

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИЗВЕСТИЯ
ГЛАВНОЙ
АСТРОНОМИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ
В ПУЛКОВЕ**

№ 219

Выпуск 4

Труды

Всероссийской астрометрической конференции

«ПУЛКОВО – 2009»

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**

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

**ИЗВЕСТИЯ
ГЛАВНОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
В ПУЛКОВЕ
№ 219
Выпуск 4
Труды Всероссийской астрометрической конференции
«Пулково – 2009»**

Утверждено к печати
Главной (Пулковской) астрономической обсерваторией РАН

Компьютерная верстка оригинал-макета Е.Л. Терёхиной

ISBN 978-5-9651-0403-1

© Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, 2009

ИЗВЕСТИЯ

Главной астрономической обсерватории в Пулкове

Выпуск 4

ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ АСТРОМЕТРИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ПУЛКОВО – 2009»

СОДЕРЖАНИЕ

Алешкина Е.Ю.

Численно-экспериментальное исследование эволюции вращательной динамики фебы (С9)..... 9

Алешкина Е.Ю., Куприянов В.В., Девяткин А.В., Верецагина И.А., Слесаренко В.Ю.

Исследование движения астероида 2008 ТС3..... 17

Ананьевская Ю.К., Поляков Е.В., Фролов В.Н., Цветков М.К.

Обработка и измерение фотопластинок с рассеянными скоплениями на измерительной машине «Фантазия»..... 21

Ассиновская Б.А., Горшков В.Л., Овсов М.К., Щербакова Н.В., Галаганов О.Н., Гусева Т.В., Розенберг Н.К.

О геофизических предпосылках аномальных движений в районе Ладожского и Онежского озёр..... 27

Ассиновская Б.А., Малкин З.М., Щербакова Н.В.

Связь поверхностной и глубинной геодинамики на примере Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 года..... 33

Ахметов В.С., Федоров П.Н.

Кинематические параметры Галактики по данным 270 миллионов абсолютных собственных движений звезд..... 39

Бережной А.А.

ПЗС-наблюдения астероидов на Пулковском нормальном астрографе: исследование и учет систематических ошибок координат..... 45

Богданов В.И., Малова Т.И., Колотилин Р.А.

О точности и репрезентативности вековых обсерваторских рядов наблюдений и о мерах длины XVIII столетия в России..... 51

Валеев С.Г., Нефедьев Ю.А., Варакина Н.Ю.

Построение глобальной селеноцентрической опорной координатной системы..... 57

Верецагина И.А., Девяткин А.В., Горшанов Д.Л., Карашевич С.В., Найден Я.В., Соков Е.Н.

Фотометрия и построение моделей некоторых двойных и кратных астероидов главного пояса и группы АСЗ..... 61

| | |
|--|-----|
| Горшков В.Л. Исследование шестилетних вариаций скорости вращения Земли..... | 67 |
| Гумеров Р.И., Немтинов А.В., Пинигин Г.И., Аслан З. Телескоп РТТ150 и его возможности для астрометрических проектов..... | 73 |
| Damljanović G. Improvement of accuracy of proper motions of Hipparcos catalogue stars using optical latitude observations..... | 79 |
| Десяткин А.В., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Бехтева А.С., Алёшкина Е.Ю., Верецагина И.А., Соков Е.Н., Карашевич С.В., Найден Я.В., Слесаренко В.Ю. Наблюдения тел солнечной системы на автоматизированных телескопах ЗА-320М и МТМ-500М..... | 85 |
| Десяткин А.В., Львов В.Н., Цекмейстер С.Д. Астрометрия без опорных звезд: видимые взаимные сближения астероидов..... | 91 |
| Епишев В.П., Мотрунич И.И., Исак И.И., Кудак В.И., Новак Э.И., Мацо А.М. Возмущающие эффекты в собственном вращении ИСЗ и их связь с солнечной активностью..... | 93 |
| Жаров В.Е., Сажин М.В., Семенов В.Н., Куимов К.В., Сажина О.С., Ашимбаева Н.Т. Физические причины вариации видимого положения квазаров..... | 99 |
| Захожай В.А. Статистическая космогония – новое направление в исследовании эволюции звездных систем..... | 105 |
| Захожай В.А., Гнедин Ю.Н., Шахт Н.А. Вклад Пулковской и Харьковской астрономических школ в развитие проблемы поиска и существования планетных систем в Галактике..... | 111 |
| Захожай В.А., Захожай О.В. Результаты предварительных расчетов энергетических спектров излучения субзвезд с плоскими дисками без центральной щели..... | 119 |
| Илясов Ю.П., Пишков М.С. Современные проблемы пульсарной астрометрии..... | 125 |
| Кайзер Г.Т. Результаты позиционных наблюдений астероидов в астрономической обсерватории Уральского государственного университета..... | 131 |
| Киселев А.А., Романенко Л.Г., Шахт Н.А., Кияева О.В., Грошева Е.А., Измайлов И.С. Динамическое исследование широких пар двойных звезд в окрестностях Солнца | 135 |
| Кияева О.В. Возможные невидимые спутники в системах двойных звезд ADS 7446 и ADS 9701..... | 141 |
| Клещонок В.В., Буромский Н.И. Киевская электронная база данных телевизионных наблюдений покрытий звезд Луной в 2003-2009 гг. | 147 |

| | |
|--|-----|
| Короткова Н.Ю. Моделирование групповой шкалы пульсарного времени..... | 155 |
| Кузин С.П., Татевян С.К. DORIS-технология как потенциальный инструмент глобальной геодезической наблюдательной системы..... | 161 |
| Кузнецов Э.Д. Влияние планетарных масс на устойчивость солнечной системы..... | 167 |
| Лапаева В.В., Кутленков М.В., Кистерский А.П., Нефедьев Ю.А. Новый подход к изучению техногенных катастроф на основе астрономических наблюдений..... | 173 |
| Львов В.Н., Цекмейстер С.Д. ЭПОС – эффективный инструмент для исследования и эфемеридной поддержки наблюдений объектов солнечной системы..... | 179 |
| Мажаев А.Э., Процюк Ю.И. Астрономические базы данных как фундамент виртуальной обсерватории..... | 185 |
| Малкин З.М. ICRF – современное состояние и ближайшие перспективы..... | 189 |
| Малкин З.М. Использование вариации Аллана и ее модификаций для исследования временных рядов..... | 195 |
| Малкин З.М. Проект VLBI2010..... | 199 |
| Малкин З.М. Сравнение эмпирических моделей свободной нутации ядра..... | 205 |
| Малкин З.М., Львов В.Н., Цекмейстер С.Д. Сближения планет с радиоисточниками в 2009-2050 гг. и их использование для проверки физических теорий..... | 211 |
| Малков О.Ю. Астрометрические космические миссии..... | 217 |
| Миллер Н.О. Исследование Чандлеровского движения полюса..... | 223 |
| Миллер Н.О., Прудникова Е.Я. Ранние пулковские наблюдения широты..... | 229 |
| Мильков Д.А., Макаренко Н.Г., Малкин З.М. Прогноз параметров вращения Земли методом нейрокомпьютинга..... | 235 |
| Нароенков С.А. Характеристики ассоциаций астероидов, сближающихся с Землей..... | 240 |
| Никифоров И.И., Казакевич Е.Э. Возрастная неоднородность кинематики подсистемы рассеянных скоплений Галактики..... | 245 |

| | |
|--|-----|
| Пасынок С.Л. Коэффициенты STF ряда для производных произвольного порядка от геофизических функций, представленных в виде STF-ряда..... | 251 |
| Петрова Н.К., Гусев А.В., Кавано Н., Ханада Х. Исследование физической либрации луны в японском космическом эксперименте ILOM..... | 255 |
| Петрова Н.К., Гусев А.В., Кикучи Ф., Кавано Н., Ханада Х. Моделирование измерений физической либрации Луны в японском космическом проекте, основанном на методе обратной РСДБ..... | 262 |
| Поляков Е.В., Гинзбург Э.С., Канаев И.И., Патютко Н.Д., Стрелецкий Ю.С., Шумахер В.А. Реконструкция астрографической измерительной машины «Фантазия» (технический аспект)..... | 267 |
| Попова Е.А. Исследование систематических изменений координат радиоисточников по рядам их суточных положений..... | 273 |
| Protitch-Benishek V., Trajkovska V., Damljanović G. Fundamental astronomy: some historical notes on the instruments of the Belgrade astronomical observatory..... | 279 |
| Пушкарев А.Б., Ковалев Ю.Ю. РСДБ-астрофизика в помощь РСДБ-астрометрии..... | 285 |
| Романенко Л.Г. Пулковская программа исследований визуально-двойных звезд по фотографическим наблюдениям на 26-дюймовом рефракторе: состояние и перспективы..... | 289 |
| Рыльков В.П., Дементьева А.А., Нарижная Н.В., Пинигин Г.И., Майгурова Н.В., Процюк Ю.И. Каталог 21641 звезд вокруг 239 внегалактических астрометрических радиоисточников..... | 293 |
| Рыльков В.П., Нарижная Н.В. Астрометрические положения 78 галактических радиоисточников..... | 299 |
| Рыльков В.П., Нарижная Н.В. Каталог опорных звезд для наблюдений галактических радиозвезд..... | 309 |
| Рыльков В.П., Нарижная Н.В. Позиционные ПЗС-наблюдения областей звезд на Пулковском нормальном астрографе..... | 315 |
| Сасюк В.В., Нефедьев Ю.А., Вараксина Н.Ю., Чуркин К.О. Модернизация наблюдательного комплекса АОЭ..... | 319 |
| Тимошкова Е.И. Динамические и статистические свойства потенциально опасных астероидов..... | 323 |
| Тиссен В.М., Толстиков А.С., Малкин З.М. Неравномерности вращения Земли и результаты, достигнутые в их прогнозировании..... | 329 |

Толчельникова С.А., Чубей М.С.

О роли наблюдений галилеевых спутников Юпитера в знаменательных научных открытиях..... 335

Федоров П.Н., Ахметов В.С.

Каталог абсолютных собственных движений 270 миллионов звезд..... 341

Харин А.С.

Инфракрасная астрометрия после IRAS PSC и 2MASS..... 347

Хруцкая Е.В., Ховричев М.Ю., Бережной А.А., Нарижная Н.В., Дементьева А.А.

Анализ точности теории движения главных спутников Сатурна на основе ПЗС-наблюдений, выполненных на Нормальном астрографе Пулковской обсерватории 351

Хруцкая Е.В., Ховричев М.Ю., Измайлов И.С., Бережной А.А.

Пулковская программа исследований звезд с большими собственными движениями..... 355

Чубей М.С.

Межпланетная Стереоскопическая Обсерватория: астрономическая часть научной программы и компоновки..... 361

Чубей М.С., Львов В.Н., Ягудин Л.И., Цекмейстер С.Д., Смирнов Е.А.

Моделирование решения задач астероидно-кометной опасности в орбитальном проекте «Межпланетная Солнечная Стереоскопическая Обсерватория»..... 369

Шахт Н.А., Киселев А.А., Романенко Л.Г., Грошева Е.А.

Исследование двойных звезд в рамках программы наземной поддержки проекта "GAIA"..... 375

Киселева Т.П., Измайлов И.С., Калиниченко О.А., Васильева Т.А.

