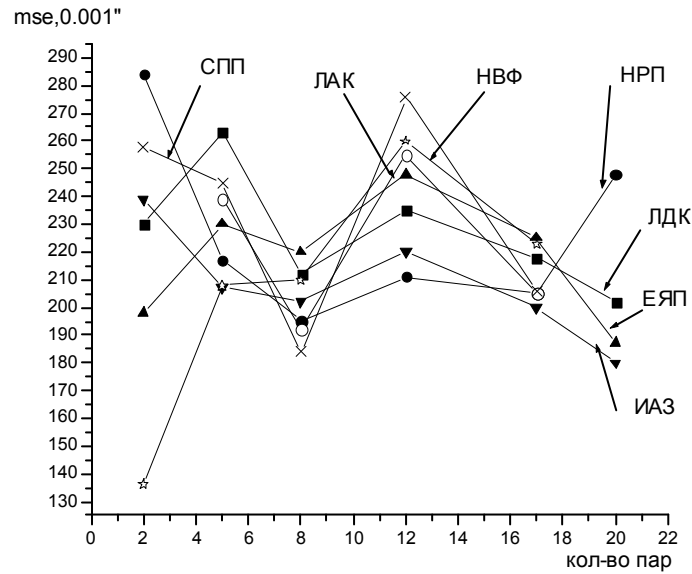


Рис. 3. Зависимость ϵ от количества широт, полученных за ночь.

Изменения в течение года, изображенные на графиках, были аппроксимированы синусоидальной составляющей, параметры которой приводятся в Таблице 4. Свободный член практически совпадает с приведенным выше минимальным значением ошибки. Минимум переменной составляющей приходится на середину года, т.е. на месяцы с устойчиво положительной температурой, которая обеспечивает наиболее надежную работу инструмента и наиболее комфортные условия наблюдения.

Таблица 4. Параметры годового изменения средних квадратических ошибок наблюдателей.

Наблюдатель	Св. член	Амплитуда	Фаза (в долях года)
И.А. Зыков	$0.219'' \pm 0.014''$	$0.019'' \pm 0.015''$	0.182 ± 0.046
Л.Д. Костина	0.223 0.022	0.025 0.017	0.075 0.068
Н.Р. Персиянинова	0.215 0.013	0.018 0.008	0.084 0.050
Е.Я. Прудникова	0.233 0.015	0.021 0.014	0.188 0.062
Н.В. Фомина	0.205 0.028	0.023 0.018	0.195 0.054
Л.А. Калихевич	0.233 0.016	0.020 0.016	0.180 0.085
С.П. Пуляев	0.220 0.015	0.022 0.012	0.080 0.078
Ср. наблюдатель	0.221 0.012	0.021 0.010	0.140 0.062

Был выполнен спектральный анализ по методу Диминга [3] рядов ϵ^2 для каждого наблюдателя, а так же рядов значений давления и температуры за десять лет (ряды D и T). Обнаруженные периоды представлены в Таблице 5. Видно, что годовой период присутствует во всех рядах и определяется с точностью около ± 2 дней. Полугодовой период проявляется в рядах D и T, но отсутствует в рядах ϵ^2 . Период около двух месяцев (66.4 ± 0.4 дня) проявляется у всех наблюдателей (кроме одного) и в ряде D. Из околомесячных периодов вариация с периодом 32.4 ± 0.3 дня обнаружилась во всех рядах наблюдателей и ряде D, в то время как вариация с периодом около 29 дней (28.5 ± 0.6), присутствующая в рядах D и T, проявилась не во всех индивидуальных рядах. Из периодов, близких к полумесячной вариации, во всех рядах присутствует период 16.1 ± 0.1 дня.

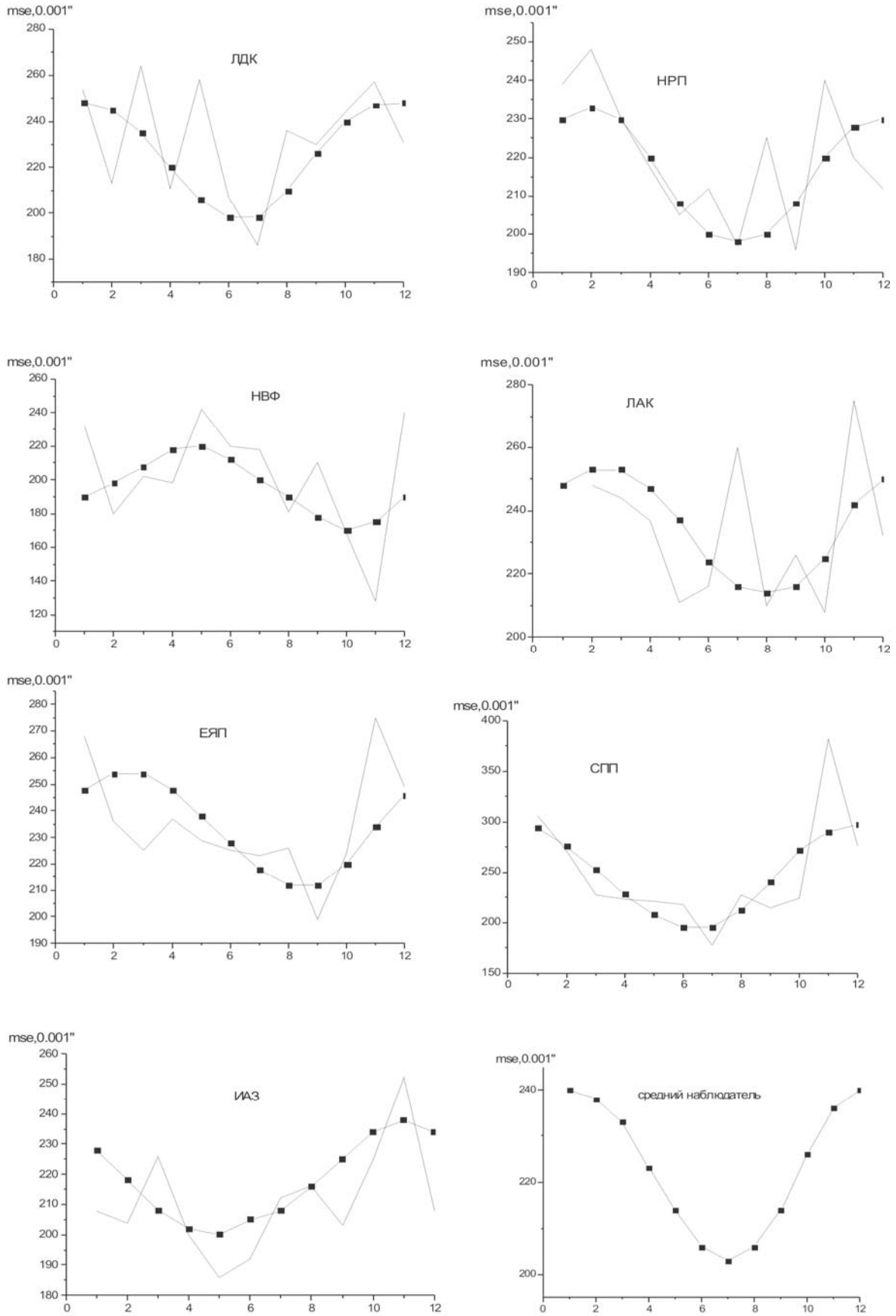


Рис. 4. Годовая зависимость средних квадратических ошибок для разных наблюдателей и для среднестатистического наблюдателя.

Таблица 5. Периодические составляющие, обнаруженные методом Диминга в рядах ошибок наблюдателей и объединенных рядах давления и температуры.

	НРП	ЛДК	ИАЗ	ЕЯП	ЛАК	НВФ	СПП	Давл. D	Темп. T
Около- годовые периоды	365.9 147.2	361.5 147.2	365.4 144.7	365.8 149.7	362.2	367.7 137.8	362.4 148.8	365.4 187.5	365.5 187.8
Около- сезонные периоды	80.2 66.8	78.0 66.9	- 66.5	80.3 66.6	80.2 65.9	78.4 66.3	78.2	78.3 66.5	-
Около- месяч- ные периоды	32.4 30.5 28.9 22.2	32.7 31.4 29.8 27.3 21.9	32.0 - 28.1 27.2	32.7 31.7 28.3 23.5	32.4 30.1 28.7 27.7	32.3 30.5 27.4	32.4 27.3 23.4	32.2 30.6 28.8 26.0 24.7	- - 29.1 25.0 22.0
Около- полуме- сячные периоды	- 16.0 13.8 12.9	17.2 16.4 14.5	17.9 16.4 14.8	17.3 16.3 14.6	- 16.0	17.3 16.2	17.5 16.2 14.4 13.5	- 16.0 13.5 13.1	- 16.1 13.9 13.0

Таблица 6. Спектральная мощность пиков, выделенных во всех рядах.

Период	НРП	ЛДК	ИАЗ	ЕЯП	ЛАК	НВФ	СПП	Давл. D	Темп. T
365	120	70	50	82	56	60	120	800	4000
66.4	125	85	56	95	80	250	-	350	-
32.4	60	210	25	55	110	160	80	60	-
28.5	85	-	10	24	84	-	-	140	280
16.1	60	50	35	55	55	100	150	230	260

Из Таблицы 6 видно, что годовой пик, в котором содержится практически вся мощность спектров D и T, не является самым мощным в спектрах индивидуальных рядов. Поэтому можно предположить, что между ними причинной связи нет, но она может существовать между сезонными вариациями этих процессов (для среднестатистического наблюдателя: амплитуда двухмесячного периода 0".030, месячные 0".025 и полумесячные – 0".018), скорее всего, в виде сезонных колебаний рефракции. При обработке наблюдений учитывалось только среднее за вечер значение давления, поскольку, как показали выборочные вычисления, колебания давления в течение ночи оказывают влияние на ошибку наблюдений только в пятом знаке. Как показывает опыт [4], необходимы специально поставленные исследования, чтобы учет рефракции позволил уменьшить ошибку наблюдений на 25%.

Заключение

Величина, называемая случайной ошибкой одного наблюдения, не уменьшается с количеством наблюденных за ночь пар и поэтому, строго говоря, случайной не является. Она характеризует состояние системы «инструмент + программа» и может изменяться с изменением программы. То, что имеется в виду под старением инструмента, может быть недоучтенным влиянием изменения инструментальных параметров, на-

пример, температурных коэффициентов. Кроме того, описанная выше внутригрупповая компенсация (устанавливаемая, как правило, для середины срока действия программы) из-за прецессии невозможна в течение всего периода наблюдений данной программы, так что полностью влияния ошибок масштаба избежать нельзя. Как известно [5], оно представляет собою годовую волну с переменной амплитудой.

Выводы

1. Величина ошибки одной широты, называемой случайной, обладает систематической природой и характеризует состояние системы «инструмент + программа».
2. За последние десять лет средняя ошибка одного наблюдения для коллектива наблюдателей ЗТФ-135 не увеличивалась.
3. Спектральный анализ показал наличие в ошибках одного наблюдения, а так же в изменении давления, вариаций с годовым, двухмесячным, месячным и полумесячным периодами. Их мощность позволяет предположить, что сезонные вариации давления могут участвовать в формировании ошибки наблюдения.

Литература

1. *А.С. Васильев*. Широты Пулкова в 1917–1941 гг. по наблюдениям на пассажном инструменте в первом вертикале. Труды ГАО, серия 2, 69, 1952.
2. *К.А. Куликов*. Изменяемость широт и долгот. 1962, М., 400 с.
3. Deeming T.J. Fourier analysis with unequally-spaced data // *Astrophys. And Space Sci.* –1976. 36. P.137-158.
4. *В.И. Сергиенко*. Исследование влияния рефракционных аномалий на широтные наблюдения в Иркутске и Благовещенске. А.Ж., 47, №6, 1970, с.1328.
5. *А.Е. Филиппов*. Сравнение Пулковских и Иоганнесбургских наблюдений широты. Труды ПГО, 1956, т.6, 200 с.

ON THE MSE OF ASTROOPTIC OBSERVATIONS AND THEIR SYSTEMATIC VARIATIONS

Prudnikova E.Ja.

Summary

With using of ten years observations of Pulkovo latitude with ZTF-135 there were obtained systematical variations of mse of instantaneous latitude. During this interval the mse of all observers were not increasing. The annual, two-monthly, monthly and semi-monthly periods were abstracted. Annual variations for different observers are near to each other. The presence of the same periods in spectrum of pressure and spectral power of there peaks permit to assume that seasonal variations of pressure can take a part in mse formation.

ОБ АНОМАЛИЯХ, ПРЕДЛОЖЕННЫХ М.Ф. СУББОТИНЫМ

Соколов В.Г.

Исследуются предложенные М.Ф. Субботиным две взаимные аномалии, которые являются частными случаями введенной им же общей аномалии. Дана геометрическая интерпретация этих аномалий и приведены некоторые соотношения, связывающие их между собой и с другими аномалиями: средней, эксцентрической, истинной и тангенциальной. Установлено, что аномалии М.Ф. Субботина приближают среднюю и эксцентрическую аномалии более равномерно, чем истинная и тангенциальная.

Введение

В работах [1, 2] М.Ф. Субботин получил формулы для координат невозмущенного эллиптического движения через общую аномалию, по отношению к которой истинная и эксцентрическая аномалии, а также менее известная тангенциальная аномалия Калландро [3, 4] являются частными случаями. В этих же работах М.Ф. Субботин ввел две новые аномалии, которые и являются предметом исследования данной статьи.

Несмотря на то, что со времени публикации работ М.Ф. Субботина прошло более 70 лет, предложенные им взаимные аномалии S и \tilde{S} до сих пор не исследовались. Так, неизвестен даже их геометрический смысл. В данной статье сделана попытка частично восполнить этот пробел. Важно отметить, что использование именно этих аномалий может оказаться полезным при разложении пертурбационных функций планетной задачи трех тел. В частности, установлено [5], что наибольшие области голомофности дополнительных частей этих функций относительно эксцентриситетов получаются, вообще говоря, при использовании аномалии \tilde{S} в качестве независимой переменной в уравнениях Лагранжа для оскулирующих элементов.

Общая аномалия и ее частные случаи

Обозначим через X , Y прямоугольные гелиоцентрические координаты планеты, причем оси X и Y направлены в точки орбиты, в которых истинная аномалия равна соответственно 0 и $\pi/2$. М.Ф. Субботин [1, 2] ввел понятие общей аномалии невозмущенного эллиптического движения и установил, что она разбивается на пары W и \tilde{W} , при этом координаты X , Y определяются формулами

$$\begin{aligned} X &= a \left(\frac{A \cos W + \alpha}{A + \alpha \cos W} - e \right) = a \left(\frac{A \cos \tilde{W} - \alpha}{A - \alpha \cos \tilde{W}} - e \right), \\ Y &= a \frac{(1 - e^2) \sin W}{A + \alpha \cos W} = a \frac{(1 - e^2) \sin \tilde{W}}{A - \alpha \cos \tilde{W}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$A = \sqrt{1 - e^2 + \alpha^2}, \quad (2)$$

a – большая полуось орбиты, e – эксцентриситет, α – параметр, значение которого может быть выбрано из различных соображений теоретического и практического плана. Аномалии W и \tilde{W} называются взаимными и связаны с эксцентрической аномалией и соотношениями

$$\operatorname{tg} \frac{W}{2} = b \operatorname{tg} \frac{u}{2}, \quad \operatorname{tg} \frac{\widetilde{W}}{2} = \frac{1}{b} \operatorname{tg} \frac{u}{2}, \quad (3)$$

где

$$b = \sqrt{\frac{A+\alpha}{A-\alpha}}.$$

Если в (1) и (2) положить $\alpha = 0$, то получим известные выражения для координат через эксцентрическую аномалию u

$$X = a(\cos u - e), \quad Y = a\sqrt{1-e^2} \sin u, \quad (4)$$

которая является единственной аномалией, взаимной по отношению к самой себе.

При $\alpha = e$ формулы (1) с учетом (2) дают выражения для координат через истинную $-f$ и тангенциальную $-\tilde{f}$ аномалии:

$$\begin{aligned} X &= a \frac{(1-e^2)\cos f}{1+e\cos f} = a \frac{(1+e^2)\cos \tilde{f} - 2e}{1-e\cos \tilde{f}}, \\ Y &= a \frac{(1-e^2)\sin f}{1+e\cos f} = a \frac{(1-e^2)\sin \tilde{f}}{1-e\cos \tilde{f}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Аномалию \tilde{f} , впервые введенную Калландро [3, 4], Штумпф [6] назвал антифокальной и дал для нее простую геометрическую интерпретацию. Авторы учебного пособия [7] называют \tilde{f} сопряженной аномалией.

Полагая в (1) и (2) $\alpha = e\sqrt{1-e^2}$, Субботин ввел взаимные аномалии S и \tilde{S} , через которые координаты определяются формулами

$$\begin{aligned} X &= a \frac{(\sqrt{1+e^2} - e^2)\cos S + e - e\sqrt{1+e^2}}{\sqrt{1+e^2} + e\cos S} = a \frac{(\sqrt{1+e^2} + e^2)\cos \tilde{S} - e - e\sqrt{1+e^2}}{\sqrt{1+e^2} - e\cos \tilde{S}}, \\ Y &= a \frac{\sqrt{1-e^2} \sin S}{\sqrt{1+e^2} + e\cos S} = a \frac{\sqrt{1-e^2} \sin \tilde{S}}{\sqrt{1+e^2} - e\cos \tilde{S}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Следует отметить некоторые неточности в упомянутых выше работах М.Ф. Субботина. Во-первых, при получении формул, выражающих координаты через аномалию \widetilde{W} , из формул для координат через W надо изменять знак не только величины A , но и взаимной аномалии, что обеспечивает сохранение направления обращения планеты вокруг центрального тела. Между тем, указание на необходимость замены A и W на $-A$ и $-\widetilde{W}$ приведено только в самом конце статьи [1] в связи с выводом формул для производных взаимных аномалий по времени. Во-вторых, формулы (30) и (6) для координат через аномалию S , приведенные в работах [1] и [2] соответственно, в действительности являются формулами для координат через аномалию \tilde{S} , которая так же как и тангенциальная $-\tilde{f}$ изменяется гораздо более равномерно относительно времени, нежели u , f и S . Поэтому аномалией, отличающейся от аномалии f на величину порядка e^3 , является аномалия S , а не \tilde{S} , как указано в работах Субботина. Наконец, в формуле для производной эксцентрической аномалии u по W в статье [1] на с.19 допущена опечатка: должно быть

$$\frac{du}{dW} = \frac{\sin u}{\sin W}.$$

Геометрическая интерпретация аномалий М.Ф. Субботина

В дальнейшем с целью сокращения записи и количества формул будем иногда использовать следующие обозначения:

$$S \equiv S^{(1)}, \quad \tilde{S} \equiv S^{(2)}, \quad f \equiv f^{(1)}, \quad \tilde{f} \equiv f^{(2)}. \quad (7)$$

Введем в рассмотрение вспомогательную систему координат, оси X_1 и Y_1 которой параллельны и одинаково направлены с осями X и Y исходной системы, а начало расположено в точке с координатами

$$\xi = -aK, \quad \eta = -aHg(S^{(i)}), \quad i = 1, 2, \quad (8)$$

где

$$\varepsilon = \frac{e}{\sqrt{1+e^2}}, \quad K = e - \varepsilon, \quad H = 1 - \varepsilon^2 - \sqrt{1 - 2\varepsilon^2}, \quad (9)$$

$$g(S^{(i)}) = \frac{\sin S^{(i)}}{1 \pm \varepsilon \cos S^{(i)}}, \quad i = 1, 2. \quad (10)$$

Здесь и в дальнейшем при наличии в правых частях формул двойных знаков условимся считать, что при $i = 1$ берутся верхние знаки, а при $i = 2$ – нижние.

Тогда движение, определяемое формулами (6), можно представить движением по эллипсу с эксцентриситетом ε , фокус которого находится в начале координат вспомогательной системы, т. е.

$$X = X_1 + \xi, \quad Y = Y_1 + \eta,$$

где X_1, Y_1 вычисляются по формулам (5), если в них заменить f, \tilde{f} и e через S, \tilde{S} и ε соответственно. Поэтому аномалия S измеряется углом, образованным радиусом-вектором планеты, проведенным из фокуса с координатами (8), с положительным направлением оси X_1 , а аномалия \tilde{S} – углом, образованным радиусом-вектором, проведенным из второго (пустого) фокуса с координатами

$$\xi' = -\xi - 2ae, \quad \eta' = \eta,$$

с тем же направлением оси X_1 .

Из (9) следует, что K и H являются возрастающими функциями от e (или ε) на промежутке $[0, 1)$ (или $[0, \sqrt{2}/2)$), область значений которых ограничена неравенствами

$$0 \leq K < 1 - \sqrt{2}/2, \quad 0 \leq H < 1/2,$$

при этом $K \sim e^3$ и $H \sim e^4$ для малых e . При фиксированном e значения K и H постоянны, и ордината η подвижного фокуса (начала координат вспомогательной системы) зависит только от S .

Ввиду симметрии эллипса относительно линии апсид, достаточно исследовать поведение ординаты η в интервале $S^{(i)} \in (0, \pi)$, поскольку на его концах $\eta = 0$. Приравнявая нулю производные от η по $S^{(i)}$, находим, что модуль отношения η/a достигает максимального значения

$$\frac{1}{a} \|\eta\| = \frac{1}{a} \max |\eta| = \sqrt{1 - \varepsilon^2} - \sqrt{1 - \frac{\varepsilon^2}{1 - \varepsilon^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + e^2}} - \sqrt{1 - e^2},$$

когда

$$S^{(i)} = \arccos(\mp \varepsilon) = \arccos\left(\mp \frac{e}{\sqrt{1+e^2}}\right) \equiv S_i^*, \quad i=1,2,$$

при этом $S_1^* \equiv S^*$ и $S_2^* \equiv \tilde{S}^*$ ограничены неравенствами

$$\frac{\pi}{2} \leq S^* < \frac{3\pi}{4}, \quad \frac{\pi}{4} < \tilde{S}^* \leq \frac{\pi}{2},$$

в которых равенства выполняются только при $e = 0$. Отношение $\|\eta\|/a$ как функция e возрастает от 0 при $e = 0$ до $\sqrt{2}/2$ при $e = 1$.

Из (8)–(10) видно, что $\eta < 0$, если планета находится в верхней полуплоскости, и $\eta > 0$, если она расположена в нижней. Таким образом, за период обращения планеты подвижный фокус совершает полный цикл колебаний вдоль прямой $X = \xi$ с амплитудой $\|\eta\|$ относительно положения равновесия $Y = 0$, при этом второй (пустой) фокус совершает такие же колебания вдоль прямой $X = -\xi - 2ae$.

Соотношения, связывающие аномалии S и \tilde{S} между собой и другими аномалиями

Приравнивая правые части (4) и (6), в обозначениях (7) находим:

$$\cos u = \frac{\cos S^{(i)} \pm \varepsilon}{1 \pm \varepsilon \cos S^{(i)}}, \quad \sin u = \frac{\nu \sin S^{(i)}}{1 \pm \varepsilon \cos S^{(i)}}, \quad i=1,2, \quad (11)$$

где

$$\nu = \frac{1}{\sqrt{1+e^2}},$$

а ε определяется первым из выражений (9). Обращая соотношения (11), получим:

$$\cos S^{(i)} = \frac{\cos u \mp \varepsilon}{1 \mp \varepsilon \cos u}, \quad \sin S^{(i)} = \frac{\nu \sin u}{1 \mp \varepsilon \cos u}, \quad i=1,2. \quad (12)$$

Из приведенной выше геометрической интерпретации аномалий S и \tilde{S} ясно, что координаты планеты во вспомогательной системе с началом в подвижном фокусе связаны соотношениями:

$$\begin{aligned} X_1 &= r_1 \cos S = (2a - r_1) \cos \tilde{S} - 2a\varepsilon, \\ Y_1 &= r_1 \sin S = (2a - r_1) \sin \tilde{S}, \end{aligned} \quad (13)$$

в которых

$$r_1 = \frac{a(1-\varepsilon^2)}{1+\varepsilon \cos S}.$$

Разрешая (13) относительно $\cos \tilde{S}$ и $\sin \tilde{S}$, находим:

$$\cos \tilde{S} = \frac{\cos S + \varepsilon'}{1 + \varepsilon' \cos S}, \quad \sin \tilde{S} = \frac{\nu' \sin S}{1 + \varepsilon' \cos S}, \quad (14)$$

где

$$\varepsilon' = \frac{2\varepsilon}{1+\varepsilon^2} = \frac{2e\sqrt{1+e^2}}{1+2e^2}, \quad \nu' = \frac{1-\varepsilon^2}{1+\varepsilon^2} = \frac{1}{1+2e^2}.$$

Обращение выражений (14) дает:

$$\cos S = \frac{\cos \tilde{S} - \varepsilon'}{1 - \varepsilon' \cos \tilde{S}}, \quad \sin S = \frac{\nu' \sin \tilde{S}}{1 - \varepsilon' \cos \tilde{S}}. \quad (15)$$

Легко установить, что на промежутке $e \in [0, 1)$ ε' возрастает, а ν и ν' убывают, при этом области их значений удовлетворяют неравенствам

$$0 \leq \varepsilon' < \frac{2\sqrt{2}}{3}, \quad 1 \geq \nu > \frac{\sqrt{2}}{2}, \quad 1 \geq \nu' > \frac{1}{3},$$

в которых равенства имеют место только при $e = 0$.

Если в (2), следуя М.Ф. Субботину, положить $\alpha = e\sqrt{1-e^2}$, то из (3) получим:

$$\operatorname{tg} \frac{S}{2} = b \operatorname{tg} \frac{u}{2}, \quad \operatorname{tg} \frac{\tilde{S}}{2} = \frac{1}{b} \operatorname{tg} \frac{u}{2}, \quad (16)$$

где

$$b = \sqrt{1+e^2} + e.$$

Использование предложенного еще Л. Эйлером приема решения уравнений (16) приводит к разложениям [7–13]

$$S - u = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n} \gamma^n \sin nu = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{2}{n} \gamma^n \sin nS, \quad (17)$$

$$\tilde{S} - u = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n} (-\gamma)^n \sin nu = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n} \gamma^n \sin n\tilde{S}, \quad (18)$$

в которых

$$\gamma = \frac{b-1}{b+1} = \frac{e}{1+\sqrt{1+e^2}} = \frac{\sqrt{1+e^2}-1}{e}.$$

Поскольку

$$\operatorname{tg} \frac{S}{2} = b^2 \operatorname{tg} \frac{\tilde{S}}{2},$$

то аналогичные операции дают:

$$S - \tilde{S} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n} \varepsilon^n \sin n\tilde{S} = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{2}{n} \varepsilon^n \sin nS.$$

Заметим, что соответствующие разложения для разности $f - \tilde{f}$ имеют вид:

$$f - \tilde{f} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n} e^n \sin n\tilde{f} = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{2}{n} e^n \sin nf.$$

Использование первых разложений из (17) и (18), уравнения Кеплера

$$u - e \sin u = l, \quad (19)$$

где l – средняя аномалия, и известного разложения [7-13]

$$\sin mu = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m}{n} [J_{n-m}(ne) + J_{n+m}(ne)] \sin nl,$$

в котором $J_n(x)$ – функция Бесселя первого рода порядка n , позволяет найти разложения для $S^{(i)}$ в ряды Фурье по кратным l :

$$S^{(i)} - l = (S^{(i)} - u) + (u - l) = \sum_{n=1}^{\infty} s_n^{(i)} \sin nl, \quad i = 1, 2,$$

где

$$s_n^{(i)} = \frac{2}{n} J_n(ne) + \frac{2}{n} \sum_{m=1}^{\infty} (\pm\gamma)^m [J_{n-m}(me) + J_{n+m}(me)]$$

и с точностью до членов порядка e^3

$$s_1^{(1)} = 2e - \frac{3}{4}e^3, \quad s_2^{(1)} = \frac{5}{4}e^2, \quad s_3^{(1)} = \frac{13}{12}e^3,$$

$$s_1^{(2)} = 0, \quad s_2^{(2)} = \frac{e^2}{4}, \quad s_3^{(2)} = \frac{e^3}{6}.$$

Отметим для сравнения, что в разложениях для $f^{(i)}$ из [7]

$$f^{(i)} - l = \sum_{n=1}^{\infty} c_n^{(i)} \sin nl, \quad i = 1, 2,$$

с принятой точностью $c_n^{(i)} = s_n^{(i)}$ для $n \geq 2$,

$$c_1^{(1)} = 2e - \frac{1}{4}e^3, \quad c_1^{(2)} = -\frac{e^3}{2}.$$

Для определения степени близости различных аномалий между собой найдем их разности в элементарных функциях от эксцентрической аномалии u . Использование (16) и приема, изложенного в [14], дает

$$S^{(i)} - u = \pm 2 \operatorname{arctg} \frac{\gamma \sin u}{1 \mp \gamma \cos u}, \quad i = 1, 2, \quad (20)$$

откуда, принимая во внимание (19),

$$S^{(i)} - l = e \sin u \pm 2 \operatorname{arctg} \frac{\gamma \sin u}{1 \mp \gamma \cos u}, \quad i = 1, 2. \quad (21)$$

Из (20) и аналогичных соотношений для разностей $f^{(i)} - u$, приведенных в [7, 14], получим

$$S - \tilde{S} = 2 \operatorname{arctg} e \sin u, \quad f - \tilde{f} = 2 \operatorname{arctg} \frac{e}{\sqrt{1-e^2}} \sin u, \quad (22)$$

$$S^{(i)} - f^{(i)} = \mp 2 \operatorname{arctg} \frac{(\beta - \gamma) \sin u}{1 + \beta\gamma \mp (\beta - \gamma) \cos u}, \quad i = 1, 2,$$

где

$$\beta = \frac{e}{1 + \sqrt{1-e^2}} = \frac{1 - \sqrt{1-e^2}}{e}.$$

Ввиду симметрии эллипса относительно линии апсид для определения максимума модуля приведенных выше разностей достаточно исследовать их поведение в интервале $u \in (0, \pi)$, поскольку на его концах все разности тождественно равны нулю. Дифференцируя (20) по u , легко установить, что производные правых частей обращаются в нуль при условиях

$$\cos u = \pm \gamma, \quad \sin u = \sqrt{1-\gamma^2}, \quad i = 1, 2. \quad (23)$$

Подстановка (23) в (20) дает для искомого максимума модуля (нормы равномерной сходимости, или нормы Чебышева [15])

$$\|S^{(i)} - u\| = 2 \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{\sqrt{1-\gamma^2}} = 2 \arcsin \gamma = e - \frac{5}{24}e^3 + \dots, \quad i = 1, 2.$$

Из [7] известно, что в обозначениях (7)

$$\|f^{(i)} - u\| = 2\arcsin\beta = e + \frac{7}{24}e^3 + \dots, \quad i = 1, 2,$$

а поскольку $\gamma < \beta$ в интервале $(0, 1)$, то справедливы неравенства

$$\|S^{(i)} - u\| < \|f^{(i)} - u\|, \quad i = 1, 2,$$

причем $\lim_{e \rightarrow 1} \|S^{(i)} - u\| = 0.8542$, а $\lim_{e \rightarrow 1} \|f^{(i)} - u\| = \pi$.

Рассуждая аналогично, из (21) находим

$$\|S - l\| = \frac{\chi}{\gamma_1} + 2\arctg \frac{\chi}{1 + \mu} = 2e - \frac{13}{48}e^3 + \dots, \quad (24)$$

$$\|\tilde{S} - l\| = \frac{\tau}{\gamma_1} - 2\arctg \frac{\tau}{\gamma\sigma + \sigma^2} = \frac{e^2}{4} + \frac{\sqrt{2}}{12}e^3 + \dots, \quad (25)$$

где

$$\gamma_1 = 1 - \gamma^2, \quad \mu = \sqrt{1 - 2\gamma^2\gamma_1}, \\ \chi = \sqrt{2(\mu + \gamma^2 - \gamma_1^2)}, \quad \sigma = \sqrt{2 - \gamma^2}, \quad \tau = \gamma\sqrt{2 + 2\gamma\sigma}.$$

Сравнение (24) и (25) с соответствующими выражениями из [7]

$$\|f - l\| = \frac{\alpha}{\beta_1} + 2\arctg \frac{\alpha}{\beta_2 + \sqrt{\beta_1\beta_2}} = 2e + \frac{11}{48}e^3 + \dots, \\ \|\tilde{f} - l\| = 2\arctg \frac{\beta\sqrt{\beta_2}}{\sqrt{2} - \beta\sqrt{\beta_1}} - \frac{\beta\sqrt{2\beta_2}}{\beta_1} = \frac{e^2}{4} + \frac{\sqrt{2}}{6}e^3 + \dots,$$

в которых

$$\beta_1 = 1 + \beta^2, \quad \beta_2 = 1 - \beta^2, \quad \alpha = \sqrt{2\beta_1\sqrt{\beta_1\beta_2} - 2\beta_2},$$

свидетельствует о справедливости неравенств

$$\|S - l\| < \|f - l\|, \quad \|\tilde{S} - l\| < \|\tilde{f} - l\|,$$

причем

$$\lim_{e \rightarrow 1} \|S - l\| = 1.8132, \quad \lim_{e \rightarrow 1} \|\tilde{S} - l\| = 0.2887, \quad \lim_{e \rightarrow 1} \|f^{(i)} - l\| = \pi, \quad i = 1, 2.$$

Заметим, что в интервале $(0, \pi)$ разности $S - l$ и $f - l$ всегда положительны, а разности $\tilde{S} - l$ и $\tilde{f} - l$ принимают значения обоих знаков, при этом модуль разности $\tilde{S} - l$ максимален, когда $\tilde{S} - l > 0$ и $u < \pi/2$, а модуль разности $\tilde{f} - l$ максимален, когда $\tilde{f} - l < 0$ и $u > \pi/2$.

Наконец, из выражений (22) находим

$$\|S - \tilde{S}\| = 2\arctge = 2e - \frac{2}{3}e^3 + \dots, \quad \|f - \tilde{f}\| = 2\arcsin e = 2e + \frac{1}{3}e^3 + \dots,$$

$$\|S^{(i)} - f^{(i)}\| = 2\arcsin \frac{\beta - \gamma}{1 - \beta\gamma} = \frac{e^3}{3} + \dots, \quad i = 1, 2,$$

откуда следуют очевидное неравенство $\|S - \tilde{S}\| < \|f - \tilde{f}\|$ и пределы

$$\lim_{e \rightarrow 1} \|S - \tilde{S}\| = \frac{\pi}{2}, \quad \lim_{e \rightarrow 1} \|f - \tilde{f}\| = \lim_{e \rightarrow 1} \|S^{(i)} - f^{(i)}\| = \pi, \quad i = 1, 2.$$

Отметим, что большинство из выражений для S и \tilde{S} , приведенных выше, с точностью до обозначений совпадает с аналогичными выражениями для f и \tilde{f} из [7].