Астрометрические исследования системы Сатурна по наблюдениям на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове в период 1995–2007 гг. 381

ИСТОРИЯ АСТРОНОМИИ

Богданов В.И., Малова Т.И., Медведев М.Ю.

Несбывшийся проект Ж.Н. Делиля «О мерянии земли в России»..... 391

Wanderka D., Pinigin G.

Victor Knorre last member of the Knorre dynasty of astronomers – an overview of his life and work..... 397

Десяткин А.В., Толбин С.В.

Инструменты Эртеля-Струве на службе астрометрии..... 403

Левитская Т.И.

Николай Первый и Пулковская обсерватория..... 409

Московченко Н.Я.

К истории создания портретной галереи Пулковской обсерватории..... 415

Нефедьев Ю.А., Ризванов Н.Г., Дубяго И.А., Галеев А.И., Вараксина Н.Ю.

История научных связей астрономов «Северной столицы» и Казани..... 419

| | |
|---|-----|
| <i>Пинигин Г.И., Толбин С.В.</i> Шедевры астрономической техники XIX века – главные меридианные инструменты Пулковской и Николаевской обсерваторий..... | 427 |
| <i>Положенцев А.Д., Положенцева Л.Д.</i> Дмитрий Дмитриевич Положенцев. Профессия – астроном..... | 433 |
| <i>Пуляев С.П.</i> Боливийская экспедиция и роль в ней Х.И. Поттера..... | 437 |
| <i>Стрелецкий Ю.С., Смирнов Б.Н.</i> Андрей Антонович Немиро (к 100-летию со дня рождения)..... | 441 |
| <i>Толбин С.В., Крюндаль А.В.</i> Восстановление Западного Меридианного зала и реставрация меридианных инструментов Эртеля-Струве (БПИ и БВК)..... | 445 |
| <i>Héral S.F., Pinigin G.I.</i> The Dynasty of Knorre Astronomers and other Knorre Dynasties..... | 451 |
| <i>Хруцкая Е.В.</i> Вклад Пулковской и Николаевской обсерваторий в создание опорных систем координат в период, предшествующий проекту HIPPARCOS..... | 457 |
| <i>Шахт Н.А.</i> Александр Николаевич Дейч (к 110-летию со дня рождения)..... | 467 |
| Резолюция Всероссийской астрометрической конференции «Пулково-2009»..... | 473 |
| Список авторов | 475 |

ЧИСЛЕННО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ ДИНАМИКИ ФЕБЫ (С9)

Алешкина Е.Ю.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

1. Введение

Статистика определения динамических, орбитальных и физических параметров спутников на сегодняшний день следующая (<http://ssd.jpl.nasa.gov>). Всего в Солнечной системе известно 169 спутников. Среди 163 спутников планет-гигантов элементы орбиты известны у 161, только для 102 из них определен орбитальный период. Осевой период известен лишь у 31 спутника (10 из них – близкие мелкие спутники Нептуна). Физические характеристики (Gm , ρ , m , альbedo, средний радиус) установлены для 145 спутников, из которых только для 31 известны полуоси эллипсоида инерции $a/b/c$ [5].

Спутники больших планет делятся на две группы в соответствии с их физическими характеристиками и орбитальными параметрами – регулярные и нерегулярные. К последним относятся главным образом внешние (с $r > 10^7$ км) спутники относительно небольших размеров с орбитами, имеющими значительный эксцентриситет или наклонения.

Приливная эволюция вращательного движения спутников приводит к возникновению спин-орбитальных резонансов. Однако для эксцентрических орбит конечным этапом могут быть несинхронные вращения, в особенности для асимметричных спутников [17].

Основная часть спутников, для которых определены все характеристики – это давно известные регулярные спутники. Среди нерегулярных спутников оси эллипсоида инерции определены только для трех – Гималии, Эллары и Фебы [5]. При этом значения эксцентриситета и осевого периода надежно известны только у Фебы. Таким образом, Феба – единственный из нерегулярных спутников планет с известными инерционными и орбитальными параметрами и достаточно надежно определенным быстрым несинхронным вращением с периодом 9.3 час [3,8,12,15]. Эволюция её вращательной динамики еще не завершена. Из моделирования пулковских кривых блеска Фебы путем вычисления показателей Ляпунова вращательного движения установлено, что быстрое вращение Фебы является регулярным [15]. В работе проанализирована возможная будущая эволюция вращения Фебы с точки зрения вероятности захвата в спин-орбитальные резонансные состояния, отличные от синхронного 1:1.

2. Феба – 9-й спутник Сатурна

Поскольку наклонная орбита с большим эксцентриситетом и обратное орбитальное движение указывают на то, что Феба, вероятно, является телом, захваченным Сатурном с гелиоцентрической орбиты [17], ее состав и строение может указывать на место ее происхождения в солнечной туманности. В таблицах 1-2 представлены орбитальные (большая полуось r , эксцентриситет e , среднее движение n , орбитальный период T_{orb} и наклонение орбиты i), инерционные и физические характеристики Фебы. Предполагается, что Феба состоит из льда, покрытого тонким слоем темного материала, поэтому у нее очень низкое альbedo 0.081 ± 0.002 [19].

Таблица 1. Орбитальные параметры Фебы согласно [11]

| | |
|-----------------|-----------|
| $r, 10^6$ км | 12.947780 |
| e | 0.1635 |
| n (град/сут.) | 0.6541824 |
| T_{orb} , сут | 550.31 |
| i (град) | 175.986 |

Таблица 2. Инерционные и физические параметры Фебы

| Параметр | Значение | Ссылка | Параметр | Значение | Ссылка |
|------------------------------|---------------------|--------|-------------------------------|-----------|--------|
| P_{rot} , ч | 9.2735 ± 0.0006 | [8] | m | 16.4 | [16] |
| $R, 10^5$ см | 106.6 ± 1.0 | [20] | A/C | 0.93623 | * |
| $Gm, \text{км}^3/\text{с}^2$ | 0.5532 ± 0.0006 | [12] | B/C | 0.94455 | * |
| $\rho, \text{г}/\text{см}^3$ | 1.633 ± 0.049 | [12] | $g, \text{см}/\text{с}^2$ | 4.87 | * |
| $a_e/b_e/c_e, \text{км}$ | 108.6/107.7/101.5 | [13] | $\mu, \text{дин}/\text{см}^2$ | 10^{11} | * |

* 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 [6] на основании значений полуосей эллипсоидов a_e , b_e , c_e . В таблице P_{rot} , R , Gm , ρ — период осевого вращения, средний радиус, гравитационная постоянная Фебы и её средняя плотность соответственно. Величина ускорения свободного падения g вычислена по формуле $g = Gm/R^2$. Значения модуля сдвига μ для спутников планет практически неизвестны, теория дает величины $\mu \approx 5 \times 10^{11}$ дин/см² для скальных пород с $\rho \approx 2$ гр/см³ и $\mu \approx 3.5 \times 10^{10}$ дин/см² для льда $\rho \approx 1$ гр/см³ [9].

3. Результаты численного моделирования приливного торможения

Численное интегрирование уравнения вращательного движения с использованием модели приливных возмущений, пропорциональных частоте, проводилось с помощью программного комплекса, разработанного в [14,18] для расчетов вращательной динамики спутников планет на основе интегратора Дормана–Принса [7], включающим дополнительный модуль для учета приливного замедления (В.В.Куприянов, частное сообщение). В настоящей работе модуль для учета приливного замедления модифицирован нами в рамках изложенной ниже теории. Рассматривается динамическая модель, аналогичная использованной в работе [1]. Феба, имеющая форму трехосного эллипсоида с моментами инерции A , B , C , вращается вокруг оси максимального момента инерции C , перпендикулярной плоскости орбиты, с угловой скоростью ω . Движение по фиксированной эллиптической орбите описывается законами Кеплера. Использована модель приливных возмущений, в которой диссипативная функция Q пропорциональна частоте. При этом задержка приливного горба на угол δ вследствие трения такова, что $2\delta = 2\Delta t (\omega - n) = 1/Q$. Значение времени запаздывания прилива Δt полагаем таким, что для частоты приливных возмущений $2(\omega - n) = n$ $Q = const$ [10].

Начальные условия для угла собственного вращения ψ и угловой скорости $d\psi/dt = \omega$ варьировались в следующих пределах: $0.5 < \psi_0 < 1.77$, $6 < \omega_0 < 14$. Интегрирование уравнений вращательного движения спутника проведено на интервале времени $t = 10^7$, при этом время t измеряется в единицах орбитального периода спутника $T_{orb}/2\pi$ и $r = n = GM_p = 1$.

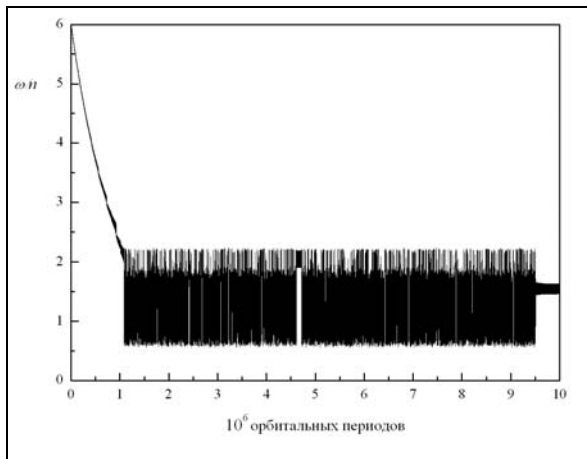


Рис. 1. Начальные условия
 $\psi_0 = 12.7$, $\omega_0 = 6$.

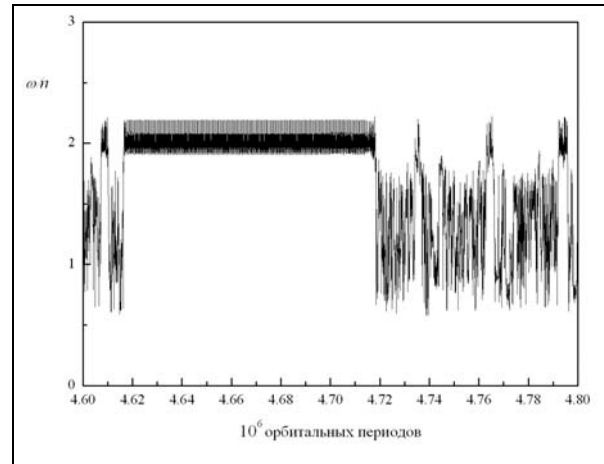


Рис. 2. Область рис.1 между 4.5 и 5
миллионами орбитальных периодов.

Полученные результаты показывают, что для разных начальных данных вероятность захвата Фобоса в различные резонансные состояния, отличные от 1:1, (особенно в резонансы 5:2, 2:1, 3:2) достаточно высока. Следует отметить, что в процессе приливного торможения выделяются области временного захвата спутника в такие резонансные состояния (рис. 1 – 2). Временной интервал нахождения в такой области может быть значительным (на примере рис.2 – 10^5 орбитальных периодов, т.е. для Фобоса 150 тысяч лет). Таким образом, обнаружение спутников в несинхронных резонансных состояниях может означать как их захват в эти состояния, так и возможное хаотическое вращение с дальнейшим переходом в другие резонансные состояния.

4. Теоретическая возможность захвата в несинхронные резонансы

В качестве оценки возможного захвата Фобоса в резонансы, отличные от 1:1, состояния рассмотрим вероятность подобного захвата и устойчивость таких резонансов.