Заключение

В данной статье выполнено исследование предложенных М.Ф. Субботиным взаимных аномалий S и \tilde{S} , которые являются частными случаями введенной им же общей аномалии. Дана геометрическая интерпретация этих аномалий и приведены некоторые соотношения, связывающие их между собой и с другими аномалиями: средней, эксцентрисической, истинной и тангенциальной. Получены точные оценки, характеризующие максимальные отклонения S и \tilde{S} от этих аномалий. Установлено, в частности, что аномалии S и \tilde{S} приближают среднюю и эксцентрисическую аномалии более равномерно, чем истинная и тангенциальная. Поскольку точные нижние грани знаменателей в формулах (5) и (6) равны соответственно нулю и $\sqrt{2}-1$, то при описании движения по орбитам с большими эксцентриситетами использование аномалий S и \tilde{S} может оказаться более удобным, чем f и \tilde{f} .

Автор благодарен профессору Ю.В. Батракову за ценные замечания, сделанные при подготовке статьи к публикации.

Литература

1. Субботин М.Ф. // Труды АО ЛГУ, 1936, т. 7, с. 9-20.
2. Субботин М.Ф. // Доклады АН СССР, 1936, т. 6, № 4, с. 167-169.
3. Callandreaux O. // Comptes rendus, 1902, t. 134, p. 1478-1482.
4. Callandreaux O. // Journal de l'École Polytechnique, 1902, 2 serie, 7 cahier, p. 29-99.
5. Соколов В.Г. // Астрон. вестн., 2009, т.43, № 1, с.56-63.
6. Stumpff K. Himmelsmechanik. Bd. 1. Berlin: VEB Deutscher Verlag Wissenschaft, 1959.
7. Холиевников К.В., Титов В.Б. Задача двух тел: Учебное пособие. СПб, 2007.
8. Аксенов Е.П. Специальные функции в небесной механике. М.: Наука, 1986.
9. Брауэр Д., Клеменс Дж. Методы небесной механики. М.: Мир, 1964.
10. Дубошин Н.Г. Небесная механика. Основные задачи и методы. М.: Наука, 1968.
11. Смарт У.М. Небесная механика. М.: Мир, 1965.
12. Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. М.: Наука, 1968.
13. Уинтнер А. Аналитические основы небесной механики. М.: Наука, 1967.
14. Broucke R., Cefola P. // Celest. Mech., 1973, v. 7, № 3, p. 388-389.
15. Лоран П.-Ж. Аппроксимация и оптимизация. М.: Мир, 1975.

ON ANOMALIES PROPOSED BY M.F. SUBBOTIN

Sokolov V.G.

Summary

The two mutual anomalies, offered by M.F. Subbotin, which are the particular cases of the general anomaly introduced by himself, have been investigated. Geometrical meaning of these anomalies has been revealed. Some relations connecting these anomalies with other known ones (mean, eccentric, true and tangential) have been obtained. It is shown that the two Subbotin's anomalies approximate the mean and eccentric ones more uniformly than the true and tangential anomalies.

ОЦЕНКА К-ЭФФЕКТА ПО РАДИАЛЬНЫМ СКОРОСТЯМ РАСSEЯННЫХ ЗВЁЗДНЫХ СКОПЛЕНИЙ

Степанищев А.С.

На основе данных о радиальных скоростях 381 рассеянного звёздного скопления (РЗС) получен ненулевой параметр сжатия (-6.32 ± 1.42 км/с/кпк) системы РЗС возрастом около 100 млн. лет, находящихся в окрестности несколько килопарсек от Солнца. Более молодые и старые скопления статистически значимого расширения или сжатия не показывают.

Введение

В рамках работы по исследованию кривой вращения нашей Галактики и кинематических особенностей, связанных со спиральными рукавами и ближайшими звёздными ассоциациями, возникает задача об общем расширении или сжатии всей галактической системы или каких-то её отдельных частей. В настоящей работе была изучена система рассеянных звёздных скоплений (РЗС) с известными пространственными скоростями и возрастом.

Исследование кинематики звёзд окрестности Солнца обычно производится в рамках модели Огородникова-Милна, которая рассматривает дифференциальное вращение Галактики. Пространственная скорость движения звёзд в этой модели является непрерывной функцией пространственных координат. В качестве параметров этой модели выступают параметры Оорта A, B, C, K , которые можно выразить через частные производные радиальной и тангенциальной скорости объёма пространства по радиальному и азимутальному направлениям.

Параметр Оорта K определяет расширение – сжатие звёздной системы в рассматриваемой окрестности. Отрицательное его значение означает сжатие, положительное – расширение рассматриваемой группы звёзд. Здесь нас интересует именно этот параметр. Причём определять его можно несколькими методами, не обязательно обращаясь к модели Огородникова-Милна.

K -эффект (ненулевое значение параметра K) был впервые обнаружен в 1903 г Фростом и Адамсом для звёзд класса В ($K = +5.0$ км/с) [1]. Эта величина получена путём сравнения средней лучевой скорости В-звёзд вблизи апекса и антиапекса Солнца. Такой вывод позднее подтверждён различными авторами. Объяснение этого искали в различных звёздных потоках, а так же связывали с гравитационным красным смещением теории относительности. Также возможны другие систематические ошибки измерений лучевых скоростей.

В настоящее время также находятся объекты в Галактике, которые показывают систематическое расширение или сжатие, не связанное с ошибками измерения лучевых скоростей. Не связанное, потому что получаемый эффект превышает возможные ошибки измерения скоростей, а также потому, что часто используют ещё и собственные движения.

Торра и др. [2] исследовали особенности кинематики пояса Гульда и звёзд поля. Они брали звёзды классов О-В на разных расстояниях и разного возраста. Они получили, что пояс Гульда простирается на 600 пк от Солнца и содержит звёзды возрастом 30-60 млн. лет. Обнаружено, что локальная область Галактики находится в состоянии сжатия, в то время как пояс Гульда испытывает расширение. Для звёзд моложе 60 млн. лет получен параметр $K = 5.1 \pm 1.1$ км/с/кпк ($100 < R \leq 600$ кпк) и $K = -2.5 \pm 0.6$ км/с/кпк ($600 < R \leq 2000$ кпк).

Бобылев и др. [3] при разработке базы данных OSACA целенаправленно искали звёзды для которых K -эффект проявляется наиболее сильно. В этой работе удалось сформировать выборку звёзд с максимально выраженным отрицательным K -эффектом ($K = -13.1 \pm 2.0$ км/с/кпк). Это 1269 звёзд с показателем цвета $(B - V) \leq 0.2$.

Таблица 1. Коэффициенты прямой, описывающей тренд в зависимости радиальных скоростей от галактического радиуса для РЗС разных возрастов.

Подвыборка	a (км/с/кпк)	b (км/с)
$6.5 < \lg T < 7.5$	0.57 ± 0.92	1.69 ± 7.09
$7.5 < \lg T < 8.5$	-6.32 ± 1.42	45.50 ± 10.83
$8.5 < \lg T < 9.5$	0.56 ± 1.71	-0.49 ± 14.40

Рыбка С.П. [4] рассмотрела звёзды-гиганты из красного сгущения в радиусе 1 кпк от Солнца отдельно для низких и высоких галактических широт ($|b| < 30^\circ$ и $|b| > 30^\circ$ соответственно). При этом звёзды, лежащие на низких широтах (30328 звёзд), то есть вблизи галактической плоскости, показывают статистически значимый отрицательный параметр сжатия ($K = -6.3 \pm 1.1$ км/с/кпк), а для лежащих далеко от галактической плоскости (22720 звёзд) $K = -0.8 \pm 0.9$ км/с/кпк.

В данной работе отрицательный K -эффект будет получен, исходя из зависимости радиальной скорости от галактоцентрического радиуса. Рассмотрение радиальных скоростей даёт более надёжный результат, в отличие от тангенциальных, потому что радиальные скорости остаются независимыми от модели кривой вращения Галактики. Это показано, например, в работе Бобылева и др. [5], которые провели спектральный анализ отклонений тангенциальных скоростей от гладкой кривой вращения, а также радиальных скоростей молодых РЗС. Картина, даваемая радиальными скоростями, лучше согласуется с другими данными. В настоящей работе будет сделана попытка построения зависимости тангенциальных скоростей от галактического азимута. Галактический азимут здесь определяется как угол между направлением из центра Галактики на Солнце и на объект. Такой подход логичен в случае, если расширение (сжатие) происходит во всех направлениях, а не только в радиальном. В этом случае оно должно проявиться в виде отрицательного наклона для зависимости тангенциальных скоростей объектов от галактической долготы.

Наблюдательные данные

В настоящей работе исследовались радиальные скорости рассеянных звёздных скоплений (общее количество 395), в галактоцентрических полярных координатах на большом интервале галактоцентрических расстояний (от 3 до 16 кпк, причём основная часть от 5 до 10 кпк). Использовались данные компиляции каталогов Пискунова и др. [6] и CRVOCA [7]. Массив данных содержит экваториальные и галактические координаты, гелиоцентрическое расстояние, лучевые скорости и собственные движения, и десятичный логарифм возраста. По этим данным вычислялись радиальные и тангенциальные скорости в галактической системе координат.

Одним из ключевых моментов является значение расстояния от Солнца до центра Галактики R_0 . За последние 20 лет накоплен ряд наблюдений положений и лучевых скоростей десятков звёзд, находящихся в пределах угловой секунды от центра Галактики, где находится массивная чёрная дыра SgrA*. По определениям линейных размеров орбит этих звёзд возможно непосредственное определение расстояния R_0 , которое получается 8.33 ± 0.35 кпк [8] (8.4 ± 0.4 кпк по данным [9]). Но определение R_0 по цен-

тральным звёздам подвержено систематическим ошибкам из-за возможной лучевой скорости SgrA* [10]. В настоящей работе принималось $R_0 = 7.5$ кпк, поскольку эта величина получена в работе [11] по аналогичной выборке РЗС.

Радиальные скорости

Выборка РЗС была разбита на 3 части по возрастам, для каждой подвыборки строилась зависимость V_r от галактоцентрического расстояния R и находился общий тренд изменения радиальной скорости в зависимости от R ($V_r = aR + b$). Разбиение по возрастам проводилось на интервалах $\lg T$ от 6.5 до 7.5, от 7.5 до 8.5 и от 8.5 до 9.5. Методом наименьших квадратов находился тренд для каждой подвыборки и производилось исключение членов по критерию 3σ . Для самой молодой подвыборки имеем 171 объект до исключения и 168 – после; для подвыборки среднего возраста – 148 до и 147 после исключения, для самых старых РЗС – 66 объектов до исключения и 66 – после. Коэффициенты прямой, описывающей тренд (a, b) и их ошибки приведены в таблице 1. На рисунке 1 изображены положения РЗС каждой подвыборки на плоскости (V_r, R) , исключаемые члены отмечены крестиками и пунктирной линией показан тренд.

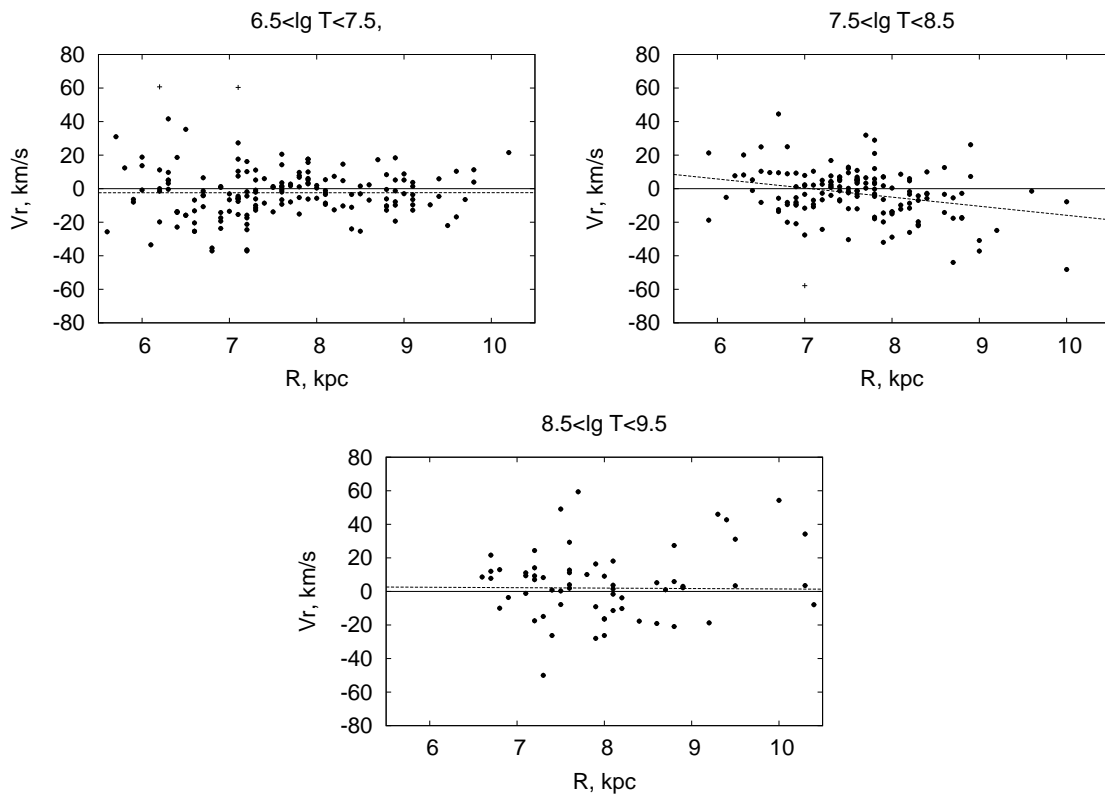


Рис. 1. Зависимость $V_r(R)$ для трёх групп РЗС с разными возрастaми.

Наибольший отрицательный статистически значимый тренд (-6.3 ± 1.4 км/с/кпк) получается для РЗС среднего возраста с $7.5 < \lg T < 8.5$, что соответствует интервалу приблизительно от 30 до 300 млн. лет. Скопления из этой выборки находятся в небольшом, по сравнению с молодыми и старыми скоплениями, интервале галактоцентрических расстояний от 6 до 10 кпк (на рис. 1 все графики приведены к одному масштабу).

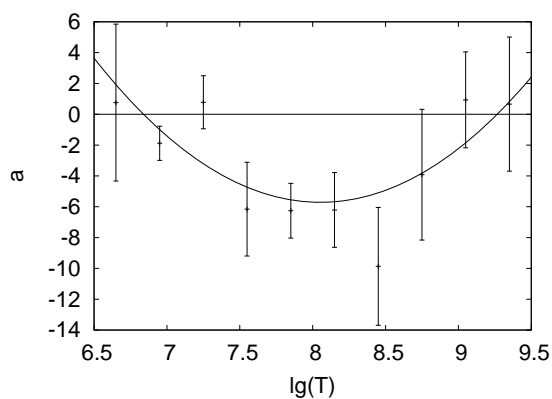


Рис. 2. Зависимость параметра сжатия от возраста скоплений.

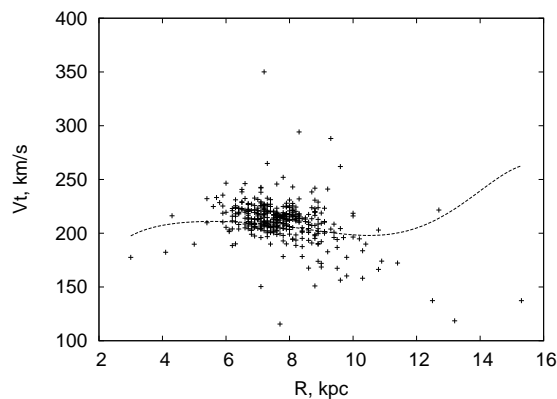


Рис. 3. Тангенциальные скорости РЗС (галактоцентрические). Штриховой линией показана кривая вращения из [1].