Для оценки вероятности используем формулы, выведенные в работе [2] для двух моделей приливов. Первая модель – модель вязкого прилива Макдональда, при которой фазовый угол прилива пропорционален угловой скорости. В этой модели, чем больше асимметрия фигуры спутника, тем выше вероятность его захвата в несинхронные резонансные состояния. Вторая – модель Дарвина, в которой фазовый угол запаздывания прилива постоянен, не зависит от частоты и меняет знак при прохождении частоты прилива через нуль. В таблице 3 представлены вычисленные для Фобоса вероятности захвата в несинхронные резонансные состояния для двух моделей приливов.

Основным критерием устойчивости резонансного состояния в присутствии приливного момента является соотношение между максимальным восстанавливающим моментом, обусловленным фигурой спутника, и осредненным по орбитальному периоду приливным моментом [2]:

$$\left| \frac{3}{2} k_2 \frac{GM_p^2 R^5}{Q r^6} \right| < \frac{3}{2} n^2 (B - A) H(p, e). \quad (1)$$

Учитывая современные параметры орбиты Фобоса, практически любое резонансное ее состояние может быть устойчивым. Исходя из полученных выше результатов, захват Фобоса в устойчивое состояние резонанса 3:2 возможен с большой степенью вероятности (> 0.5).

Таблица 3. Вероятность захвата Фебы в несинхронные резонансы

| Резонанс | (2) $P(Q \sim 1/f)$ | (3) $P(Q = const)$ |
|----------|------------------------|-----------------------|
| 0.5 | 0.225 | 0.011 |
| 1.5 | 0.672 | 0.520 |
| 2 | 0.228 | 0.076 |
| 2.5 | 0.090 | 0.008 |
| 3 | 0.037 | 0.001 |
| 3.5 | 0.016 | 0.0001 |
| 4 | 0.007 | 0 |
| 4.5 | 0.003 | 0 |
| 5 | 0.001 | 0 |
| 5.5 | 0.001 | 0 |
| 6 | 0.0003 | 0 |
| -0.5 | 0.003 | 0 |
| -1 | 0.001 | 0 |
| -1.5 | 0.0005 | 0 |
| -2 | 0.0002 | 0 |
| -2.5 | 0.0001 | 0 |
| -3 | 0 | 0 |

5. Приливное замедление вращения

Период осевого вращения спутников в эпоху их формирования, по-видимому, составлял несколько часов (2.3 – 12 часов) [9,17]. Оценку предельной угловой скорости можно получить из соотношения между центробежным и гравитационным ускорениями на спутнике [4,6], первое из которых должно не превосходить второе:

$$\frac{\omega^2 R^3}{Gm} = \frac{3\omega^2}{4\pi G\rho} \leq 1. \quad (2)$$

Для тела с начальной плотностью $\rho = 1.5 \text{ гр/см}^3$ предельная скорость вращения в соответствии с этим выражением $\omega_0 = 6.47 \times 10^{-4} \text{ сек}^{-1}$ и соответствующий осевой период $P_0 = 2\pi/\omega_0 = 9706 \text{ сек} = 2.7^{\text{h}}$.

В работе [17] были получены оценки времени приливного торможения для 32 спутников, необходимого для достижения ими синхронного вращения. Расчеты основаны на предположении круговых орбит спутников. Более точная оценка времени торможения приведена в работе [9]. В ней рассмотрен случай эксцентрической орбиты. Время приливного замедления вращения спутника рассчитывается по формуле:

$$\tau_D = \frac{(\omega - \omega_0)}{-Kf(e)}, \quad (3)$$

где $f_1(e) = (1 - e^2)^{-9/2} (1 + 3e^2 + \frac{3}{8}e^4)$ для модели с $Q \sim 1/\omega$

$$f_2(e) = \sum_{p=-\infty}^{+\infty} [H(p, e)]^2 \text{sign}(\omega - p\omega_0) \quad \text{для модели с } Q = const$$

Это приближение справедливо для случая, когда $\omega \gg n$, что соответствует современному состоянию вращения Фебы. При этом учитывая, что для Фебы $\omega/n \approx 1400$, $(\omega - pn) > 0$ для всех $p < 1400$, $f_2(e) \cong \sum_p [H(p, e)]^2$.

Для эксцентриситета Фебы значение $f(e)$ для обеих моделей приливов одинаково и равно 1.2206. Соответствующая оценка времени торможения Фебы $\tau_D = 4 \times 10^{15}$ лет для начального периода $P_0 = 2.7^h$ и $\tau_D = 2 \times 10^{14}$ лет для периода $P_0 = 8.3^h$. Время торможения до одного из резонансных состояний, полученное в численных экспериментах, можно оценить как $\tau_D = 1.5 \times 10^{13}$ лет.

Средняя теоретическая оценка характерного времени приливного торможения $\tau_{\text{прил}}$ до синхронного вращения определяется отношением первичного углового момента вращательного движения планеты или спутника $L_{\text{неп}} = C \times \omega_{\text{неп}} = 0.4 \times mR^2 \times \omega_{\text{неп}}$ к величине приливного момента [6]. В соответствии с этим теоретическая оценка времени торможения Фебы составляет $\tau_D = 5 \times 10^{16}$ лет для начального периода $P_0 = 2.7^h$. Для сравнения приведем значение $\tau_D = 1.7 \times 10^{14}$ лет, полученное для начального периода $P_0 = 2.3^h$ в статье Пила [17]. Таким образом, для всех возможных вариантов оценки времени приливного торможения Фебы оно значительно превышает возраст Солнечной системы, практически современный период ее осевого вращения – это период, который Феба имела при ее формировании. Однако, численные эксперименты, проведенные в нашей работе, показывают, что для разных начальных данных время возможного захвата Фебы в резонансные состояния на порядок меньше, чем различные теоретические оценки.

6. Заключение

Результаты численных экспериментов показывают, что для разных начальных условий вероятность захвата Фебы в различные несинхронные состояния (особенно в резонансы 5:2, 2:1, 3:2) достаточно высока. В процессе приливного торможения выделяются зоны долговременного (сотни тысяч лет) захвата спутника в резонансы, отличные от 1:1.

Получены оценки вероятности захвата Фебы в резонансные спин-орбитальные состояния, отличные от синхронного 1:1. Для двух моделей приливов вероятность захвата в устойчивый резонанс 3:2 составляет 0.7 и 0.5.

Время торможения до одного из резонансных состояний, полученное в численных экспериментах, оценивается в $\tau = 1.5 \times 10^{13}$ лет. Теоретическая оценка времени приливного замедления вращения Фебы составляет $\tau = 10^{15}$ лет.

Литература

1. Алешкина Е.Ю. Захват в синхронный спин-орбитальный резонанс крупных спутников планет // *Астрономический вестник*, 2009, Т.43. №1. С.1-8
2. Голдрайх П., Пил С. Динамика вращения планет // *Приливы и резонансы в Солнечной системе* / Ред. В.Н. Жарков. М.: Мир. 1975. С. 130-167.
3. Девяткин и др., Изв. ГАО. 2004. Т.217.С.229.
4. Мюррей К., Дермотт С. Динамика Солнечной системы // М.: Физматлит. 2009. 588 с.
5. Уральская В.С. Естественные спутники планет // *Информационный справочник*. 2009. <http://lnfm1.sai.msu.ru/neb/rw/natsat/index.htm>
6. Хаббард У., Внутреннее строение планет // М.: Мир. 1987. 340 с.
7. Хайпер Э., Нерсетт С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи // М.: Мир. 1990. 512 с.
8. Bauer J.M. et al. Recovering the Rotational Light Curve of Phoebe // *Astrophys. J.*2004.610. 1, P.L57-L60
9. Dobrovolskis A.R. Chaotic rotation of Nereid? // *Icarus*. 1995. V. 118. P. 181-198.

10. Gladman B., Quinn D.D., Nicholson P., Rand R. Synchronous Locking of Tidally Evolving Satellites // *Icarus*. 1996. V. 122. P. 166-192.
11. Jacobson R.A. // SAT252 - JPL satellite ephemeris. 2006
12. Jacobson R. A., Antreasian P. G., Ardaian S., Criddle K. E., Ionasescu R., Jones J. B., Parcher D., Pelletier F. J., Roth D. C., Thompson P., Vaughan A. The Gravity Field of the Saturnian System and the Orbits of the Major Saturnian satellites // 2008. Presented at the Saturn After Cassini-Huygens Symposium held at Imperial College London, UK
13. Johnson, T. V.; Castillo-Rogez, J. C.; Matson, D. L.; Thomas, P. C. Phoebe's Shape: Possible Constraints on Internal Structure and Origin // 40th Lunar and Planetary Science Conference, (Lunar and Planetary Science XL), held March 23-27, 2000 in The Woodlands, Texas, id.2334
14. Kouprianov V.V., Shevchenko I.I. On the chaotic rotation of planetary satellites: the Lyapunov exponents and the energy // *Astron. Astrophys.* 2003. V. 410. P. 749-757.
15. Melnikov A.V. Modelling of lightcurves of minor planetary satellites // *IAA Transactions*. 2002. № 8. P. 131–132.
16. Morrison D. et al. Satellites of Saturn: Geological Perspective // *Saturn* / Ed. T. Gehrels and M. S. Matthews: Univ. of Arizona Press, Tucson. 1984. P.609-639
17. Peale S.J. Rotation histories of the natural satellites // *Planetary satellites* / Ed. Burns J.A.: Univ. Arizona Press, Tucson. 1977. P. 87-112.
18. Shevchenko I.I., Kouprianov V.V. On the chaotic rotation of planetary satellites: The Lyapunov spectra and the maximum Lyapunov exponents // *Astron. Astrophys.* 2002. V. 394. P. 663-674.
19. Simonelli D.P. et al. Phoebe: Albedo Map and Photometric Properties // *Icarus*. 1999.138.P.249-258.
20. Thomas, P. C., Burns, J. A., Helfenstein, P., Squyres, S., Veverka, J., Porco, C., Turtle, E. P., McEwen, A., Denk, T., Giese, B., Roatsch, T., Johnson, T. V., Jacobson, R. A. Shapes of the Saturnian icy satellites and their significance // *Icarus* .2007.190.P.573-584

NUMERICAL INVESTIGATION OF ROTATIONAL DYNAMIC EVOLUTION OF PHOEBE (S9)

Aleshkina E. Yu.

Main (Pulkovo) Astronomical Observatory of RAS

Numerical investigation of the evolution of Phoebe's rotational dynamics is carried out. Phoebe is the only irregular satellite with known inertial parameters and fast nonsynchronous rotation. It is known that its retrograde, eccentric and inclined orbit indicates that it could be an object captured from heliocentric orbit. A probability of Phoebe capture in the resonant states which are distinct from 1:1 and estimation of Phoebe tidal despinning time are estimated.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АСТЕРОИДА 2008 ТС3

**Алешкина Е.Ю., Куприянов В.В., Девяткин А.В.,
Верещагина И.А., Слесаренко В.Ю.**

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

На автоматизированном телескопе Пулковской обсерватории ЗА-320М в ночь с 6 на 7 октября 2008 года были проведены оперативные астрометрические и фотометрические наблюдения астероида 2008 ТС3, открытого за 19 часов до его столкновения с Землей. На интервале в 4 часа получено 270 наблюдений в интегральной полосе телескопа, что составляет 1/3 мировых наблюдений. На основе их анализа проведены оценки физических параметров астероида. Получена оценка абсолютной звездной величины астероида $(31.3 \pm 0.30)^m$ и его размера 2.57 м.