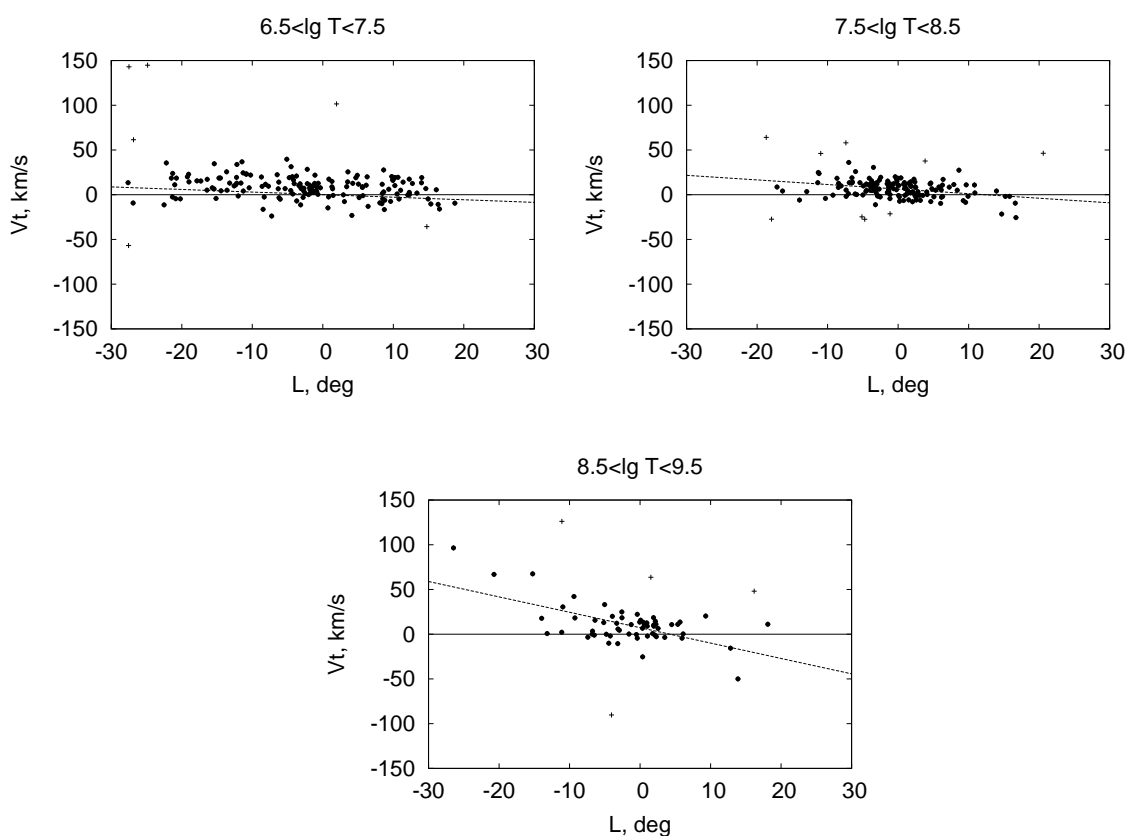


Рис. 4. Зависимость $V_t(L)$ для трёх групп РЗС с разными возрастами.

Этот результат подтверждается более мелким делением выборки по возрасту. Такое деление даёт наибольшую величину сжатия для скоплений возрастом около 100 млн. лет. В этом случае интервал $6.5 < \lg T < 9.5$ делился на 10 равных частей с шагом $\lg T = 0.3$.

Несмотря на то, что в некоторые части попадало менее 20 объектов, для интервалов $7.7 < \lg T < 8.0$ и $8.0 < \lg T < 8.3$ сжатие фиксируется уверенно. На рис. 2 показаны значения параметра тренда a в зависимости от возраста с его стандартной ошибкой и полином 2-й степени, построенный по этим точкам. Вершина параболы находится в

точке $(\lg T, a) = (8.05, -5.70)$, что и соответствует наибольшей величине параметра сжатия $a = -5.70$ км/с/кпк для скоплений возрастом $10^{8.05} \cong 112$ млн. лет.

Кривая вращения Галактики

Если обнаруженное в предыдущем разделе локальное сжатие системы РЗС существует, то оно должно проявляться и на тангенциальных скоростях. В идеальном случае зависимости остаточных тангенциальных скоростей от галактической долготы должны быть отрицательными при наличии сжатия местной системы РЗС. Это не так, если сжимается вся галактическая система, что отразится только на радиальных скоростях.

Таблица 2. Параметры кривой вращения.

Параметр	Значение
ω_0 , км/с/кпк	-27.7 ± -0.6
$\omega_0^{(1)}$, км/с/кпк ²	4.13 ± -0.07
$\omega_0^{(2)}$, км/с/кпк ³	-0.912 ± -0.065
$\omega_0^{(3)}$, км/с/кпк ⁴	0.277 ± 0.036
$\omega_0^{(4)}$, км/с/кпк ⁵	-0.265 ± 0.034
$\omega_0^{(5)}$, км/с/кпк ⁶	0.104 ± 0.026

Таблица 3. Коэффициенты прямой, описывающей тренд в зависимости тангенциальных скоростей от галактической долготы для РЗС разных возрастов.

Подвыборка	a (км/с/кпк)	b (км/с)
$6.5 < \lg T < 7.5$	-0.29 ± 0.09	7.69 ± 0.93
$7.5 < \lg T < 8.5$	-0.51 ± 0.12	6.28 ± 0.75
$8.5 < \lg T < 9.5$	-1.72 ± 0.29	7.25 ± 2.22

Для исследования тангенциальных скоростей следует знать кривую вращения Галактики, чтобы получить разности галактоцентрической азимутальной скорости объекта и кривой вращения (остаточные тангенциальные скорости). Использовалась кривая вращения, полученная в работе [4] по смешанным данным, в которые входили пространственные скорости РЗС (выборка, идентичная применяемой в настоящей работе), областей Н II и лучевые скорости облаков нейтрального водорода в тангенциальных точках. Параметры этой кривой вращения (угловая скорость на солнечном расстоянии ω_0 и первые 5 её производных по R) приведены в таблице 2.

На рисунке 3 показана кривая вращения из [4], с наложенными на неё тангенциальными скоростями выборки РЗС. Стоит заметить, что данная кривая вращения строилась по объектам нескольких разных типов, что тоже должно оказать влияние на конечный результат.

Деление выборки по возрасту и нахождение тренда производились тем же путём, что и в случае радиальных скоростей. Разбиение по возрастам проводилось на интервалах $\lg T$ от 6.5 до 7.5, от 7.5 до 8.5 и от 8.5 до 9.5. Методом наименьших квадратов находился тренд для каждой подвыборки и производилось исключение членов по критерию 3σ . В данном случае исключение пришлось провести несколько раз, потому что тангенциальные скорости обладают большей дисперсией и имеется большое число выбросов. Для самой молодой подвыборки имеем 171 объект до исключения и 161 – после; для подвыборки среднего возраста – 148 до и 139 после исключения, для самых

старых РЗС – 66 объектов до исключения и 59 – после. Коэффициенты прямой, описывающей тренд (a, b) и их ошибки приведены в таблице 3. Положения РЗС каждой подвыборки на плоскости (V_r, L) , изображены на рисунке 4.

В данном случае отрицательный, хотя не сильный тренд имеет место для всех подвыборок по возрасту, причём для самых старых РЗС – наибольший.

Обсуждение

Картина зависимостей радиальных скоростей РЗС от галактоцентрического радиуса получается разной для подвыборок с разными возрастами. Скопления среднего возраста (30 – 300 млн. лет) показывают статистически значимый отрицательный тренд с угловым коэффициентом наклона $a = -6.32 \pm 1.42$, в то время как молодые и старые скопления никакого наклона не показывают. Это говорит в пользу локального сжатия системы РЗС определённого возраста, в то время как галактическая система в целом находится в равновесном состоянии.

Более мелкое деление по возрасту подтверждает достоверность полученного результата. Из рисунка 2 видно, что уменьшение объёма выборки не мешает зарегистрировать наличие K -эффекта, и даже позволяет более тонко проследить его поведение с возрастом. Причины такой зависимости от возраста требуют дальнейшего изучения.

Если имеется локальное сжатие, которое проявляет себя в радиальных скоростях, то естественно предположить, что оно проявится и в тангенциальных скоростях. На самом деле здесь ситуация намного сложнее. Во-первых, необходимо точно знать кривую вращения Галактики. Во-вторых, по тангенциальным скоростям можно обнаружить только локальное сжатие, центр которого находится недалеко от положения Солнца. В-третьих, необходимо учесть различие кривых вращения для разных галактических долгот. Такое различие обязательно должно вызываться спиральными рукавами Галактики и наличием бара, то есть, неосесимметричным гравитационным полем.

Полученный небольшой отрицательный наклон тангенциальных скоростей в зависимости от долготы для всех подвыборок по возрасту говорит, скорее всего, о различии кривых вращения на разных долготах. Такой вывод можно сделать из того, что этот результат не согласуется с результатом по радиальным скоростям. Немного большая величина наклона тангенциальных скоростей для самых старых скоплений может быть вызвана меньшим объёмом выборки и несколькими отдельно взятыми объектами, которые прошли по критерию исключения, но могут исказить истинную картину.

Выводы

Результаты обработки данных о радиальных скоростях РЗС говорят о наличии сжатия системы скоплений среднего возраста (отрицательный K -эффект). Этот эффект носит локальный характер, связанный с системой РЗС с возрастом порядка 100 млн. лет и не относится ко всей Галактике в целом, поскольку данные о более молодых и более старых скоплениях никакого K -эффекта не показывают. Уверенно этот результат удаётся получить только с использованием радиальных скоростей РЗС. Для использования тангенциальных скоростей нужно знать кривую вращения Галактики довольно точно, причём, видимо, стоит принимать во внимание все её особенности, зависящие от галактического азимута.

Автор выражает благодарность Бобылеву В.В. за ценные советы при написании статьи.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант No 08-02-00400), а также при частичной поддержке программы Президиума РАН «Происхождение и эволюция звёзд и галактик».

Литература

1. *Паренаго П.П.* Курс звёздной астрономии, 3-е изд., Москва (1954).
2. *Торра и др. (J. Torra, D. Fernandez, F. Figueras)* Astron. Astrophys **359**, 82 (2000).
3. *Бобылев и др. (В.В. Бобылев, Г.А. Гончаров, А.Т. Байкова)* Астрон. журн. **83**, 821 (2006).
4. *Рыбка С.П.* Кинематика и физика неб. тел **24**, 137 (2008).
5. *Бобылев и др. (Бобылев В.В., Байкова А.Т., Степанищев А.С.)* Письма в Астрон. журн. **34**, 570 (2008).
6. *Пискунов и др. (А.Е. Piskunov, N.V. Kharchenko, S. Roser, et al.)* Astron. Astrophys. **445**, 545 (2006).
7. *Харченко и др. (N.V. Kharchenko, R.-D. Scholz, A.E. Piskunov, et al.)* Astron Nachr. **328** (2007).
8. *Жиллессен и др. (S. Gillessen, F. Eisenhauer, S. Trippe, et al.)* astro-ph/0810.4674 (2008).
9. *Гез и др. (A.M. Ghez, S. Salim, N.N. Weinberg et al.)* astro-ph/0808.2870 (2008).
10. *Никифоров И.И. (I. Nikiforov)* astro-ph/0803.0825 (2008).
11. *Бобылев и др. (Бобылев В.В., Байкова А.Т., Лебедева С.В.)*, Письма в Астрон. журн. **33**, 809 (2006).

THE ESTIMATION OF K-EFFECT ON THE DATA OF RADIAL VELOCITIES OF OPEN STAR CLUSTERS

Stepanishchev A.S.

Summary

On the data of radial velocities of 381 open star clusters (OSC) the non-zero parameter of the contraction (-6.32 ± 1.42 km/s/kpc) is obtained for the system of OSC with ages about 100 Myr, located in solar vicinity of several kpc. More younger and older clusters don't show statistically significant expansion or contraction.

ВЛИЯНИЕ ОШИБОК ЗНАЧЕНИЯ БАЗИСА И ИЗМЕРЕНИЙ УГЛОВ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЙ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

Толчельникова С.А.

Обсуждение астрономической программы проекта «Стереоскоп», предполагающего создание орбитальной стереоскопической обсерватории (ОСО) путем запуска идентичных инструментов в либрационные точки L_4 и L_5 на орбите Земли, необходимо как для определения первоочередных задач проекта, так и инструментального оснащения, затребованного для их решения. Задачи проекта обсуждаются в [1-5]. Поскольку постановка задач фундаментальной астрометрии требует априорной оценки точности тех неизвестных, для определения которых проводятся наблюдения, предпринято исследование с целью выяснения

- 1. зависимости точности искомых расстояний в Солнечной системе от двух параметров: ошибки значения астрономической единицы и ошибки угловых измерений;*
- 2. потери в **точности** определения расстояний, связанной с переходом с диаметра орбиты Земли на хорду L_4L_5 ;*
- 3. определения области Солнечной системы, наиболее выгодной для определения расстояний с ОСО.*

Введение

В статьях М.С. Чубея с соавторами [1-4] и других активно обсуждается проект “Стереоскоп”: запуск астрономических инструментов в точки Лагранжа L_4 , L_5 на орбите Земли, где предполагается установить два телескопа, образующих единую орбитальную стереоскопическую обсерваторию (**ОСО**), *предназначаемую для изучения процессов на Солнце, определения расстояний до тел Солнечной системы и до ближайших звезд.*

Для зарубежных космических проектов как уже осуществленных, так и планируемых, характерно стремление к достижению максимальной точности измерений угловых расстояний между проекциями звезд. Главной целью проекта HIPPARCOS было определение звездных параллаксов вплоть до 500-1000 парсек, чтобы в этой области, по словам создателей проекта, “стала возможной трехмерная астрометрия”, т.е. переход от движений проекций к пространственным движениям звезд.

Успехи техники привели к тому, что в настоящее время считается возможным превзойти точность измерений HIPPARCOS ($\varepsilon \approx 1''-2'' \cdot 10^{-3}$) на два порядка, достигнув ошибки $\varepsilon \approx 10-20 \mu\text{as}$. С такой точностью создатели проекта GAIA планируют определить параллаксы 10^9 звезд по наблюдениям с космической обсерватории, запускаемой в точку Лагранжа L_2 .

Очевидно, при достижении точности угловых измерений, планируемых в проекте GAIA, параллактические смещения будут обнаружены у значительно большего числа звезд, чем прежде. Вопрос о том, насколько при этом уменьшатся **ошибки расстояний, выраженных в линейной мере**, заслуживает специального исследования. В этой статье мы исследуем влияние ошибок двух параметров на точность искомых расстояний в пределах Солнечной системы, что представляет интерес как для наблюдений с Земли или ее спутников, так и для проекта «Стереоскоп», в частности для инструментального оснащения ОСО, необходимого для решения тех задач, которые будут выбраны в качестве первоочередных.

I. Формула для оценки ошибок расстояний, определяемых по значениям параллаксов

Можно сказать, что наибольший прогресс в точности определения космических расстояний достигнут благодаря Копернику — поскольку базис земной орбиты на пять порядков больше диаметра Земли, появились условия для измерений углов на пять порядков меньше прежних. Если использовать для наблюдений орбиту Юпитера, то при той же ошибке угловых измерений можно было бы обнаружить параллактические смещения только в 5 раз меньше современных, а при наблюдениях с орбиты Плутона — примерно в 40 раз меньше доступных из наблюдений с земной орбиты.

Редукция наблюдений и условия, необходимые для решения двух задач — определение расстояний по параллактическим наблюдениям звезд и тел Солнечной системы — существенно различаются.

При определении расстояний до звезд нет необходимости различать расстояния Солнце – звезда от расстояний Земля – звезда. Действительно, диаметр орбиты Земли, $2a$, ($3 \cdot 10^8 \text{ км} \approx 2a.e.$) является бесконечно малым по сравнению с расстоянием R даже до ближайшей из звезд ($4 \cdot 10^{13} \text{ км} \approx 268144 a.e.$). Эти расстояния отличаются на 5 порядков. Звездные параллаксы $\pi < 0.77''$, поэтому в выражении, связывающем их параллаксы с расстояниями, $\sin \pi = a/R$, допускается замена $\sin \pi$ на π , которая приводит к известной приближенной формуле

$$\pi'' = 206265 a/R, \quad (1)$$

Заменяя знаменатель в формуле (1) на $R + a$ (или $R - a$), мы получим значение параллакса, которое даже для ближайшей звезды отличается от вычисленного по формуле (1) всего на 0.0004%. На расстояниях Нептуна и Плутона пренебрежение радиусом земной орбиты привело бы к ошибкам определения параллакса, составляющим примерно 3% от искомой величины, и чем ближе светило к Земле, тем больше была бы ошибка.

Отсюда очевидно, что при выводе звездных расстояний по параллактическим измерениям с ОСО достаточно принять одно постоянное значение хорды L_4L_5 , равное $a\sqrt{3}$, где a есть радиус земной орбиты, но при определении расстояний в пределах Солнечной системы необходимо **как можно точнее учитывать изменения базиса** из-за эллиптичности земной орбиты, возмущений, колебаний инструментов, установленных в точках Лагранжа, и других причин.

В определениях наземных и со спутников Земли базисом служит диаметр ее орбиты — наблюдения *звездных* параллаксов проводятся вблизи меридиана места в темное время суток, что возможно весной и осенью вблизи утренних и вечерних часов. С базы ОСО “Стереоскоп” наблюдения параллактических смещений можно вести непрерывно. Оптимальными направлениями для проведения наблюдений с ОСО “Стереоскоп” являются те, которые близки или совпадают с направлением Земля-Солнце [2].

Целью нашего исследования является сравнение того влияния, которое оказывают на ошибку искомых расстояний ошибки измерений углов и ошибки базиса, а также выяснить, существенно ли влияет на ошибку расстояния уменьшение базиса ОСО “Стереоскоп” по сравнению с базисом, равным диаметру земной орбиты.

На основе приближенной формулы (1) нельзя перейти к выражению для оценки *ошибок* выводимых расстояний. Чтобы оценить зависимость этих ошибок от ошибок двух параметров, измеряемого угла и значения базиса, нам достаточно формулы

$$R = b \cdot \operatorname{ctg} \frac{\rho}{2}. \quad (2)$$

Здесь предполагается, что базис ОСО перпендикулярен направлению от его центра до объекта наблюдений, что является приближением, достаточным для оценки искомых

ошибок. Через p обозначен измеряемый угол, b – половина базиса, с которого производятся наблюдения. При наблюдениях с Земли $b = a$. Ошибка измерений, по которым определяют углы p , зависит, в первую очередь, от разрешающей способности используемых телескопов.

Используя формулу (2) для вывода частных производных, получаем

$$\frac{\partial R}{\partial b} = \operatorname{ctg} \frac{p}{2} \quad \text{и} \quad \frac{\partial R}{\partial p} = \frac{1}{2} b \cos ec^2 \frac{p}{2} \quad (3)$$

и приходим к следующему выражению для ошибок расстояний:

$$\sigma^2_R = \operatorname{ctg}^2 \frac{p}{2} \cdot \sigma^2_b + \frac{1}{4} b^2 \cos ec^4 \frac{p}{2} \cdot \sigma^2_p. \quad (4)$$

II. Оценка влияния двух ошибок на точность определения расстояний с диаметра орбиты Земли и с базиса ОСО

В статье [5] рассмотрены особенности звездных параллаксов, определяемых абсолютным и относительным методами, и отмечено, что в современных наземных наблюдениях применяется только относительный (или дифференциальный метод), поскольку он точнее.

В орбитальных условиях использование абсолютного метода для определения расстояний потребовало бы измерений углов, примыкающих к базису ОСО, следовательно, визирования аппаратуры, установленной в точке L_5 из точки L_4 и L_4 – из L_5 . Такие измерения пока технически неосуществимы, и в проекте Стереоскоп предполагается использовать дифференциальный метод, когда измеряемыми на фоне далеких звезд являются углы p , противоположные базису.

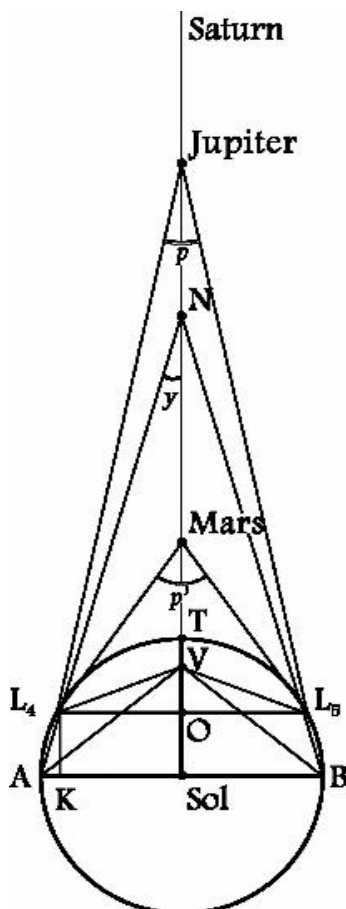


Рис. 1.

На Рис. 1 представлена схема наблюдений, производимых в то время, когда планета (или иное тело Солнечной системы) находится на большом круге, проходящем через прямую, соединяющую центры Земли и Солнца и ортогонального орбите Земли. Через T обозначена Земля, через V – Венера. Назовем этот круг меридианом Земли, для землян он близок к меридиану Солнца. Поскольку центр эллиптической орбиты Земли находится примерно на том же расстоянии от середины базиса, точки O , что и Земля, для оценки ошибок мы можем принять расстояния до наблюдаемых объектов меньшими на $0.5a$, чем расстояние Солнце – объект наблюдений. То, что Солнце находится не в центре, а в одном из фокусов эллиптической орбиты, для априорной оценки ошибок не имеет значения, хотя не только это, но и множество других обстоятельств, придется учитывать при обработке наблюдений с ОСО.

При оценке ошибок наблюдений необходимо учесть, что в случае определения звездных расстояний “снимки”, получаемые с телескопов, установленных в точках L_4 и L_5 , имеют общие звезды, используемые в качестве опорных. Возможность одновременных наблюдений транспланетных тел Солнечной системы на фоне одних и тех же звезд зависит от размеров рабочего поля телескопов.

Большая часть объектов Солнечной системы будет одновременно наблюдаемой из точек L_4 и L_5 на фоне разных звездных полей. Наблюдения, которые не будут одновременными, но позволят наблюдать планету на фоне одного и того же звездного поля, также представляют интерес. Разные варианты наблюдений рассматривались в статьях Чубея [2, 4].

Поскольку современные определения параллаксов, которые считаются наиболее точными, производились с запускаемых спутников, мы сравним ошибки расстояний, определяемых с диаметра земной орбиты и с хорды L_4L_5 . Результаты представлены в Таблицах 1 и 2.

Для вычисления ошибок расстояний перейдем от дифференциалов (3) к приращением

$$\Delta R_b = ctg \frac{p}{2} \Delta b \quad \text{и} \quad \Delta R_p = \frac{1}{2} b \cdot \operatorname{cosec}^2 \frac{p}{2} \Delta p$$

и примем для значений ошибок: $\sigma_p = \Delta p = 0.01''$, $\sigma_a = \Delta a = 1500$ км.

Исходя из принятого значения Δa и соотношения $b = \frac{a\sqrt{3}}{2}$, получаем $\sigma_b = 1299$ км.

Таблица 1.

Ошибки определения расстояний с базиса $2a$

R_O в а.е.	ΔR_a в км	ΔR_p в км	σ_R в км
	-	-	-
1	1500	7.50	1500
2	3000	18.75	3000
4	6000	63.75	6000
5	7500	97.50	7500
10	$15 \cdot 10^3$	378.7	$15 \cdot 10^3$
20	$30 \cdot 10^3$	1504.7	$30 \cdot 10^3$
40	$60 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$
80	$120 \cdot 10^3$	$24 \cdot 10^3$	$122 \cdot 10^3$
160	$240 \cdot 10^3$	$96 \cdot 10^3$	$258 \cdot 10^3$

Таблица 2.

Ошибки определения расстояний с базиса $2b$

R_C в а.е.	ΔR_b в км	$\Delta R_{p'}$ в км	σ_R в км
0.25	375	3.52	375.0
0.5	750	4.33	750.0
1.5	2250	12.99	2250.1
3.5	5250	56.29	5250.3
4.5	6750	90.94	6751.
9.5	$14,3 \cdot 10^3$	394.0	$14,3 \cdot 10^3$
19.5	$29,3 \cdot 10^3$	1649,8	$29,3 \cdot 10^3$
39.5	$59,2 \cdot 10^3$	$6,8 \cdot 10^3$	$59,6 \cdot 10^3$
79.5	$120 \cdot 10^3$	$27 \cdot 10^3$	$123 \cdot 10^3$
159.5	$240 \cdot 10^3$	$111 \cdot 10^3$	$264 \cdot 10^3$

Здесь мы исследуем влияние ошибок среднего значения половины базисов a и b . Изменения базисов, например, из-за эллиптичности орбиты, возмущающего влияния планет, колебания точек Лагранжа, как уже упоминалось, необходимо учитывать при редукации наблюдений тел Солнечной системы, и только после проведения всего цикла наблюдений их можно будет уточнить.

Для заполнения Таблицы 2 требовалось также вычислить углы p' , отличающиеся от углов p , измеряемых с диаметра орбиты. На рис.2 видно, что на расстояниях от Солнца, превышающих SN, значения углов p' , при измерениях с хорды ОСО меньше углов p , измеряемых с разных концов диаметра земной орбиты, $p' < p$; а на расстояниях, меньших SN, $p' > p$. Нетрудно определить то расстояние, на котором $p = p' = 2\gamma$, исходя из данных: $OS = a/2$, $AS = a$, $LO = b = \frac{a\sqrt{3}}{2} = 0.86602a$.

Из подобия треугольников ALK и ANS следует
 $AK/AS = LK/SN$,
 откуда для расстояния точки N от Солнца получается
 $SN = 3.7313 \text{ а.е.}$

Точка N (см. Рис. 1) расположена между орбитами Юпитера и Марса, где движутся малые тела, уточнение орбит которых представляет интерес для астрономии. Значения параллактических смещений, определяемых с хорды ОСО, для тел, оказавшихся в точке N, интересно было бы сравнить с наземными измерениями годичных параллаксов этих тел.

В Таблицах через R_0 обозначены выраженные в астрономических единицах расстояния от Солнца до тел, наблюдаемых в меридиане Земли, через R_c — расстояния тех же тел от точки O на рис. 1. Как видно из двух таблиц, на близких от Солнца расстояниях доминирующую роль при наблюдениях с обоих базисов играет ошибка определения значения $a.e.$, с увеличением расстояний разрыв во влиянии двух аргументов уменьшается, но вплоть до расстояния $40 a.e.$ значения ΔR_a и ΔR_b остаются на порядок больше ΔR_p . Поскольку с увеличением дальности, ошибки, зависящие от точности измерения угловых расстояний, растут быстрее примерно в 2 раза, на расстоянии $320 a.e.$ (за пределами Солнечной системы), значения ΔR_a (ΔR_b) и ΔR_p ($\Delta R_p'$) становятся примерно одинаковыми, затем доминирующим становится влияние ошибки измерения угловых расстояний.

При увеличении точности угловых измерений до $0.001''$ значения ΔR_p и $\Delta R_p'$ уменьшатся на порядок, но это практически не отразится на точности определения расстояний вплоть до орбиты Плутона. **Следовательно, если задачей является уточнение шкалы расстояний в Солнечной системе, то, прежде всего, нужно позаботиться об уменьшении ошибки значения базисов.**

Представленные в Таблицах данные относятся к единичным измерениям. Их сравнение свидетельствует о существенном преимуществе ОСО для определения расстояний до близких объектов вплоть до орбиты Юпитера. На расстоянии Плутона ошибки, представленные в двух таблицах, примерно одинаковы. До малых тел Солнечной системы, еще более удаленных, ошибки с базиса ОСО несколько больше, чем с орбиты Земли, но преимущество наблюдений с ОСО в систематическом отношении сохранится, благодаря возможности *одновременных* наблюдений с обоих концов базиса на фоне одних и тех же звезд.

III. О наблюдениях, необходимых для уточнения астрономической единицы и искомым расстояний

Мы рассмотрели выше ошибку расстояний объектов наблюдений до точки O, но эти расстояния, также как и расстояния до точек Лагранжа, имеют вспомогательное значение, могут рассматриваться только как этап решения задачи – вывода *расстояний от светила до Солнца и от светила до центра эллипса, по которому движется центр тяжести системы Земля – Луна.*

В работах [2-4] рассматривается метод наблюдений в меридиане как один из оптимальных, а также отмечена необходимость систематических наблюдений Земли с ОСО и периодических проведенных с Земли сеансов радиолокации обсерваторий, установленных в точках L_4 , и L_5 , что обеспечит ошибку расстояния до них не превосходящую 300м.

Систематические проведения с Земли упомянутых сеансов радиолокации (измерения путевого времени сигналов и разностей частот) позволяют измерить две стороны в треугольнике L_4TL_5 . Это, вместе с постоянными наблюдениями Земли для определения ее параллактического смещения на фоне звезд, обеспечивает возможность независимого от эфемерид решения треугольников L_4TL_5 , т.е. определения всех сторон и углов, а также высот, медиан, биссектрис углов и площадей, что позволит определять углы при точке O. Вместе с Землей необходимо наблюдать также Луну для перехода к центру тяжести системы Земля-Луна, который движется по эллипсу.

Процедуру определения углов при точке O можно сравнить с приведением на меридиан. Роль Земли (с Луной) становится аналогичной роли миры в известных нам земных наблюдениях, предназначенной для “редукции на меридиан” наблюдений других тел Солнечной системы. Их расстояния от Солнца будут найдены после завершения всего цикла наблюдений и уточнения значения $a.e.$

Решение последней задачи требует такого перехода от точки O к центру эллипса и/или Солнца, который минимизировал бы потери в точности измерений. При этом малые поправочные члены, хорошо известные в современной небесной механике (уточняемые также по наблюдениям изменений частот сигналов при радиолокационных наблюдениях), естественно, будут учитываться, но элементы эллипса, по которому движется центр тяжести системы Земля – Луна, должны быть определены независимо от эфемерид. Меньше, чем за год наблюдений, такая задача принципиально не разрешима, планируются шестилетние наблюдения. Хотя эта тема выходит за рамки нашей статьи, упомянем о возможных путях ее решения.

Точка O является серединой хорды L_4L_5 , и в общем случае медианы и высоты в треугольниках L_4TL_5 не совпадают. Для уточнения значения $a.e.$ необходимо использовать известные геометрических свойств эллипса. Например, связь середин хорд с диаметрами, параллельными им и сопряженными, открывает возможность определения положения центра искомого эллипса, уточнения его осей, эксцентриситета, следовательно, и положений фокусов, в одном из которых находится Солнце.

С другой стороны, определения времени наблюдений Земли и Луны позволят использовать закон площадей Кеплера для перехода к их расстояниям от Солнца. Такую возможность необходимо исследовать, как и использование закономерностей, которые выведены в книге А.П.Макеева [6].

При использовании ОСО, благодаря замене наблюдений Солнца наблюдениями Земли, успешно преодолеваются трудности определения астрономической единицы по наблюдениям Солнца (наземным и околоземным), связанные с разностью яркости звезд и Солнца и с его тепловым влиянием на инструмент. В результате уточнения значения $a.e.$ появится возможность существенно уточнить шкалу расстояний в Солнечной системе не только по наблюдениям ОСО Стереоскоп, но и всем другим наблюдениям, как из космоса, так и наземным, включая и лазерные наблюдения других планет.

Поскольку из точек L_4 и L_5 одновременные наблюдения близких тел на фоне одних и тех же звездных полей невозможны, придется использовать разные опорные звезды для измерений углов p' . В этом случае можно избежать потерь в точности углов p' , если разности координат звезд разных полей на момент наблюдения известны с точностью, превышающей точность измерений, например, с ошибкой $0.002''$, что достижимо при использовании результатов, полученных по точнейшим угловым измерениям с запускаемых спутников Земли, или телескопа GAIA.

Мы рассмотрели здесь возможности уточнения астрономической единицы и планетных расстояний, выраженных в путевом времени света, дополняя наблюдения с ОСО только упомянутыми радиолокационными, без одновременного проведения иных наблюдений с Земли, что открыло бы дополнительные возможности.

Замечание о терминологии

Поскольку в статье рассматривается только относительный способ определения параллаксов, который обеспечивает минимальную космическую ошибку при использовании далеких звезд в качестве опорных, тогда как параллаксы в проекте GAIA (как и HIPPARCOS), предполагается определять абсолютным способом, добавим несколько слов о классификации методов.

Здесь, как и ранее, например, в статье [5], мы придерживались той классификации параллаксов, которая сложилась еще в XIX веке. Абсолютные и относительные параллаксы различаются методами наблюдений, приводящими к систематическим разностям, которые принято называть “космической ошибкой”. Методическое различие абсолютных и относительных определений параллаксов и собственных движений звезд заключается в использовании разных опорных направлений. **Название** метода определения показывает, какие направления используются в качестве опорных, разделение результатов на лучшие и худшие не подразумевается. Признается самостоятельная ценность каждого метода, поскольку ни один из них не является универсальным — в конкретном исследовании могут потребоваться результаты только одного из них, либо результаты обоих [5].

Иная “концепция абсолютных тригонометрических параллактических измерений” предложена в статье В.В. Макарова [7]. Абсолютными предложено называть звездные параллаксы, “если ожидаемая ошибка нуля-пункта (случайная или систематическая), также и другие крупномасштабные искажения, по величине на порядки меньше, чем случайная ошибка для любой данной звезды” (“if expected error (accidental or systematic) of the zero-point, as well as other large-scale distortions are orders of magnitude smaller than the random error for a given star” [7], с.309). Опираясь на свое определение, Макаров утверждает, что параллаксы HIPPARCOS являются абсолютными, а в будущих астрометрических миссиях должна быть достигнута “еще большая абсолютность параллаксов” (“even higher absoluteness of parallaxes”).

Макаров исходит из того, что для определения *координат* звезд постоянный нуль-пункт имеет первостепенное значение, но забывает то, что хорошо известно: относительный способ определения параллаксов не требует привязки к постоянному нуль-пункту, имеет значение лишь точность измерений углов между определяемой и опорными звездами, в качестве последних выбираются как можно более далекие от Земли.

Дело даже не в том, что на любом европейском языке деление на “более абсолютное и менее абсолютное” безграмотно с этимологической точки зрения, а в том, что нет необходимости в новом эпитете для того, что уже математически точно (количественно) описывается ошибками результатов (случайными, зонными, систематическими). Сведения об ошибках, различных в каждую историческую эпоху, позволяют судить о точности, но во избежание путаницы сохраняется **необходимость указания на опорные направления, которые используются при наблюдениях**, что со временем позволит уточнить, так называемую, космическую ошибку ([5], с. 281).

Заключение

Проведенное исследование приводит к выводу о том, что уточнение значения астрономической единицы имеет большее значение для точности определения расстояний до тел Солнечной системы, чем постановка рекорда в точности измерений угловых расстояний. Мы полагаем, что при периодических радиолокационных измерениях с Земли обсерваторий в точках L_4 и L_5 на основе наблюдений с ОСО Стереоскоп даже при использовании сравнительно легких телескопов, обеспечивающих ошибку измерений угловых расстояний не более $0.01''$, точность значения *a.e.* может быть повышена не менее, чем на два порядка по сравнению с ныне достигнутой.

Подтверждается также преимущество определения расстояний с ОСО до планет, особенно до Венеры, Марса, пояса астероидов, за Марсом и приближающихся к Земле, по сравнению с земными и околоземными. Преимущество заметно, несмотря на то, что мы не учитывали увеличение ошибки, связанное с не одновременностью последних наблюдений.

Астрономическая единица входит в число фундаментальных постоянных астрономии, ее уточнение необходимо для многих отраслей этой науки.

Для звезд влияние на ошибку определения расстояний, выраженных в парсеках, оказывает ошибка измерений углов. Для *обнаружения* их параллаксos существенной остается величина базиса при заданной точности угловых измерений; ошибки принятого значения *a.e.* не обсуждаются, полугодовая разница между наблюдениями позволяет избежать больших ошибок. Отсюда понятно, что одновременность наблюдений с двух концов базиса при определениях расстояний играет существенно меньшую роль для звезд, чем для планет.