1. Введение

6 октября 2008 года в 6^h 39^m UTC Ричард Ковальски (Richard Kowalski) с помощью 1.5 метрового телескопа в обсерватории Маунт Леммон в Аризоне открыл небольшой сближающийся с Землей астероид [1]. Первые расчеты его орбиты показали, что астероид упадет на Землю через 19 часов после его открытия предположительно на территории Северного Судана [2]. К моменту входа астероида в атмосферу Земли в 26 обсерваториях мира было проведено более 800 измерений данного астероида, получившего наименование 2008 ТС3, треть из которых получены на телескопе ЗА-320М Пулковской обсерватории.

Объект вошел в атмосферу над территорией Северного Судана в 02^h 45^m 40^s UTC с относительной скоростью 12.4 км/с и через пять секунд взорвался в атмосфере на высоте 37 километров [2, 3]. Оставшиеся после взрыва фрагменты выпадали на Землю на протяжении траектории движения тела [2]. Поиск в районе предполагаемого падения осколков позволил обнаружить 47 метеоритов с общей массой 3.95 кг. Химический и спектральный анализ найденных обломков астероида показал, что метеориты принадлежат к классу ахондритов, урелитов. Причем, для данного класса метеоритов объект является аномальным: вместо обычной крупнозернистой структуры здесь наблюдается мелкозернистость с большими углеродными гранулами. Также необычным является высокое содержание металла и большая пористость (25-37% вместо обычных 9%). На основании анализа найденных обломков, были определены такие важные характеристики для астероида, как альbedo – 0.046 ± 0.005 и плотность – 2.3 ± 0.2 г/см³, а также из спектрального анализа было установлено, что упавший астероид принадлежал к таксонометрическому классу F [2]. Следует отметить, что для класса F данный астероид так же является необычным, поскольку типичное значение плотностей для объектов данного класса составляет $\sim 1.29-1.38$ г/см³ [4].

2. Наблюдения астероида 2008 ТС3 и их анализ

В 26 обсерваториях всего мира было получено 837 наблюдений. На рис. 1 приведена диаграмма, отображающая количество наблюдений для разных обсерваторий. На долю Пулковской обсерватории приходится 270 наблюдений, т.е. почти треть от общего числа. Наблюдения были получены на зеркальном астрографе ЗА-320М [5] (рис. 2).

Астрометрическая и фотометрическая обработка наблюдений астероида 2008ТС3 была выполнена с использованием программной системы АПЕКС-II [6]. Полученные астрометрические координаты и звездные величины (в инструментальной системе ЗА-

320M) астероида 2008 TC3 доступны на сайте по адресу:
<http://neopage.pochta.ru/ENG/OBSERVS/2008tc3.txt>

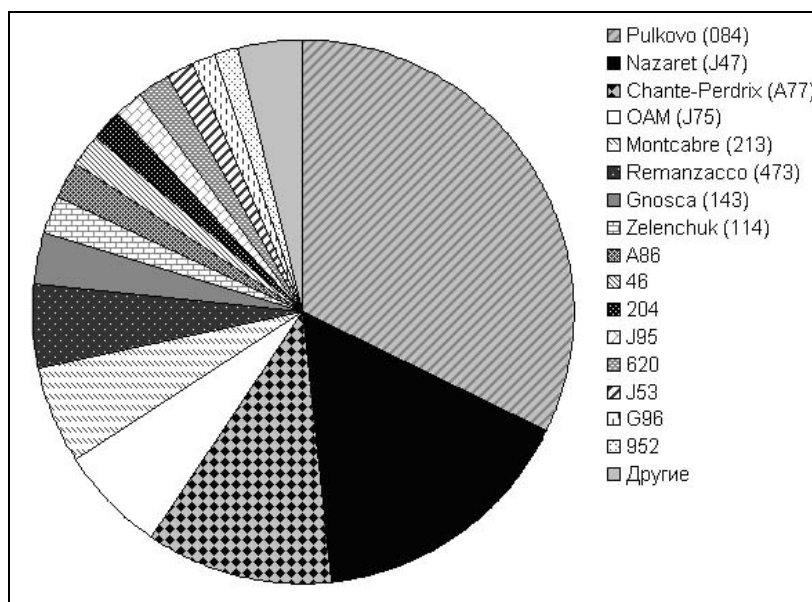


Рис. 1. Количество мировых наблюдений астероида 2008 TC3.

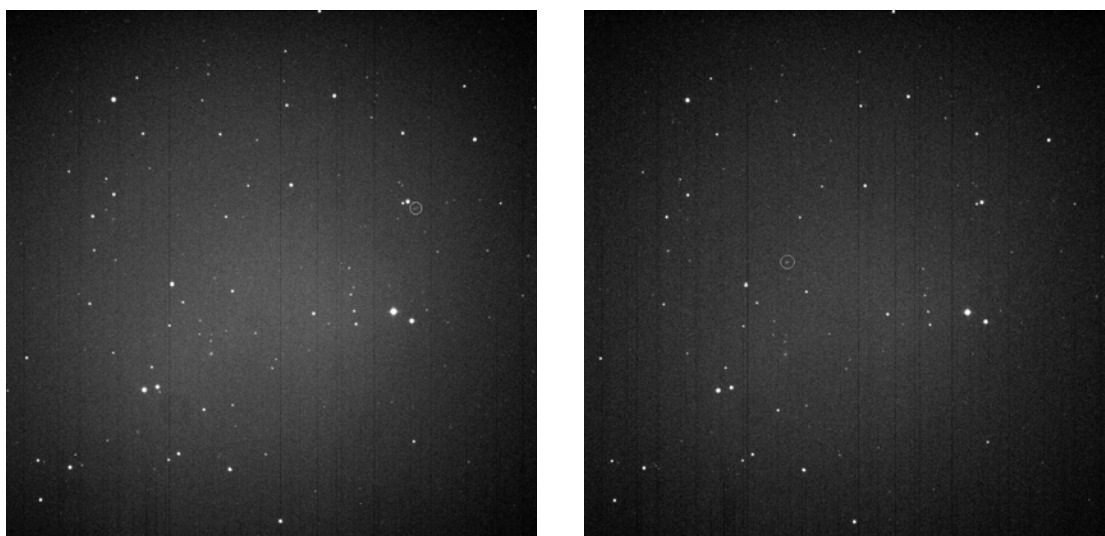


Рис. 2. ПЗС-кадры с изображением астероида 2008 TC3 (отмечен кружком), полученные с интервалом в 12 минут.

На рисунке 3 представлены фотометрические наблюдения, полученные в Пулковской обсерватории на ЗА-320M в интегральной полосе (300–900 нм).

Рассматриваемые наблюдения звездных величин астероида были приведены к одному расстоянию. Приведенная звездная величина вычислялась по следующей формуле

$$m = m_{obs} - 5 \lg \frac{rR}{r_0 R_0},$$

где m_{obs} – наблюдаемая звездная величина, r – расстояние от Земли до объекта, R – расстояние от Солнца до объекта, $r_0 = 0.0003$ а.е., $R_0 = 1$ а.е.

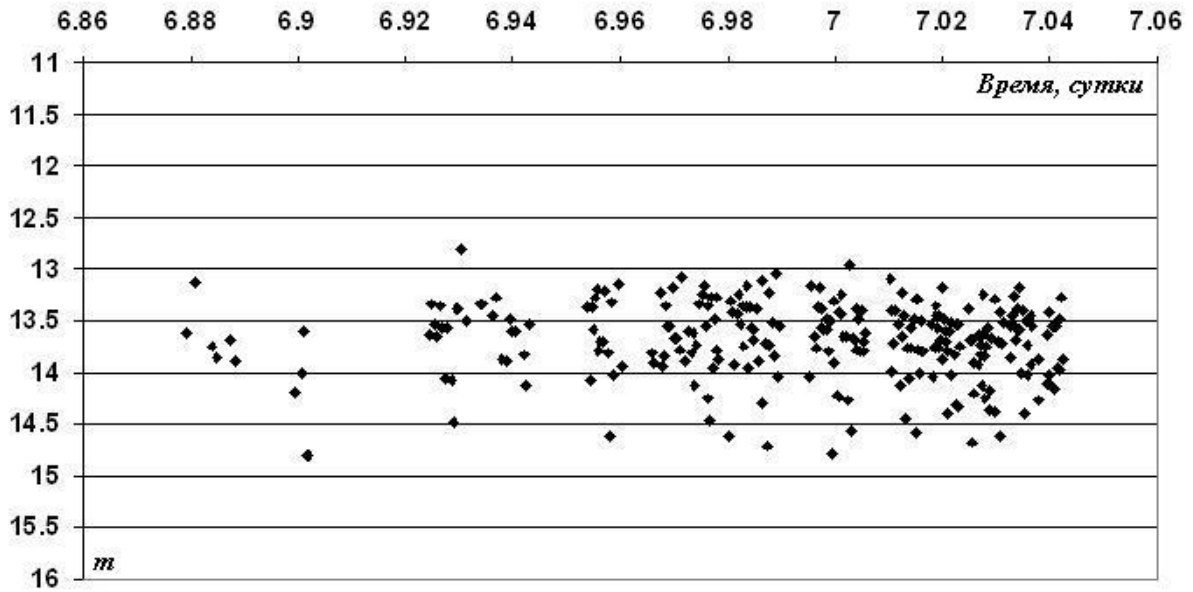


Рис. 3. Наблюдения астероида 2008 ТС3, полученные в Пулковской обсерватории.

Зависимость звездной величины астероида от угла фазы описывается параметром G , который называют параметром наклона, так как эта зависимость близка к линейной, и график имеет постоянный наклон [7]. Данная зависимость, полученная для астероида 2008 ТС3 по нашим наблюдениям, представлена на рисунке 4.

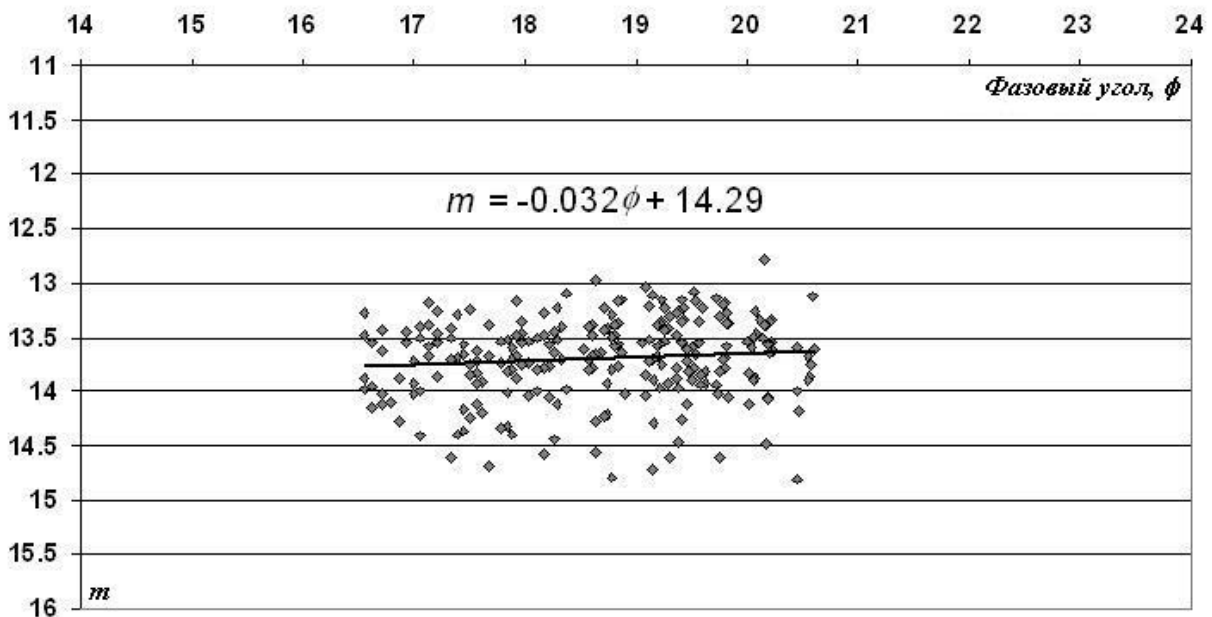


Рис. 4. Зависимость звездной величины от угла фазы для астероида 2008 ТС3, полученная на основе Пулковских наблюдений в интегральной полосе.