С эпохи использования телескопов в астрономии за каждым уменьшением ошибки угловых измерений на небесной сфере неуклонно следовало увеличение числа звезд с найденными значениями параллаксos. Современные астрономы – создатели космических проектов, продолжают направлять свои усилия на повышение точности измерения углов. Звездные параллаксы определяются не только для изучения строения Галактики или Местной системы, но также для использования звезд в качестве опорных точек при позиционных наблюдениях с целью уточнения движений проекций планет, вращений планет и их спутников, а также движения проекций более близких звезд. Для решения таких задач необходимо как можно точнее знать угловые расстояния между *проекциями* далеких звезд на момент наблюдений, и стремление к достижению предельно возможной точности измерений углов между большим числом звезд является оправданным.

Наиболее перспективным, с этой точки зрения, считается уже упомянутый проект GAIA. Телескопы GAIA предполагается запустить в 2011 г. из Французской Гвианы с помощью ракеты «Союз», подлёт в точку L_2 (расстояние от Земли $1.5 \cdot 10^6$ км) займет один месяц. Результаты этого проекта предполагается обнародовать в 2020г. Они интересны для рассматриваемой нами задачи, поскольку создают возможность использования координат звезд, им определенных, в качестве опорных для измерений более близких расстояний. Не менее важно и то, что проект позволит судить о стабильности колебаний одной из точек либрации (L_2) на основании опыта, а не только по расчетам небесных механиков.

Заметим в заключение, что мы не оспариваем ценности определения параллаксos близких звезд с ОСО «Стереоскоп», поскольку предполагается использовать относительный метод их определения, существенно отличающийся от методики HIPPARCOS и планируемой для GAIA.

Задача уточнения расстояний в Солнечной системе является в методическом плане более сложной, чем определения расстояний до звезд — она имеет значительно бóльшую наблюдательную историю и требует дополнительных исследований – сравнения ошибок разных методов уточнения *a.e.* Что же касается современных проектов, нацеленных на уточнение угловых расстояний по наблюдениям со спутников Земли или из точки L_2 , то **они не могут конкурировать с проектом Стереоскоп в уточнении шкалы расстояний до тел Солнечной системы.**

Когда проекты являются специализированными, появляется возможность обмена результатами, реальная почва для международного сотрудничества.

Автор выражает благодарность М.С. Чубею за обсуждение статьи и полезные замечания, М.С. Чубею и К.С. Павловскому – за техническую помощь при оформлении статьи.

Литература

1. Чубей М.С. Решение задач позиционной астрономии с помощью орбитальных средств наблюдений. Диссертация на соискание степени кандидата физ.-мат. наук. ГАО РАН, 2000, СПб, библиотека ГАО, 147 с.

2. Чубей М.С. К вопросу о применении метода стереоскопических измерений в пределах Солнечной системы. Сб.: Околосолнечная астрономия XXI век, 2001, М., ГЕОС, с.415-424.
3. Григорьев В.И., Папушев П.Г., Чупраков С.А., Чубей М.С., Кулагин Е.С., Ерошкин Г.И., Львов В.Н., Толчельникова С.А., Ягудин Л.И. Межпланетная солнечная стереоскопическая обсерватория. — Оптический журнал, 2006, т.73, N 4, с.43-48.
4. Chubey M.S. Estimation of the Triangulation Measurement Accuracy in the Project the “Interplanetary Solar Spectroscopic Observatory” — В: Journal of Physical Studies, 2002, v.6, p.404-407.
5. Толчельникова С.А. К вопросу о методике определения звездных параллаксов в проекте «Стереоскоп А» — Изв. ГАО, 2002, N 216, с.278-284.
6. Маркеев А.П. Точки либрации в небесной механике и космодинамике. М., Наука, 1978, 312 с.
7. Makarov V.V. Absolute measurements of trigonometric parallaxes with astrometric satellites — Astron. & Astrophys, 1998, **340**, p.309-314.

THE DEPENDENCE OF THE ACCURACY OF DISTANCES DETERMINATION IN THE SOLAR SYSTEM OBSERVED WITH SPACE STEREO SCOPIC OBSERVATORY, ON THE ERRORS OF BASE AND ANGULAR MEASUREMENTS

Tolchel'nikova S.A.

Summary

The aim of “Stereoscope” mission is to obtain simultaneous observations from two identical spacecrafts set in the vicinity of libration points L_4 and L_5 . The main tasks and instrumental equipment of the Orbital Stereoscopic Observatory (OSO) Stereoscope are under discussion in [1-5].

The results are presented of a priori estimation of the errors of distances up to the borders of the Solar system, which show:

(i) The influence of the error of astronomical unit (a.u.) on the error of distances prevails over that of angular measurements. However there are several possibilities to derive the independent value of a.u. from the whole circle of OSO observations one or two orders more accurate than the modern value.

(ii) Within the frame of the Solar system distances, there is no increase in the errors of distances due to decrease of the base L_4L_5 as compared with the diameter of Earth's orbit.

(iii) The gain in precision and accuracy of OSO observations over those from the Earth's satellites is most significant for the region near the Earth — from Venus up to Jupiter.

БАЗА ДАННЫХ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАСТИНОК ПУЛКОВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Хруцкая Е.В., Калинин С.И., Канаева Н.Г.

Дается описание базы данных, содержащей информацию о фотографических пластинках, полученных в Пулковской обсерватории и ее экспедициях с 1893 г. Имеющиеся фотопластинки содержат изображения различных небесных объектов: звезд, туманностей, скоплений, больших и малых тел Солнечной системы. Спроектированная база данных позволяет выяснить наличие в стеклотеке пластинок со снимками интересующих объектов в те или иные эпохи. База доступна по адресу: <http://www.puldb.ru/db/plates>.

В настоящее время в астрономических учреждениях всего мира накоплен громадный материал фотографических наблюдений, выполненных в XIX и XX веках. Материал хранится в виде архивов фотографических пластинок (стеклотеки обсерваторий). Такие стеклотеки имеются в Парижской обсерватории, обсерватории Бонна, Вашингтонской Морской обсерватории, в Государственном астрономическом институте им. П.К. Штернберга (ГАИШ), Главной (Пулковской) астрономической обсерватории Российской академии наук и в ряде других астрономических учреждений. Интерес к этому наблюдательному материалу значительно возрос в последнее десятилетие в связи с тем, что для решения ряда научных задач необходим наблюдательный материал, полученный на больших интервалах времени (порядка 30-40 и более лет). Среди таких задач – получение новых высокоточных собственных движений звезд, уточнение параметров связи динамической и звездной систем координат, дальнейшее усовершенствование теорий движения тел Солнечной системы. Для использования старого наблюдательного материала в современных исследованиях имеется и ряд позитивных предпосылок, а именно: наличие высокоточных измерительных машин и современные звездные каталоги с большой плотностью звезд. Это позволяет произвести оцифровку старых фотографических пластинок и повторную редукцию наблюдений, что не только сохранит полученный материал, но и улучшит точностные характеристики результатов обработки.

Особый интерес представляют собой фотографические пластинки, содержащие изображения тел Солнечной системы: больших планет и их естественных спутников, избранных астероидов и комет. Эти фотопластинки были получены в разные периоды времени, измерены на измерительных приборах, имеющих разную точность, обработаны с привлечением опорных звезд из различных астрометрических каталогов (Йельские каталоги, SAO, AGK3, PPM, Hipparcos, Tycho-2, USNO, UCAC2). Поэтому задача высокоточной оцифровки таких фотографических пластинок и их повторной редукции в современной опорной системе ICRF весьма актуальна. Такой материал вместе с современными ПЗС-наблюдениями тел Солнечной системы может использоваться при решении многих актуальных задач современной астрометрии и небесной механики.

Не меньший интерес представляют и фотопластинки, содержащие изображения звездных полей (пластинки с областями Каптейна, со звездами в окрестностях галактик и звездами вокруг внегалактических радиоисточников). Оцифровка и повторная редукция этого наблюдательного материала способна обеспечить надежные первые эпохи для вывода собственных движений звезд.

Сотрудниками пулковской стеклотеки под руководством Н.Г. Канаевой была проделана большая работа по сохранению и каталогизации имеющихся фотопластинок. Пользуясь журналами наблюдений, данные о пластинках, поступающих в стеклотеку, в течение многих лет заносились на машинные носители. Таким образом, был создан

“электронный каталог” имеющихся фотопластинок, управление которым под операционной системой DOS было разработано С.Д. Цекмейстер. Система управления созданным каталогом была рассчитана на его использование на локальном компьютере и не обеспечивала доступ к информации широкому кругу пользователей. Учитывая интерес к материалу фотографических пластинок, для возможности оперативного получения информации была спроектирована современная база данных, представленная в этой работе.

Пулковская база данных содержит информацию о фотографических пластинках, полученных в обсерватории и ее экспедициях с 1893 года. Имеющиеся фотопластинки содержат изображения различных небесных объектов: звезд, туманностей, скоплений, больших и малых тел Солнечной системы. В настоящее время в базе содержатся данные о 16409 пластинках нормального астрографа и 21994 пластинках, полученных на 26-дюймовом рефракторе. База продолжает дополняться информацией о фотопластинках по мере их поступления в стеклотехнику.

На рис. 1 показана web-форма базы, позволяющая получить информацию о пластинках с объектами, интересующими пользователя.

Pulkovo Photographic Plate Database

To find a certain plate, type its number, choose instrument and click button FIND

Instrument: Plate number:

To find plates with a certain object, fill one or more of fields below, choose instrument and click button FIND

Instrument:

Plate numbers between and

Year between and

Text to find: and and

Text to find: or or

Plates with minor planet number:

Maximum number of lines to show:

[Description](#) [Main Page](#)

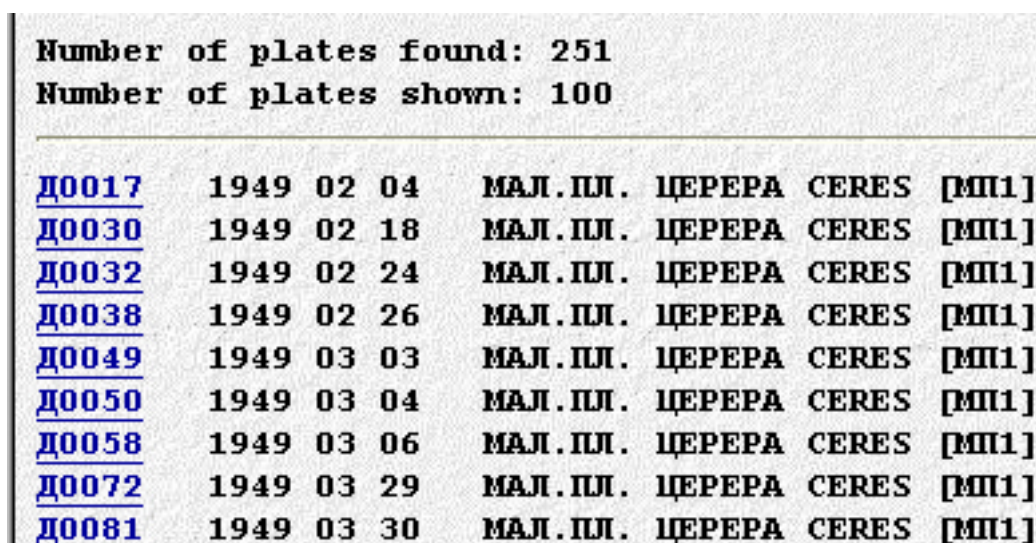
Рис. 1. Web-форма для выбора пластинок с заданным объектом.

Web-форма дает возможность выполнять выборку в двух вариантах: по номеру пластинки или по названию объекта.

1. Если пользователя интересует конкретная пластинка, номер которой известен, для получения информации по этой пластинке нужно выбрать инструмент, набрать номер пластинки в поле "Plate number" и нажать клавишу "FIND" в верхнем поле web-формы. Все данные по пластинке отобразятся на экране.
2. Если необходимо получить информацию обо всех пластинках какого-либо объекта, либо о пластинках, полученных в определенные годы, или если не известны номера пластинок с интересующим объектом, следует воспользоваться второй схемой для поиска. Вторая схема (рис. 1) содержит следующие поля:
 - **Instrument** – позволяет выбрать инструмент
 - **Plate numbers between** – позволяет выбрать номера пластинок в указанном диапазоне.
 - **Years between** – позволяет выбрать пластинки, полученные в указанном интервале времени (в годах).

- **Text to find** – позволяет выбрать объект по имени (например, Юпитер, saturn, ceres и т.п.). Все три поля относятся к одному объекту. Для связи между полями предусмотрены две логические схемы: “и”(and) и ”или” (or).
- **Plates with minor planet number** – позволяет выбирать нумерованные малые планеты по их номеру.
- **Maximum number of lines to show** – указывает, сколько пластинок будет выведено на экран (по умолчанию 100). Если надо вывести все пластинки – поле следует оставлять пустым.

При нажатии на клавишу "FIND", на экран будет выдан список номеров выбранных пластинок. Фрагмент такого списка можно видеть на рис. 2. Вверху экрана указывается, сколько пластинок выбираемого объекта имеется в стеклотекке и сколько отображено на экране.



Number of plates found: 251						
Number of plates shown: 100						
D0017	1949 02 04	МАЛ. ПЛ.	ЦЕРЕРА	CERES	[МП1]	
D0030	1949 02 18	МАЛ. ПЛ.	ЦЕРЕРА	CERES	[МП1]	
D0032	1949 02 24	МАЛ. ПЛ.	ЦЕРЕРА	CERES	[МП1]	
D0038	1949 02 26	МАЛ. ПЛ.	ЦЕРЕРА	CERES	[МП1]	
D0049	1949 03 03	МАЛ. ПЛ.	ЦЕРЕРА	CERES	[МП1]	
D0050	1949 03 04	МАЛ. ПЛ.	ЦЕРЕРА	CERES	[МП1]	
D0058	1949 03 06	МАЛ. ПЛ.	ЦЕРЕРА	CERES	[МП1]	
D0072	1949 03 29	МАЛ. ПЛ.	ЦЕРЕРА	CERES	[МП1]	
D0081	1949 03 30	МАЛ. ПЛ.	ЦЕРЕРА	CERES	[МП1]	

Рис. 2. Фрагмент списка фотопластинок с малой планетой Ceres.

Далее по гиперссылке можно посмотреть информацию по любой пластинке с выбранным объектом (рис. 3). По каждой пластинке приводятся следующие данные:

- **Instrument** – “НАП” – пулковский нормальный астрограф, “НАТ” – нормальный астрограф ташкентской обсерватории, “26” – 26-дюймовый рефрактор.
- **Plate number** – номер пластинки.
- **Object** – имя объекта.
- **Date** – дата наблюдения.
- **RA, RAJ2000, DEC, DECJ2000** – средние координаты (прямое восхождение и склонение) на год наблюдения и те же данные на J2000.
- **Time** – моменты начала и конца каждой экспозиции.
- **u** – поправка часов.
- **Number of exp, Exp.** – количество экспозиций и их предполагаемое время. Если информация из базы данных используется в программах обработки наблюдений, следует использовать моменты времени, указанные в **Time**.
- **Size** – размер фотопластинки в мм.
- **Emulsion, Filter, Phot. system** – эмульсия, используемый фильтр и фотометрическая система. Для нормального астрографа **I** – обозначает инструментальную систему, которая близка к фотометрической системе **B**.
- **T, B, Focus** – температура, давление и фокус инструмента в момент наблюдения.
- **Comment** – комментарии.

- **Observer** – наблюдатель.
- **Condition** – состояние пластинки.
- **Location** – местонахождение пластинки в стеклотеке ГАО.
- **Measured** – измеритель.
- **Last edited** – дата последнего редактирования данных пластинки.

```
VIEW DATA: Record number 51385

FITS Close this window

Instrument: НАП
Plate number: Д0803
Object: МАЛ.ПЛ. ЦЕРЕРА CERES [M11]
Date: 1953 01 24

RA: 4 05 48.00
RA (J2000): 4 08 33.91
DEC: 21 17 00.0
DEC (J2000): 21 24 24.7

Time: 3 07 00.00
      3 10 30.00
      3 12 00.00
      3 15 00.00
      3 17 00.00
      3 20 00.00
u: .00
Number of exp.: 3
Exp.: ЭКСП. 3.5 МИН. , 3,3 МИН.

Size: 160*160
Emulsion: ASTRO-PLATTEN
Filter: -;-
Phot.system: I

T: -10.0
B: 745.0
Focus: 28.4

Comment:
Observer: ФАТЧИХИН
Condition: ХОРОШЕЕ
Location:
Measured:
Last edited: GAO RAN 29-12-2007 12:49:22
```

Рис. 3. Пример данных о пластинке номер Д0803 с наблюдением Ceres.

Доступ к данным осуществляется посредством скриптов, написанных на языке PHP, которые реализуют интерфейс с базой данных MySQL. Результаты выборки представляют собой текстовые файлы. Для каждой пластинки сформированы FITS-заголовки (рис. 3, FITS), которые содержат необязательные ключевые слова (комментарии) такие как RA, DEC, момент наблюдения объекта, поправка часов, метеоданные, тип эмульсии и т.п. Предполагается добавлять эти комментарии в FITS-заголовки, которые образуются при сохранении оцифрованного изображения фотопластинки в fit-формате. Наличие этих данных дает возможность оперативно выполнять редукцию оцифрованных пластинок.