Используя аналитическое выражение для аппроксимации полиномом первой степени (прямая линия на рис. 4), можно определить, что нулевому фазовому углу соответствует звездная величина объекта m_0 . Используя это значение, можно провести оценку абсолютной звездной величины H астероида для интегральной полосы по формуле $H = m_0 - 5\lg(r_0R_0)$. Ошибка полученных оценок определялась по среднеквадратич-

ному отклонению точек от прямой, задающей линейную аппроксимацию. Таким образом было получено, что абсолютная звездная величина объекта в интегральной полосе составляет $H = (31.30 \pm 0.30)^m$.

Результаты наших астрометрических наблюдений представлены на рисунке 5. Средняя точность наблюдений по прямому восхождению и склонению составляет $0.''25$. Значения невязок (O-C) получены по элементам первоначальной орбиты [8], представленным в таблице 1.

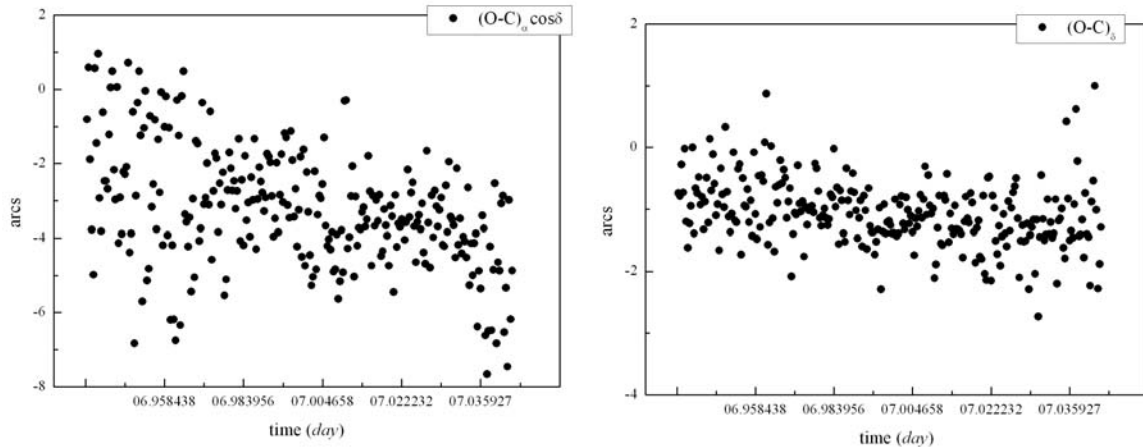


Рис. 5. Невязки по прямому восхождению и склонению астероида 2008 TC3

Таблица 1. Элементы гелиоцентрической орбиты астероида 2008 TC3 на момент 2454746.5.

| Обозначение | Название и единицы измерения | Значение |
|-------------|------------------------------|--------------------|
| a | Большая полуось, а.е. | 1.30820103011944 |
| e | Эксцентриситет | 0.3120649442158607 |
| i | Наклонение, ° | 2.542199962627214 |
| Ω | Долгота восходящего узла, ° | 194.1011383301041 |
| ω | Аргумент перигелия, ° | 234.4489653804233 |
| M | Средняя аномалия, ° | 330.7541044613792 |

3. Оценки возможных размеров астероида 2008 TC3

Оценки размеров астероида производились по формуле $\lg(D) = 3.122 - 0.5 \cdot \lg(p) - 0.2 \cdot H$, где H – абсолютная звездная величина, p – альbedo, D – диаметр объекта. Возможные значения размеров и массы астероида приведены в таблице 2 в зависимости от разных значений его альbedo и полученной нами оценки абсолютной звездной величины. С учетом того, что по найденным фрагментам астероида были определены значения его альbedo 0.046 ± 0.005 и средней плотности 2.3 г/см^3 , размер и масса астероида 2008 TC3 оценивается в 2,57 м и 20539 кг соответственно.

Таблица 2. Оценки размеров и массы астероида 2008 TC3 для разных значений альбедо

| Альбедо | <i>H</i> = 31.3 | |
|--------------|-----------------|--------------|
| | Диаметр(м) | Масса (кг) |
| 0.041 | 2.73 | 24409 |
| 0.042 | 2.69 | 23542 |
| 0.043 | 2.66 | 22726 |
| 0.044 | 2.63 | 21956 |
| 0.045 | 2.60 | 21228 |
| 0.046 | 2.57 | 20539 |
| 0.047 | 2.55 | 19887 |
| 0.048 | 2.52 | 19269 |
| 0.049 | 2.49 | 18682 |
| 0.05 | 2.47 | 18125 |

4. Заключение

Астероид 2008 TC3 упал на Землю 7 октября 2008 года. За несколько часов до катастрофы было получено более 800 наблюдений данного объекта, треть из которых принадлежит Пулковской обсерватории.

На основе полученных в Пулковской обсерватории наблюдений были сделаны оценки абсолютной звездной величины астероида для интегральной полосы телескопа, его размера и массы.

Была получена зависимость звездной величины астероида от угла фазы, которая оказалась нестандартной, т.е. имеет обратный наклон.

Литература

1. *McGaha, J.E.; Jacques, C.; Pimentel, E.; Garradd, G.J.; Beshore, E.C.; Boattini, A.; Gibbs, A.R.; Grauer, A.D.; Hill, R.E.; Kowalski, R.A.; Larson, S.M.; McNaught, R.H.; Williams, G.V.* Minor Planet Electronic Circ., 2008-T50 (2008).
2. *Jenniskens P., Shaddad M.H., Numan D. Elsir S. et al.* The impact and recovery of asteroid 2008 TC3 // *Nature*. 2009. V. 458. P.485-488.
3. *Kwok R.* The rock that fell to Earth. *Nature*. V. 458. P. 401-403.
4. *Виноградова Т.А., Железнов Н.Б., Кузнецов В.Б., Чернетенко Ю.А., Шор В.А.* Каталог потенциально опасных астероидов и комет // *Труды ИПА РАН*. СПб. 2003. Вып. 9. с.7-218.
5. *Девяткин А.В., Канаев И.И., Кулиш А.П. и др.* Автоматизация астрономических наблюдений на ЗА-320.П. // *Изв. ГАО*. 2004. № 217. С. 505–530.
6. *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*. / Ed G.B. Valsecchi and D. Vokrouhlicky. Cambridge: Cambridge University Press. 2007. P. 391-398.
7. *Alan W. Harris* A Practical Guide to Lightcurve Photometry and Analysis. Springer. 2006. 297 p.
8. <http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=2008TC3;orb=1;cov=0;log=0;cad=0#elem>

ANALYSIS OF MOTION PATH OF ASTEROID 2008 TC3

Aleshkina E. Yu., Kouprianov V.V., Devyatkin A.V., Verestchagina I.A., Slesarenko V.Yu.

Main (Pulkovo) Astronomical Observatory of RAS

On-line astrometric and photometric observations of asteroid 2008 TC3, discovered 19 hours before its impact with the Earth, were carried out with the mirror astrograph ZA-320M at Pulkovo observatory on the night from the 6 to the 7 of October, 2009. We obtained 270 frames in integral band of the telescope during 4 hours. It is about 1/3 part of the world observations. Estimations of asteroid's physical parameters were obtained on the basis of analysis of the observations. The absolute magnitude and asteroid's size estimated as $(31.3 \pm 0.30)^m$ and 2.57 m respectively.

ОБРАБОТКА И ИЗМЕРЕНИЕ ФОТОПЛАСТИНОК С РАССЕЯННЫМИ СКОПЛЕНИЯМИ НА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ «ФАНТАЗИЯ»

Ананьевская Ю.К.¹, Поляков Е.В.¹, Фролов В.Н.¹, Цветков М.К.²

¹*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, СПб, Россия,*

²*Институт астрономии Болгарской АН, София, Болгария*

Введение

В Пулковской обсерватории фотографические наблюдения ведутся с 1893 года после установки Нормального Астрографа. К 1941 году коллекция фотопластинок насчитывала около пяти тысяч снимков. Большая часть коллекции погибла во время войны, когда обсерватория была полностью разрушена, инструменты уничтожены. Удалось спасти лишь около тысячи пластинок.

Материал

Обсерватория была воссоздана и открыта в 1954 году. Был восстановлен Нормальный Астрограф, наблюдения начались в конце 1948 года. Взамен утраченного 30" рефрактора братьев Кларк в Пулкове был установлен Цейссовский 26" рефрактор – несостоявшийся подарок Гитлера Муссолини. Наблюдения на нём возобновились в 1956 году. В настоящее время в Пулковском стеклянном архиве собрано 40 тысяч пластинок. Коллекция продолжает пополняться за счет передачи пластинок из индивидуальных коллекций (фотонаблюдения прекращены).

Инструменты

Все имеющиеся пластинки оцифрованы на планшетных сканерах UMAX-1200 и UMAX-2400 с разрешением 600-1200 dpi. Эти сканы являются вспомогательным материалом для дальнейшей оцифровки на Автоматизированном Измерительном Комплексе (АИК) «Фантазия». Часть пластинок (около 6 тысяч) оцифрована на «Фантазии» 1996-2002 годах. Для обработки оцифрованного материала был разработан пакет программ визуализации, анализа и измерения изображений звезд. Дальнейшее выполнение работ сдерживалось тем, что АИК устарела и перестала удовлетворять современным требованиям.

В 2003 году началась глубокая реконструкция АИК на основе новейшей элементной базы. Благодаря применению новейших позиционных датчиков фирмы Renishaw [1], обладающих разрешением 100 nm, современной элементной базы, 5-мегапиксельных CMOS-матриц [2] удалось не только значительно улучшить технические характеристики (см. табл.), но и коренным образом изменить компоновочную схему установки, повысить надежность её работы. Появилась возможность выполнять сплошное сканирование пластинок за приемлемое время и забыть о дрейфе нуля-пункта. Кроме того, стали доступны для обработки очень плотные, передержанные астронегативы. Прежними остались лишь массивный (1500 кг) металлический стол и каретка (70 кг), размещаемая на аэростатических подшипниках двумя линейными электродвигателями.