В спроектированную базу данных была загружена уже имеющаяся информация о пластинках. Поскольку процесс переноса информации из журналов наблюдений на машинные носители продолжался многие годы, мы столкнулись с использованием различных кодировок текстовых файлов, которые постарались привести к единообразию. Кроме того, так как при записи наблюдений в журнал в названии объекта наблюдатели использовали как кириллицу, так и латинские буквы это же “разнообразие” сохранилось и в отперфорированных данных. Поэтому на данном этапе, для того чтобы “не потерять” часть пластинок, при выборе объекта рекомендуется заносить в поля поиска **“Text to find”** имя объекта на русском и английском языке (например, Юпитер и Jupiter), используя поля связанные логикой “или” (or).

При переносе наблюдательных данных на машинные носители изначально ставилась задача создания каталога имеющихся фотопластинок. Использование этой информации в программах обработки наблюдений в то время не предполагалось, и часть данных из наблюдательных журналов была опущена при перфорации. Это касается начала и конца каждой экспозиции, что очень важно при обработке быстро движущихся объектов, в частности, планет, их спутников и астероидов. Имеющееся поле **“Exp”** можно рассматривать лишь как “декларацию о намерениях наблюдателя”, которое не заменяет точных данных. Учитывая это, в поле **“Time”**, вместо имеющихся там в настоящее время моментов начала первой экспозиции и конца последней экспозиции, будут заноситься точные моменты начала и конца каждой экспозиции. Заполнение этого поля решено делать постепенно по мере подготовки пластинок к оцифровке.

Для удобства пользователей, описание сформированной базы данных и порядок работы приводится в разделе **“Discription”** (рис. 1). База данных пулковских фотографических пластинок доступна по адресу: <http://www.puldb.ru/db/plates>.

THE DATABASE OF THE PULKOVO PHOTOGRAPHIC PLATES

Khrutskaya E.V., Kalinin S.I., Kanaeva N.G.

Summary

The database of the Pulkovo photographic plates was constructed. This database allows to get access to information about Pulkovo photographic plates with images of different types of objects (stars, nebulosity's, clusters, major and minor bodies of Solar system), obtained from 1893. The PHP web-interface of MySQL database is being developed. The database of the Pulkovo photographic plates can have access through <http://www.puldb.ru/db/plates>.

АСТРОМЕТРИЯ МАЛЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ С ПУЛКОВСКИМ НОРМАЛЬНЫМ АСТРОГРАФОМ

Хруцкая Е.В., Ховричев М.Ю.

Анализируются наиболее характерные моменты, связанные с наблюдениями астероидов в последние десятилетия. Из опыта обработки ПЗС-наблюдений астероидов на Нормальном астрографе Пулковской обсерватории с 2005 по 2007 годы показана необходимость корректного учета систематических ошибок, присутствующих в материале наблюдений. Разработанная методика обработки позволила в два раза улучшить точность получаемых результатов (до 25 mas по внутренней сходимости). Сформулированы задачи, которые будут сохранять актуальность, по крайней мере, до получения результатов проекта GAIA. Рассмотрена целесообразность оцифровки старых фотографических пластинок с изображениями астероидов и их редукции в современной опорной системе.

К малым телам Солнечной системы традиционно относят спутники больших планет, кометы и астероиды. Последние и будут в основном рассматриваться в этой работе.

Совокупность астероидов имеет достаточно сложную структуру и, находясь в состоянии непрерывной динамической эволюции, могут хранить в себе информацию о составе первичного вещества протопланетного облака. Это объясняет интерес к этим объектам и актуальность их всесторонних исследований. В середине XX века стало очевидно, что точность наземных наблюдений малых тел Солнечной системы ($0''.1-0''.3$) явно недостаточна для многих исследований. Однако, в 70-80-х годах прошлого века в связи с внедрением в практику новых подходов и средств наблюдений ситуация стала меняться. Здесь, прежде всего, следует упомянуть использование радиолокаторов, лазерных дальномеров, радиоинтерферометров и повсеместное использование ПЗС-приемников, которые стали вытеснять фотографические пластинки. Именно ПЗС-приемники стали применять для массовых наблюдений спутников больших планет и астероидов. Если рассматривать последние 20–30 лет, то к наиболее характерным моментам в изучении астероидов можно отнести:

1. Стремительное увеличение общего числа известных астероидов. Если в 1876 г. было известно лишь 50 астероидов, а в середине XX века число нумерованных малых планет не достигало и 3000, то на июнь 2008 г. в базе данных Международного центра малых планет присутствовало 189000 нумерованных малых планет и 221670 – ненумерованных. Увеличение числа известных астероидов связано с увеличением числа наблюдений этих небесных тел, что во многом было обусловлено появлением телескопов, работающих в автоматическом режиме и повсеместным использованием ПЗС-приемников.

В последние десятилетия активизировались наблюдения астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ), а также потенциально опасных объектов (ПОО).

Вторая половина XX века ознаменовалась также открытием спутников у астероидов.

В 1992 г. был открыт первый транснептуновый объект, а к 2005 г. было открыто более 900 таких объектов.

2. Увеличение точности позиционных наблюдений астероидов. Увеличение точности происходило не столь стремительно как рост числа новых астероидов. Тем не менее, если точность фотографических наблюдений астероидов составляла $0''.1-0''.3$, то точность современных ПЗС-наблюдений лежит в пределах $0''.01-0''.1$. Именно ПЗС-наблюдения астероидов в настоящее время обеспечивают массовость, регулярность и

продолжительность наблюдательных рядов. Так, лишь для 48 астероидов получены высокоточные положения в ходе реализации проекта HIPPARCOS. Для некоторых астероидов имеются непродолжительные по времени радиолокационные наблюдения, при которых измерения запаздывания сигнала позволяет измерить расстояние до объекта, а доплеровское смещение по частоте – его скорость.

3. Создание высокоточных теорий движения планет, их естественных спутников и крупных астероидов. В настоящее время наибольшую точность имеют теории движения внутренних планет (точность DE405/LE405 для внутренних планет порядка 1 км) [3]. Такая точность обеспечивается непосредственным измерением расстояний до внутренних планет радиолокационным способом, а также измерением расстояний до космических зондов и расстояний “зонд-планета” и “зонд-спутник”. Точность теорий для внешних планет значительно хуже (для Юпитера ~ 10 км, для Плутона ~ 40000 км). Меньшая точность связана с отсутствием радиолокационных измерений и привлечением для построения теорий в основном результатов фотографических и ПЗС-наблюдений. Для внутренних планет дальнейшее повышение точности теорий движения может быть достигнуто путем более точного учета возмущений от астероидов. В связи с этим чрезвычайно важной становится задача определения масс астероидов.

4. Уточнение связи между динамической и инерциальной (звездной) системой координат. В оптическом диапазоне звездная система координат в настоящее время реализована системой каталога HIPPARCOS (ICRF/HIPPARCOS). Ее отклонение от инерциальной системы оценивается величиной ± 0.25 mas/год по трем осям, а совпадение с системой ICRS – ± 0.6 mas по трем осям (The Hipparcos and Tycho catalogues, ESA-SP-1200. V.1-17). К формированию динамической системы наблюдения тел Солнечной системы имеют самое непосредственное отношение. При этом необходимы длительные, регулярные ряды высокоточных наблюдений. В настоящее время лучшая точность и согласованность углов ориентации, определенных по различным рядам наблюдений, получается по наблюдениям больших планет. Использование для этой цели результатов наблюдений астероидов дает худшие результаты. Причина – более равномерное заполнение орбиты наблюдениями при использовании больших планет и то, что кроме оптических наблюдений планет использовались более точные наблюдения – радарные, траекторные и наблюдения естественных спутников планет. При привлечении наблюдений астероидов орбита оказывается неравномерно заполненной наблюдениями в силу того, что астероиды доступны для наблюдений лишь вблизи оппозиции. Для получения более равномерного расположения наблюдений астероида на орбите необходимы периоды наблюдений порядка 50 лет.

Наблюдения тел Солнечной системы велись в Пулковской обсерватории с момента ее создания. Наблюдались большие планеты и их естественные спутники, кометы и астероиды. Регулярные наблюдения астероидов стали проводиться с 1949 г. в рамках плана Нумерова-Брауэра. Изначально программа была рассчитана на 10 лет, ее цель – уточнение нуль-пунктов звездных каталогов. В полном объеме поставленная цель не была достигнута ни в России, ни за рубежом. Со временем список объектов наблюдения неоднократно претерпевал изменения, тем не менее, наблюдения этих объектов продолжались.

В Пулковской обсерватории наблюдения астероидов проводились на нормальном астрографе ($F = 3467$ мм, $D = 330$ мм). До 2005 года велись только фотографические наблюдения, с 2005 г. – ПЗС-наблюдения (камера S1C-017AP производства НПП “Электрон Оптроник”, с числом эффективных пикселей 1040×1160 , размером пикселя 16×16 мкм и рабочим полем $16' \times 18'$). Сразу после установки ПЗС-камеры основная цель наблюдений заключалась в определении новых возможностей инструмента в плане предельной звездной величины, качества изображений и предварительной оценки

точности результатов. Обработка выполнялась по упрощенной схеме (без коррекции плоского поля и без введения поправок за различные систематические ошибки). Результат оказался обнадеживающим. Предельная звездная величина составила 18^m при экспозиции 3 мин. Для оценки точности наблюдений использовались величины (O–C). Ошибка по внутренней сходимости характеризовала согласованность (O–C) для оцениваемого объекта в течение одной ночи наблюдений, ошибка по внешней сходимости – в течение всего периода наблюдений. Средняя величина ошибки по внутренней сходимости для RA/DECL составила $52/52$ mas, по внешней сходимости – $75/74$ mas. [1]. Для сравнения, аналогичные оценки точностей для тех же объектов при фотографических наблюдениях составляли: по внутренней сходимости - $173/195$ mas, по внешней сходимости – $310/290$ mas [2].

В 2007 г. программа наблюдений была значительно расширена. В программу вошли:

- 14 астероидов с большой “наблюдательной историей” (NN 1, 2, 3, 4, 6, 7, 11, 18, 25, 39, 40, 389, 532, 704).
- Ряд астероидов, сближающихся с Землей.
- Ряд известных двойных астероидов и астероидов, подозреваемых на двойственность, а также астероиды из семейств Eos и Hugia (всего 270 объектов с $\delta \geq -10^\circ$).
- Сближения астероидов со звездами космических каталогов.
- Спутники больших планет (Сатурна, Юпитера, Урана).
- Кометы по мере их появления.

Существенно изменилась и методика обработки. Для дальнейшего повышения точности, представлялось целесообразным, при обработке ПЗС-наблюдений уделить самое серьезное внимание учету систематических ошибок наблюдательного материала как это делается при построении звездных каталогов. Для начала были учтены наиболее значимые из них – учет плоского поля, а также учет уравнения блеска.

Учет плоского поля

Кадр плоского поля формировался из нескольких ПЗС-кадров, полученных в ходе данной ночи наблюдений, путем медианной фильтрации с нормировкой на средний уровень отсчетов, чтобы корректно учесть данный эффект для ПЗС-кадров с разным временем накопления. На рис. 1 показан ПЗС-кадр до учета плоского поля (рис. 1а) и после (рис. 1б).

Использованный прием значительно уменьшил градиент фона по полю.

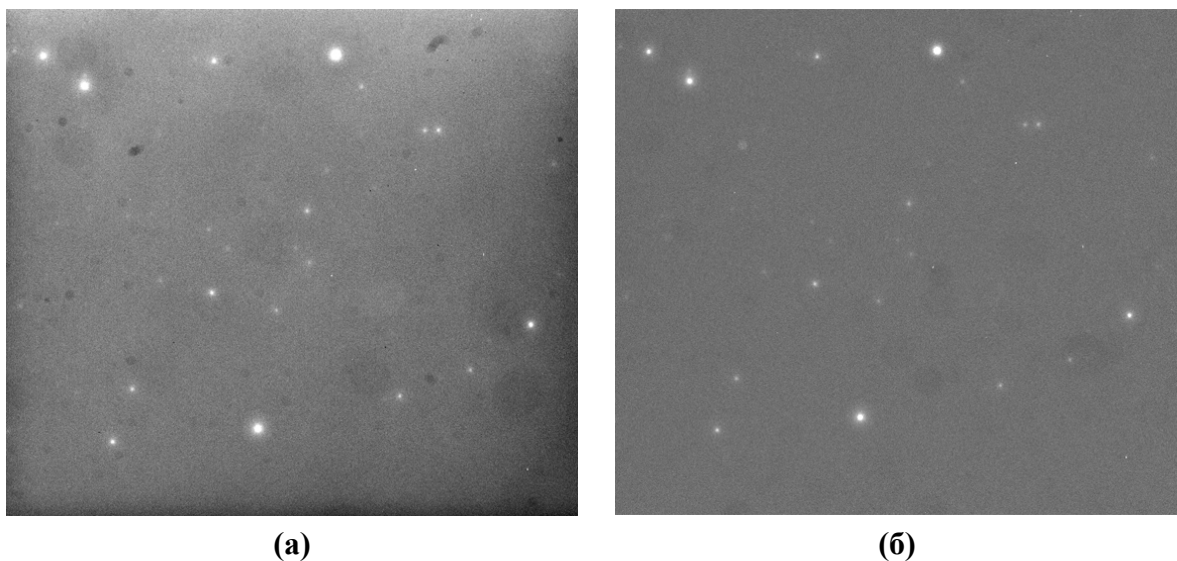


Рис. 1. а – ПЗС-кадр до учета плоского поля. б – ПЗС-кадр после учета плоского поля.

Учет уравнения яркости

При обработке наблюдений астероидов опорные звезды брались из каталога USAC2. Для вывода поправок за уравнение яркости было привлечено 15000 наблюдений опорных звезд в диапазоне звездных величин от 9.0 до 17.0.

На рис. 2 показана зависимость разностей (Наблюдения – Каталог) по прямому восхождению и склонению от звездной величины. На рис. 3 – те же зависимости, но сглаженные. Сглаживание разностей по прямому восхождению производилось сплайнами (использовались полиномы 2 и 3 степени), для аппроксимации разностей по склонению использовались полиномы 4-й степени. Поправки за уравнение яркости вносились в тангенциальные координаты.

Полученные зависимости от звездных величин хорошо видны на векторных полях разностей (Наб. – Кат.), представленных на рис. 4. После учета полученных поправок векторное поле разностей (Наб. – Кат.) приобрело вид, показанный на рис. 5.

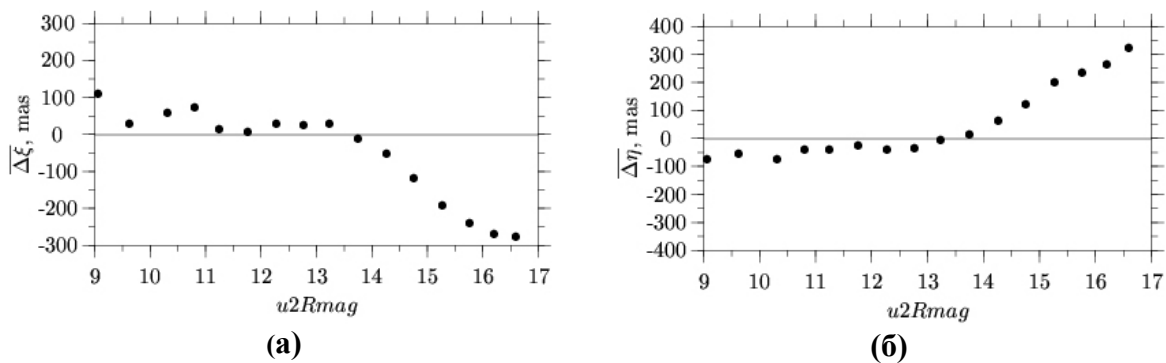


Рис. 2. Зависимость несглаженных разностей (Наблюдения – Каталог) по RA (а) и DECL (б) от звездной величины.

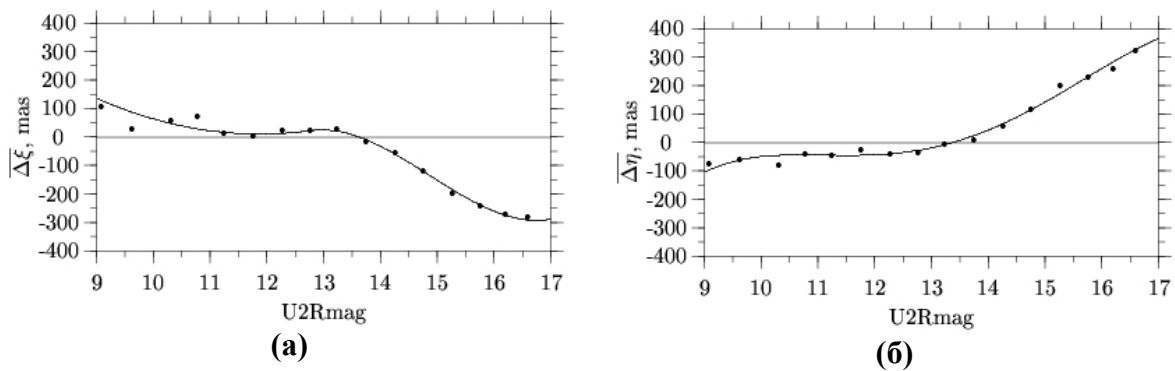


Рис. 3. Зависимость сглаженных разностей (Наблюдения – Каталог) по RA (а) и DECL (б) от звездной величины.