Алгоритмы, хорошо зарекомендовавшие себя ранее, включены в состав нового матобеспечения. Разработаны новые программы, обеспечивающие обработку оцифрованных полей большого размера: составление общего изображения пластинки или её части из мозаики отдельных кадров, последовательно оцифровываемых камерой. Реализованы новые алгоритмы поиска звездных изображений, анализа их формы, отождествления пластинок между собой, выборки звезд, общих для всех пластинок серии. С 2006 года «Фантазия» работает в экспериментальном режиме.

Таблица. Технические характеристики АИК «Фантазия»

| Система позиционирования | | | Система сканирования | | |
|--|------------------------|--|--|------------------|-------------------------|
| Характеристика | прежняя | настоящая | Характеристика | прежняя | настоящая |
| | Лазерный интерферометр | Позиционный датчик "Renishaw" | | ЭЛТ+ФЭУ | КМОП-камера +осветитель |
| Рабочее поле, мм | 370×370 | 370×370 | Поле зрения, мм ² , пикселов ² | 4×4 4096×4096 | 7.33×5.44 2592×1944 |
| Время позиционирования, с | 4 | 2-5 | Скорость считывания, Mdot s ⁻¹ | 0.020 | 10.0 |
| Точность позиционирования, мкм | 1 | 0.1-0.3 | Апертура, мкм | 2-3 | — |
| Точность измерения положения, мкм | 0.32 | 0.1 [*] 0.01 ^{**} | Размер пиксела, мкм ² | — | 2.83×2.78 |
| Скорость движения каретки, мм/с | 330 | 80 | Разрешение, мкм ² | 1×1 | 2.83×2.78 |
| Дрейф нуля-пункта за 6 часов работы, мкм | 5-15 | 0.0-0.3 | Дрейф нуля-пункта за 6 часов работы, мкм | 2-3 | 0 |
| | | | Динамический диапазон | 2D | 3D |

Метод

Пулковская астрографическая коллекция среди прочих имеет в своем составе несколько сотен пластинок с рассеянными скоплениями. В 2007 году большая часть из них была оцифрована на реконструированной «Фантазии», разработано матобеспечение для обработки сканов с использованием гораздо более широких, не имевшихся ранее, возможностей фактически новой измерительной машины.

Следует отметить, что поступающий в обработку фотографический материал неоднороден по своему качеству. Пластинки могут различаться по плотности (разные экспозиции), размытости (погодные условия), уровню шумов (различные эмульсии), наличию дефектов (царапины, пометки, признаки старения), способу съемки (экспонированные непосредственно на эмульсию или сквозь стекло) и т.п. Процесс обработки направлен на нивелирование указанных различий и приведение материала к однородному состоянию, что позволяет минимизировать влияние неблагоприятных факторов на результаты дальнейших измерений.

Алгоритм процесса обработки и измерения серии пластинок:

1. выбрать в БД оцифрованные изображения пластинок («сканы») со снимками изучаемого скопления,
2. выбрать наиболее глубокий скан, считать его «опорным» сканом,
3. на опорном скане распознать изображения звезд, получить их предварительные координаты,
4. в пределах центральной части опорного скана выбрать 8-10 звезд средней яркости в качестве опорных,
5. среди опорных назначить одну из звезд центральной,
6. выбрать из стеклотеки все пластинки (стеклянные) со скоплением,
7. установить очередную пластинку в измерительную машину «Фантазия»,
8. обзорной камерой «Фантазии» получить кадр центрального участка пластинки,
9. распознать на кадре изображения звезд, получить их координаты,
10. отождествить распознанные объекты (п. 8) с опорными на скане (п. 4),

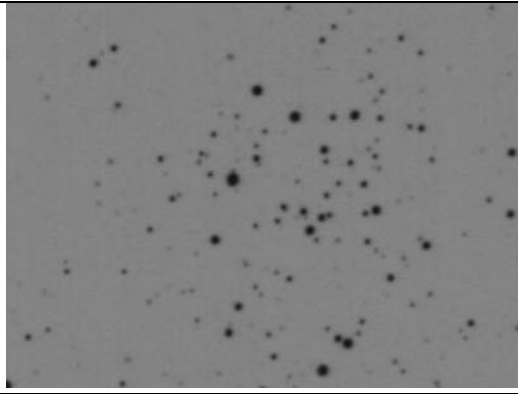
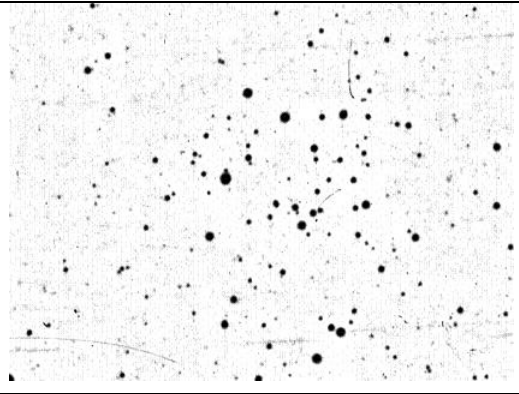
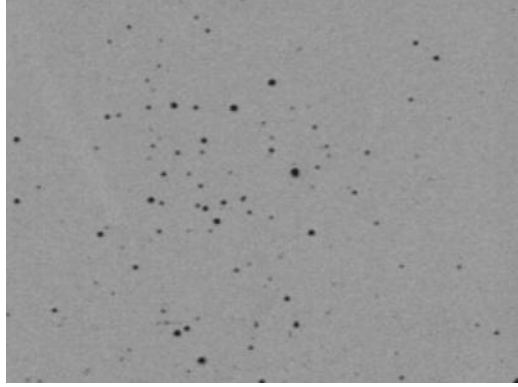
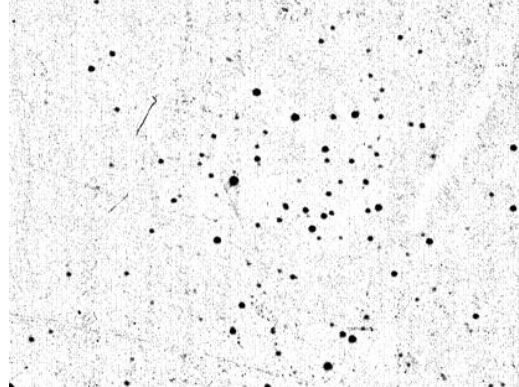
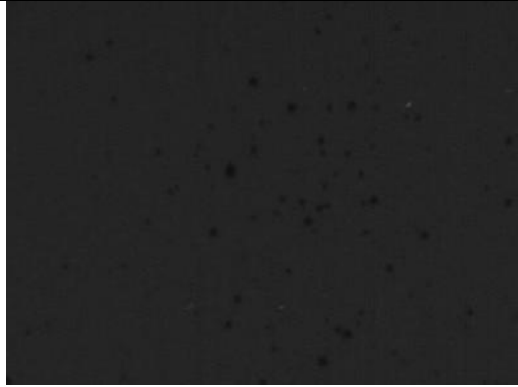
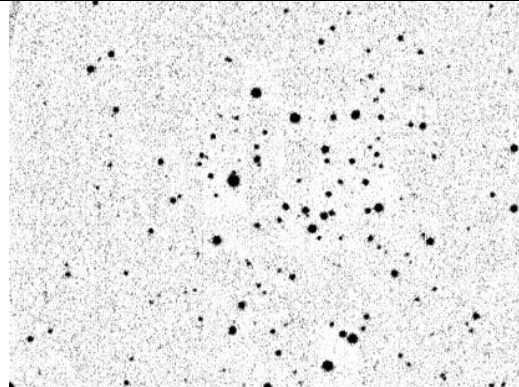
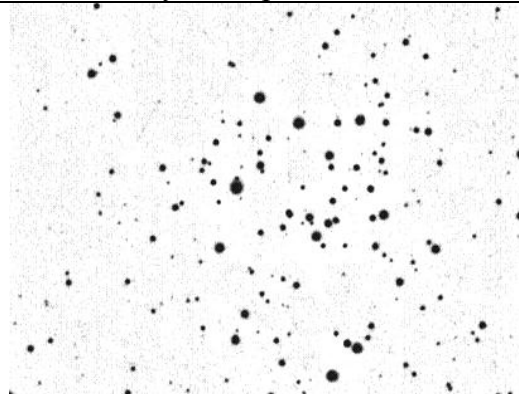
11. связать системы координат скана и кадра текущей пластинки,
12. вывести пластинку в окно зрения основной камеры так, чтобы центральная звезда оказалась в центре окна,
13. оцифровать участок пластинки со скоплением (размеры участка задаются заранее). Оцифровка выполняется в виде мозаики окон – полей зрения камеры, с 10%-м перекрытием окон,
14. выполнить «постъюстировку»: несмотря на высокую точность юстировки камеры (угол между осями координат систем сканирования и позиционирования не превышает 1-3'), в алгоритм формирования из мозаики окон общего изображения введена операция постъюстировки – определения взаимной ориентации соседних окон путем отождествления изображений фона на их перекрывающихся краях и доворота изображений относительно друг друга. Этим угловая невязка осей соседних окон снижается до 2-3" или 0.1 микрона,
15. сформировать составное цифровое изображение пластинки из мозаики отдельных окон,
16. привести составные изображения всех пластинок к единой яркостной шкале путем вычитания среднего фона и нормирования яркости к заданному диапазону,
17. отождествить сканы друг с другом и привести изображения к единой системе координат для последующего их суммирования,
18. выполнить сложение всех изображений для получения усредненного изображения. Последнее выгодно отличается от отдельных изображений значительным уменьшением шумов фона, «проявлением» невидимых ранее изображений очень слабых звезд, улучшением формы изображений слабых звезд, т.е. упорядочением распределения плотности в их изображениях,
19. распознать (отыскать) все изображения звезд на оцифрованном участке, перенумеровать их, определить их предварительные координаты и величины. Нужно отметить, что на усредненном изображении, как правило, обнаруживается заметно больше звезд, чем на отдельных изображениях, составляющих усредненное. Особенно это касается пластинок плохого качества, когда количество распознанных объектов может различаться в разы. Следующее замечание относится к координатам звезд: ясно, что, суммируя изображения объектов, обладающих собственным движением, мы получаем некие осредненные их положения, отягощенные весом, зависящим от интегральной характеристики качества пластинки. Тем не менее, полученные осредненные значения оказываются пригодными как предварительные координаты для последующего измерения изображений звезд на каждой отдельной оцифрованной пластинке,
20. используя список предварительных координат (п. 18), выполнить позиционные и фотометрические измерения на всех оцифрованных пластинках.

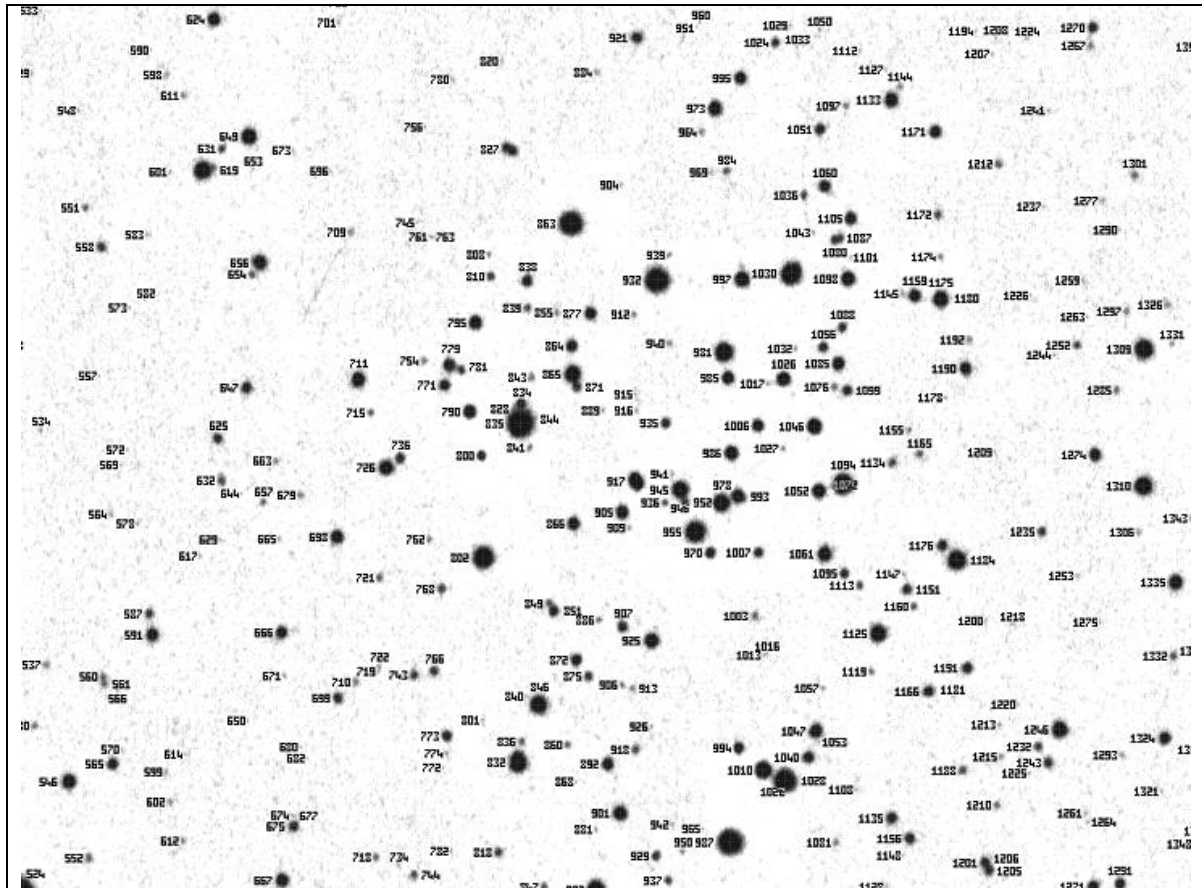
Результат

Предлагаемая методика (п. 1-20) применена при обработке серии пластинок со снимками скопления NGC 2323.

Рассеянное скопление NGC 2323 проецируется на очень богатую звездами область Млечного пути, что вызывает определенные трудности для его исследования. По данным компилятивного электронного каталога рассеянных скоплений Галактики (WEBDA) экваториальные координаты его центра: $\alpha = 07^{\text{h}} 02^{\text{m}} 42^{\text{s}}$, $\delta = -08^{\circ} 23' 00''$ (2000.0); галактические: $l = 221^{\circ}.672$, $b = -1^{\circ}.331$.

Основной астрометрический материал для определения собственных движений звезд скопления составили пластинки, снятые на Пулковском нормальном астрографе в период с 1930 по 1990 гг.:

| Исходное изображение | Обработанное изображение |
|---|--|
|  |  |
| <p>NGC 2323, 1930.02.19, exp = 60 min →</p> | <p>▼ сложить</p> |
|  |  |
| <p>NGC 2323, 1949.003.02, exp = 40 min →</p> | <p>▼ сложить</p> |
|  |  |
| <p>NGC 2323, 1989.02.23, exp = 15 min →</p> | <p>▼ получить среднее</p> |
| |  |
| | <p>↙ распознать, перенумеровать</p> |



| Пластинки | Эпохи |
|-----------|---------------|
| C 694 | 1930 февр. 19 |
| D 46 | 1949 март 02 |
| 15500 | 1988 янв. 25 |
| 15501 | 1988 янв. 25 |
| 15977 | 1989 февр. 22 |
| 16183 | 1990 февр. 22 |

В пределах площадки размером $42'.5 \times 42'.5$, центром которой является скопление, были измерены прямоугольные координаты звезд до предела величин $B \sim 16^m$. Некоторые слабые звезды не были измерены на всех пластинках из-за низкого качества их изображений. Поэтому для выведения СД использовалось от 3-х до 6-ти пластинок.

Относительные собственные движения звезд определялись с помощью линейного метода, детально описанного в статье Жилинского и др. (Известия ГАО РАН, т. 215, 57, 2000). В качестве опорной пластинки, на которую приводились все остальные, использовалась самая глубокая – D 46, ориентированная по звездным положениям из каталога «Тихо-2». Редукция была осуществлена по 32 звездам, выбранным в интервале звездных величин $13^m.5 < B < 14^m.5$. Точность полученных собственных движений описывается следующими величинами среднеквадратичных ошибок: $\sigma_x = \pm 4.92$ и $\sigma_y = \pm 4.80$ мас/год. Всего в пределах исследуемой площадки они были определены для 1431 звезды. Все астрометрические результаты собраны в каталог, в столбцах которого содержатся следующие данные: 1. Номер звезды, 2. Ее номер в каталоге USNO-A 2.0, 3 и 4. Прямоугольные координаты X и Y в минутах дуги, 5-8. СД по X и Y и их ошибки в мас/год, 9. Число использованных пластинок, 10. Вероятность принадлежности к скоплению в %, 11. Примечания.

В дальнейшем на основании полученного при измерениях материала были отобраны члены скопления NGC 2323 и определены его основные физические параметры. Каталог будет доступен после публикации итоговой статьи.

Заключение

Описанная методика обработки оцифрованных изображений с использованием суммарного (усредненного) изображения обнаруживает ряд преимуществ по сравнению с ранее использовавшимся подходом, состоявшим в поиске звезд на каждом из оцифрованных изображений, последующим их измерением и отождествлением полученных списков координат друг с другом.

Обсуждаемая методика позволяет:

1. избавиться от большей части артефактов и дефектов, различных для различных пластинок,
2. выделить звезды в наиболее полном составе, превышающем, как правило, количество звезд, обнаруженных на каждой из отдельных пластинок,
3. измерить звезды в рамках единой их идентификации (нумерации, составленной при распознавании объектов усредненного изображения), т.е. избежать довольно сложной и неоднозначной процедуры многокомпонентного отождествления (каждой пластинки с каждой) для получения каталога скопления.

Пример обработки изображений: приведение составных изображений всех пластинок к единой яркостной шкале путем вычитания среднего фона и нормирование яркости к заданному диапазону (п. 16), суммирование изображений и получение усредненного изображения (п. 17), распознавание и перенумерация звезд (п. 18).

Литература

1. Бесконтактные энкодеры RENISHAW
[http://resources.renishaw.com/download/\(fd219a601a7d48029567686a4300c8d0\)?lang=ru&inline=true](http://resources.renishaw.com/download/(fd219a601a7d48029567686a4300c8d0)?lang=ru&inline=true)
2. Мегапиксельные телевизионные камеры ЭВС <http://www.evs.ru/prod.php?gr=6>

PROCESSING AND MEASURING OF OPEN CLUSTERS PHOTOPLATES WITH AUTOMATIC MACHINE "FANTASY"

Anan'evskaja Ju.K.¹, Frolov V.N.¹, Poliakov E.V.¹, Tsvetkov M.K.²

¹*Pulkovo Observatory, Russian Academy of Sciences, Russia*

²*Institute of Astronomy, Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria*

The algorithm of processing and measurement of the astronegatives which contain photos of open clusters, with reconstructed astrographic machine "Fantasy" is presented.

О ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРЕДПОСЫЛКАХ АНОМАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ В РАЙОНЕ ЛАДОЖСКОГО И ОНЕЖСКОГО ОЗЁР

**Ассиновская Б.А.¹, Горшков В.Л.¹, Овсов М.К.¹, Щербакова Н.В.¹,
Галаганов О.Н.², Гусева Т.В.², Розенберг Н.К.²**

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

²Институт физики Земли РАН, Москва

Введение

Динамика литосферы на протяжении многих лет была предметом исключительно геологических и геофизических исследований. Основой современных представлений о горизонтальных движениях литосферных плит стали данные середины прошлого века о полосовых магнитных аномалиях, простирающихся вдоль срединных океанических хребтов и вызванных периодическими сменами ориентации глобального магнитного поля и раздвиганием дна океана (спрединг). В сейсмологии примерно тогда же возникло понимание динамики литосферы на основе глобального распределения сейсмических поясов, векторов смещений при землетрясениях в зонах субдукции и механизмов землетрясений в трансформных разломах. На основе этих данных были оконтурены литосферные плиты и построены первые модели их движения.

Развитие методов космической геодезии позволило с высокой точностью (до долей мм в год) осуществить прямые измерения современных движений литосферных плит и деформаций на их границах. GPS мониторинг областей с повышенной сейсмичностью, находящихся вблизи активных разломов и зон сопряжения тектонических плит, развивается бурными темпами. В таких странах как Япония, США, Италия, странах юго-восточной Азии существуют очень плотные национальные GPS сети, позволяющие в режиме реального времени отслеживать динамику региональных деформационных процессов. Эти данные совместно с сейсмическим мониторингом позволяют строить адекватные геодинамические модели, прогностическую ценность которых трудно переоценить для столь плотно заселённых и экономически развитых регионов. Однако и для таких спокойных в сейсмическом отношении регионов как северо-запад России GPS мониторинг может дать много полезной информации.

Геодинамика Ладожско-Ботнической зоны

Современная геодинамика Фенноскандинавского кристаллического архейско-протерозойского щита предопределяется двумя процессами – спредингом Срединно-Атлантического хребта и релаксацией земной коры в вертикальном направлении после снятия ледниковой нагрузки. Земная кора региона неоднородна как по вещественному составу, так и тектонически: она разбита на блоки многочисленными зонами дислокаций и деформаций, вследствие чего повсеместно существуют так называемые ослабленные зоны и прочностные барьеры, где при воздействии внешних усилий образуются области перераспределения напряжений. В таких районах образуются локальные напряженные участки и сейсмогенные зоны (Wahlstrom, Assinovskaya, 1998).

Исследуемый регион расположен как в зоне сочленения кристаллического щита и Восточно-Европейской платформы (Карельский перешеек), так и на границе двух блоков Фенноскандинавского щита в, так называемой, Ладожско-Ботнической зоне, юго-западным продолжением которой является Ладожская структура. Ладожская структура сложена осадочно-вулканогенными и интрузивными породами и сформирована в тектонический этап нижнего протерозоя (Шаров, ред., 2003). Структура имеет сложное внутреннее строение вследствие проявления нескольких этапов складчатости. В её

строении принимают участие несколько поднятых и опущенных блоков земной коры. В рифее (~500 млн. лет назад) в осевой части структуры образовался грабен, сложенный осадочно-вулканогенной толщей, мощность которой колеблется от 200 до 1000 метров. Грабен выражен в рельефе как котловина Ладожского озера (рис. 1). Краевые и некоторые внутренние зоны, например Валаамский блок, выделяются как области дифференцированных движений с общей тенденцией к поднятию. В пределах Ладожской структуры отмечены многочисленные разрывные нарушения северо-западного, субширотного и субмеридионального простирания, расчленяющие породы на блоки разного размера. Благодаря такой ориентировке разрывов в северо-западной части Ладожского грабена образовалась зона дробления. Карельскими исследователями в этой части структуры обнаружены многочисленные палеосейсмодеформации – следы древних землетрясений с возрастом 1-10 тысяч лет.