Обработка полученных наблюдений астероидов, выполненная с учетом плоского поля и уравнения яркости, позволила в два раза повысить точность конечных результатов. Среднеквадратическая ошибка одного наблюдения по внутренней сходимости, в среднем, составила 25 mas по прямому восхождению и 23 mas по склонению против 52 mas, полученных при использовании упрощенной методики обработки. Средняя точность по внешней сходимости соответственно составила 35/33 mas против 75/74 mas по упрощенной методике. Механизм возникновения систематических ошибок, зависящих от звездной величины, и связь этих ошибок с используемыми опорными звездами при обработке ПЗС-наблюдений демонстрирует рис. 6.

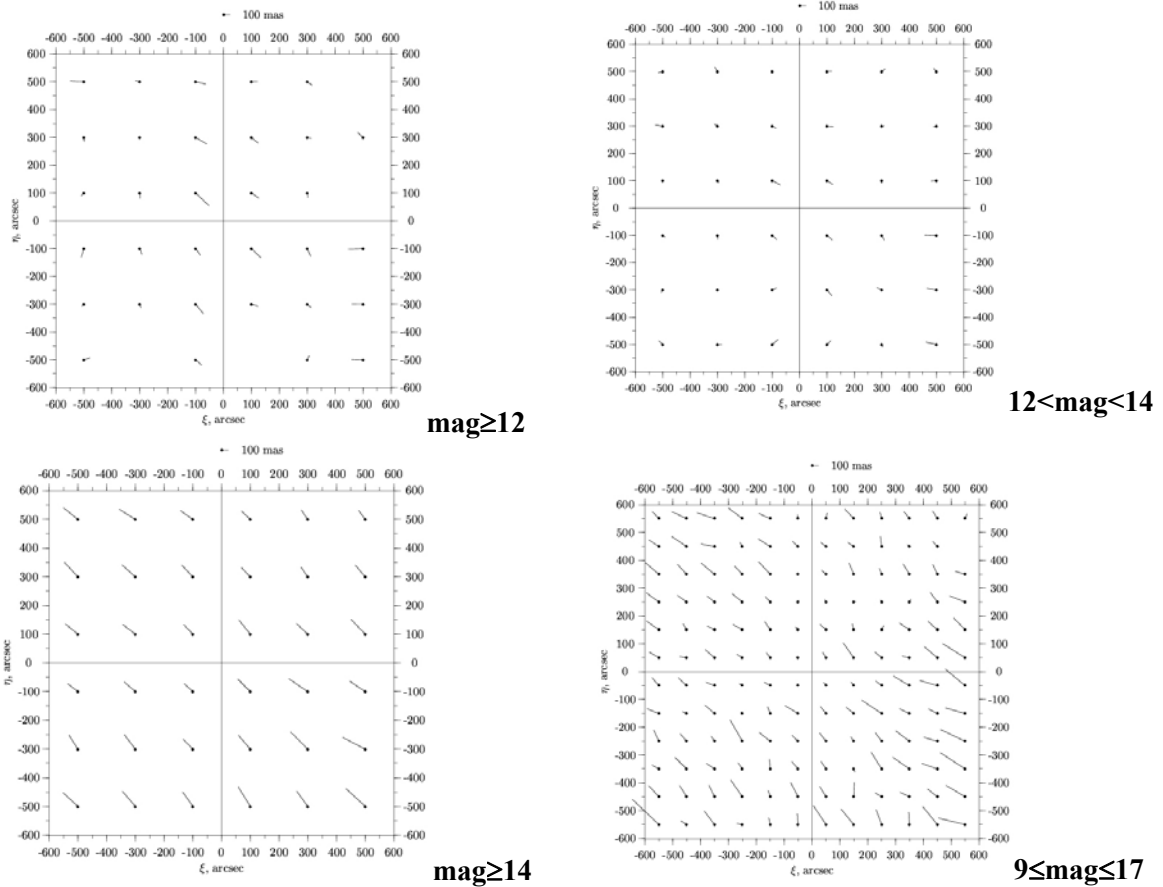


Рис.4. Векторные поля разностей (Наб. – Кат.) для разных градаций звездных величин.

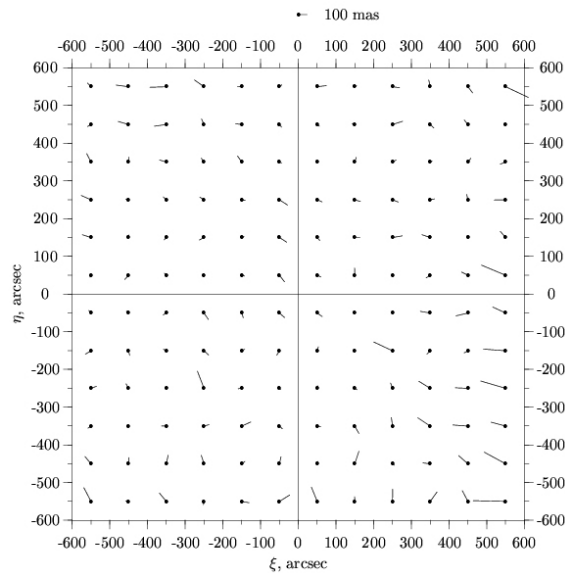


Рис. 5. Векторное поле разностей (Наб. – Кат.) после введения поправок за уравнение яркости для звезд в диапазоне $9 \leq \text{mag} \leq 17$.

Основной источник возникновения этого вида систематических ошибок при ПЗС-наблюдениях связан с несимметричностью ПЗС-изображения ярких объектов. Наиболее вероятной причиной данного эффекта следует считать неравномерность ведения часового механизма и оптические aberrации, вызывающие пространственное перерас-

пределение световой энергии в пучке. При определении пиксельных координат звезд и астероидов предполагается, что фотоцентр объекта соответствует максимуму PSF (функция рассеивания точки). Наличие небольшой асимметрии в распределении отсчетов в пределах апертуры наиболее заметно сказывается на результатах измерений ярких звезд в отличие от слабых звезд. Последнее приводит к тому, что при редукации яркого объекта к системе более слабых объектов (опорных звезд) или, наоборот, в разность (наблюдаемое – вычисленное значение) входит величина Δx (рис. 6), которую необходимо учесть при обработке. Эти ошибки были учтены нами при обработке наблюдений астероидов 2008 года. В настоящее время планируется выполнить переработку всего материала наблюдений (2005–2007 гг.) по разработанной авторами методике.

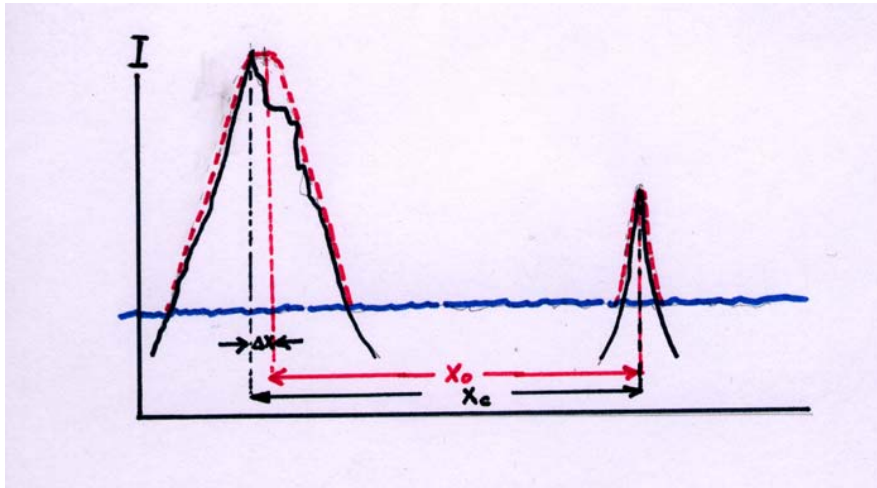


Рис. 6. Механизм возникновения ошибки, зависящей от звездной величины при ПЗС-наблюдениях. $\Delta x = x_0 - x_c$, x_0 – наблюдаемое значение, x_c – вычисленное.

Стоит заметить, что помимо накопления новых ПЗС-наблюдений тел Солнечной системы в настоящее время в астрономических учреждениях всего мира имеется громадный материал фотографических наблюдений, выполненных в XIX и XX веках. Материал хранится в виде архивов фотопластинок (стеклянные библиотеки). Стеклоанный архив Пулковской обсерватории содержит более 50000 пластинок с изображениями различных небесных объектов (звезд, туманностей, скоплений, больших и малых тел Солнечной системы), полученных с 1893 по 2007 годы (<http://www.puldb.ru/db/plates/index.php>). Пластинки с изображением тел Солнечной системы охватывают период с 1898 по 2005 годы. Измерения этих пластинок производились в основном на Аскорекордах, обработка велась с привлечением опорных звезд из разных каталогов (Иельских, SAO, AGK3, PPM, в последние годы – HIPPARCOS, Tycho-2, USNO, UCAC2). Учитывая объем материала и более чем 100-летний период его накопления, представляется весьма целесообразным высокоточная оцифровка фотопластинок и новая редукация наблюдений в современной опорной системе ICRF. Особенно это актуально для малых тел Солнечной системы: спутников больших планет и астероидов. Такой материал вместе с современными ПЗС-наблюдениями этих же объектов можно будет использовать для решения целого ряда задач, таких как улучшение и контроль теорий движения тел Солнечной системы, координатно-временное обеспечение космических полетов, изучение строения и эволюции Солнечной системы, установление связи динамической и звездной систем координат.

Таблица 1 содержит информацию о количестве фотопластинок с наблюдениями тел Солнечной системы, таблица 2 – данные по 18 астероидам, наблюдавшимся с 1949 по 2004 годы на Нормальном астрографе Пулковской обсерватории.

Таблица 1. Количество пластинок с наблюдениями тел Солнечной системы и периоды их наблюдений.

Объект	Количество пластинок	Период наблюдений в годах
Сатурн и спутники	800	1972 – 2005
Юпитер и спутники	500	1976 – 2005
Марс	762	1960 – 1988
Плутон	200	1930 – 1990
Нептун	237	1898 – 1955
Уран и спутники	250	1990 – 1910
		1930 - 2004
Избранные астероиды	2655	1949 - 2004

Таблица 2. Количество пластинок с астероидами, период наблюдения с 1949 по 2004 годы.

№ объекта	Название	Количество пластинок
1	Ceres	259
2	Pallas	323
3	Juno	267
4	Vesta	277
6	Hebe	198
7	Iris	153
11	Partenope	14
18	Melpomene	224
25	Phocaea	93
39	Laetitea	243
40	Harmonia	177
148	Gallia	49
389	Industria	58
433	Eros	57
532	Herculine	76
704	Ineramnia	143
762	Pulkova	31
4179	Toutatis	27

В заключение сформулируем задачи, связанные с астрометрией малых тел Солнечной системы, которые представляются актуальными для наземной астрометрии, по крайней мере, до получения результатов космического проекта GAIA.

1. Накопление наблюдательного материала:

- обнаружение новых малых тел в поясе астероидов,
- обнаружение новых объектов в транснептуновом пространстве,
- поиск новых двойных астероидов,
- обнаружение астероидов, сближающихся с Землей,
- наблюдения покрытий (тесных сближений) астероидами звезд из космических каталогов.

2. Оцифровка и новая редукция в современной опорной системе ICRF наблюдений малых тел Солнечной системы, хранящихся на фотографических пластинках.

3. Подготовка входных каталогов малых тел Солнечной системы для будущих космических проектов.

4. Разработка новых методик обработки наблюдений, максимально учитывающих различные систематические ошибки.
5. Дальнейшее уточнение теорий движения тел Солнечной системы.
6. Уточнение параметров связи динамической и звездной систем координат.
7. Определение масс астероидов динамическим способом.

Литература

1. *Е.В. Хруцкая, М.Ю. Ховричев, А.А. Бережной.* Некоторые результаты ПЗС-наблюдений малых тел Солнечной системы на нормальном астрографе Пулковской обсерватории в 2005-2006 гг. // Сб. Изучение объектов околоземного пространства, и малых тел Солнечной системы. Николаев. "Атолл". С. 77-83. 2007.
2. *Бронникова Н.М., Васильева Т.А.* Анализ точности позиционных фотографических наблюдений малых планет в Пулкове. 2002. Известия ГАО РАН в Пулкове. № 216. С. 66–72.
3. *Standish E.M.* Dynamical references frame –current relevance and future prospects. // Proc. of IAU Coll. 180.2000. P.120-126.

ASTROMETRY OF SMALL BODIES OF THE SOLAR SYSTEM WITH THE PULKOVO NORMAL ASTROGRAPH

Khrutskaya E.V., Khovritchev M.Ju.

Summary

The systematic CCD observations of the asteroids were carried out with the Normal astrograph of the Pulkovo observatory ($D/F = 0.33/3.5\text{m}$, lim. mag is 17 with 2 min exp. time) from 2005 to 2007. 279 asteroids have been included into the observational program. This list contains 13 asteroids that were observed since 1949, double asteroids' candidates, Eos and Hygiea families' asteroids, NEA. A number of asteroids at the points of maximum curvature of the apparent paths and apparent close approaches to the stars of the modern catalogs were observed.

After applying the methods that were traditionally used in astrometric catalogs construction (mainly by taking into account the magnitude and color equations), the mean internal (external) positional standard errors are 25(35) mas. The standard errors obtained by simple six constants method are 52(75) mas. These observations correspond to tasks that would be relevant before GAIA project realization. These tasks are collecting of the results of positional observations of the Solar system bodies and new double asteroids detection; construction of the input catalogs of the small bodies positions for future space missions; improvement of the accuracy of the CCD astrometric observations of asteroids by taking into account all systematic errors of observations; CCD observations of the occultations of the stars by asteroids and apparent close approaches to the stars of the modern catalogs. Expediency of the new reductions of the old photographic plates with images of asteroids in modern reference frame is considered. There are more than 2500 plates with images of these objects taken from 1949 to 2004 at Pulkovo observatory at present time (<http://www.puldb.ru/db/plates/index.php>).

СПИСОК АВТОРОВ

- Абдуллоев С.Х. 233
Агапов В.М. 233
Алешкина Е.Ю. 7, 19, 101, 107, 119
Алиев А. 233
Антонов В.А. 29
Байкова А.Т. 51
Баршев К.В. 101, 107, 119
Батурина Г.Д. 101, 107, 119
Бахтигараев Н.С. 233
Бережной А.А. 43, 165
Бехтева А.С. 101, 107, 119
Бирюков В.В. 233
Бобылев В.В. 51, 67, 165
Борисов Г.В. 233
Борисова Н.Н. 233
Бурцев Ю.В. 233
Васильева Т.А. 172
Верещагина И.А. 75, 101, 107, 119, 192
Выхристенко А.М. 233
Гасанализаде А.Г. 87
Горшанов Д.Л. 19, 75, 101, 107, 119
Горшков В.Л. 91
Горыня Н.А. 150
Гребецкая О.Н. 233
Грошева Е.А. 165
Губин Е.Г. 233
Гулямов М.И. 233
Гусева И.С. 129, 233
Десяткин А.В. 19, 75, 101, 107, 119, 126, 192
Дементьева А.А. 165
Дорохов Н.И. 233
Ермаков Б.К. 129, 233
Ерофеев А.Д. 233
Ерофеев Д.В. 233
Ерофеева А.В. 233
Ефремов В.И. 140
Заченюк А.А. 67
Ибрагимов М.А. 233
Ибрагимов Ф.М. 101, 107, 119, 192
Иващенко Ю.Н. 233
Измайлов И.С. 158, 165
Инасаридзе Р.Я. 233
Ирсамбетова Т.Р. 233
Калинин С.И. 305
Калиниченко О.А. 165, 172, 184
Канаева Н.Г. 305
Киселев А.А. 150
Киселева Т.П. 158, 165, 172
Кияева О.В. 165, 184
Кондратьев Б.П. 29
Корниенко Г.И. 233
Кракосевич О.В. 101, 107, 119
Круглый Ю.Н. 233
Кулиш А.П. 192
Куприянов В.В. 101, 107, 119, 192, 233
Лебедева С.В. 165
Литвиненко Е.А. 233
Лих Ю.С. 233
Лоскутников В.С. 233
Львов В.Н. 126
Маньшина Т.В. 249
Матреницкий Д.В. 233
Медведев М.Ю. 219
Миллер Н.О. 91, 223
Миникулов Н.Х. 233
Можсаев М.А. 165
Молотов И.Е. 233
Нарижная Н.В. 165
Павловский К.С. 107
Павловский С.Е. 107, 119
Панас Н.М. 249
Парфиненко Л.Д. 140
Полякова Г.Д. 260
Прудникова Е.Я. 223, 274
Рафальский В.Б. 192
Романенко Л.Г. 150, 165
Румянцев В.В. 233
Русаков О.П. 233
Рыбак А.Л. 233
Сальес Р. 233
Семенчук С.А. 233
Соколов В.Г. 281
Соловьев А.А. 140
Степанищев А.С. 289
Суханов С.А. 233
Титенко В.В. 233
Толчельникова С.А. 296
Ховричев М.Ю. 165, 310
Хруцкая Е.В. 165, 305, 310
Хуторовский З.Н. 233
Цекмейстер С.Д. 126
Цыбизов О.Ю. 233
Чекалин О.Н. 233
Шумахер А.В. 192
Щелков П.О. 233
Юрков В.В. 233

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ
ГЛАВНОЙ
АСТРОНОМИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ
В ПУЛКОВЕ

№ 219

Выпуск 1

Ответственный редактор А.В. Степанов