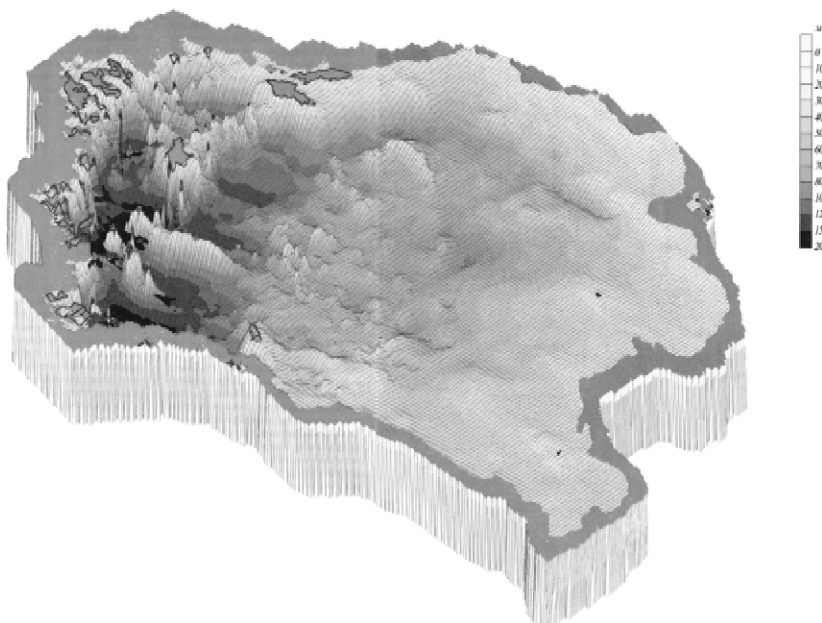


Рис. 1. Рельеф дна Ладожского озера (М.А. Науменко, ИО РАН).

Ладожская структура и ее обрамление сейсмически активны (Ассиновская, 2005; Шаров, ред., 2003). С начала XX века здесь произошло 29 землетрясений с магнитудами 1-3, из них 5 зарегистрировано инструментально в области Савонлинна (Финляндия) вблизи границы с Россией в 1980-2009 годы. В этой связи в целях комплексного изучения региона нами совместно с геофизической службой РАН на о. Валаам и в г. Выборге были установлены трехкомпонентные сейсмические станции регионального типа. Совместное использование GPS наблюдений, данных спутниковой альтиметрии, данных о долговременных колебаниях уровня воды в Балтийско-Ладожском бассейне и сейсмический мониторинг региона должны обеспечить достаточный уровень точности для извлекаемой геодинамической информации. Практическое значение результатов такого исследования состоит в детализации геодинамической обстановки в регионе, что может быть использовано при долговременном планировании освоения ресурсов региона.

Результаты GPS измерений в регионе

Комплексное изучение послеледниковой поднятия геодезическими и гравиметрическими методами в совокупности с климатическим мониторингом активно ведется в странах Скандинавии. Многочисленные геодезические, гравиметрические и гидрологические (уровень моря) исследования позволили создать карту поднятия. Максимальный

подъем (до 1 см в год) наблюдается на севере Ботнического залива и плавно спадает к границам Балтийского щита. Но это только общая картина. Например, на севере Ладожского озера по данным геодезического нивелирования (Kakkuri, Routanen, 1997) и первым в этом районе GPS-наблюдениям в течение 1999-2001 гг. (Прилепин и др., 2002) обнаружен еще один максимум скорости поднятия, хотя чуть меньший по величине (6-8 мм/год).



Рис. 2. Слева – вид на антенну станции PULK, справа – GPS сеть исследованных станций.

С 2002 года в Пулковской обсерватории в непрерывном режиме работает GPS станция (PULK) на базе приёмника 4000SSi с антенной TRM41249.00 (рис. 2, слева). С 2008 года станция включена в Европейскую опорную геодезическую сеть (EPN). Совместно с данными других станций EPN и IGS сетей в северо-западном регионе Европы (JOEN, METS, SVTL) и сезонными геодезическими GPS наблюдениями в районе Онежского и Ладожского озёр (рис. 2, справа), проводимыми с 2000 года силами сотрудников ИФЗ РАН (VALM, MELO, BOTS, GIRS), была исследована кинематика движений в данном регионе (Щербакова, Горшков, 2007). При этом оценки горизонтальных и вертикальных движений по GPS наблюдениям (Артюховский и др., 2007) сопоставлялись с гидрологической динамикой озёр по данным спутниковой альтиметрии и данными региональной сейсмологической сети.

GPS наблюдения обрабатывались пакетом GIPSY 5.0 с использованием стратегии точного положения. Координаты получены в системе IGS05. Для разрешения фазовых неоднозначностей использовался пакет AMBIZAP2 (Blewitt, 2006). Поправки за атмосферные и гидрологические нагрузки в геодезические GPS наблюдения вносились по данным службы (<http://vlbi.gsfc.nasa.gov/aplo>). На рис. 3 приведены наиболее интересные результаты наблюдаемой вертикальной кинематики в регионе. В то время как горизонтальные движения полевых станций в целом отражают движение Евро-Азиатской плиты для данного региона, их скорости поднятия аномально велики и превышают фоновые величины поднятия для окружающих регион базовых станций EPN сети.

Для базовых станций имеется значительная сезонная составляющая, которая в 2005 году претерпела для всех станций излом с последующим ростом скорости поднятия. Этот достаточно курьёзный результат можно, по-видимому, связать с сейсмическими событиями конца 2004 года – с близким и достаточно сильным для данного региона (магнитуда 5.5) Калининградским и экстремальным Суматринским землетрясениями.

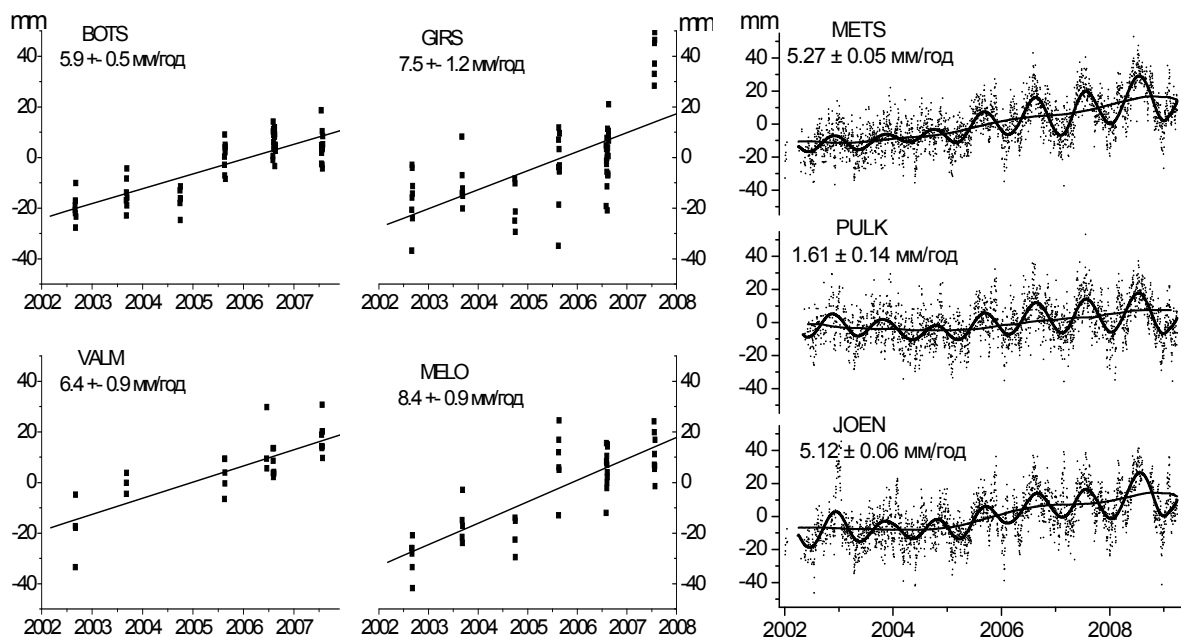


Рис. 3. Вариации вертикальных составляющих GPS станций и оценка их линейного тренда.

Геодинамический анализ результатов

В качестве одного из факторов дополнительного поднятия региона мы исследовали вариации уровня воды в бассейне Ладожского озера (Богданов и др., 2002). Поднятие региона должно вызывать соответствующее опускание уровня воды в Ладоге. В свою очередь, сезонные и межгодовые изменения уровня воды в Ладожском и Онежском озёрах могут стимулировать рост микросейсмической активности своими переменными нагрузками на их котловины, как это часто наблюдается на регулируемых водохранилищах. На рис. 4 приведены среднегодовые вариации уровня воды в Ладожском озере.

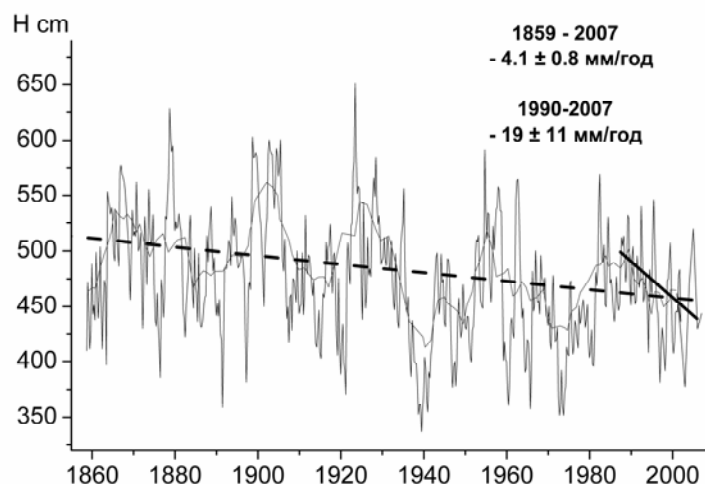


Рис. 4. Вариации уровня воды в Ладоге.

Средняя скорость депрессии озера с начала регистрации (-4.1 ± 0.8 мм/год) близка по абсолютной величине послеледниковому поднятию окружающих регион перманентных GPS станций. На эту вековую депрессию озера накладываются большие низкочастотные вариации с основными модами в 25-32 года и 5-7 лет. В частности, сред-

нее уменьшение уровня воды в Ладожском озере с 1990 по 2004 года составило - 19 мм/год.

Для бассейнов Ладожского и Онежского озёр с 1992 года имеются более подробные данные спутниковой альтиметрии (<http://www.pescad.fas.usda.gov/cropexplorer/>). Именно эти данные были использованы для учёта нагрузочных поправок в GPS наблюдения. По ним средняя депрессия Ладожского озера составляет -10.1 ± 3.9 мм/год, что близко к нашим оценкам поднятия этого региона (8 мм/год). Как видим, депрессия Ладожского озера и поднятие станций MELO и VALM в среднем за интервал наблюдений находятся в хорошем согласии. Таким образом, вековая депрессия Ладожского озера отражает уровень послеледникового поднятия региона, в то время как современная динамика уровня воды в озере соответствует обнаруженному аномальному поднятию района северной Ладоги. Однако основная причина аномального поднятия ладожских станций, безусловно, коренится в структурных особенностях геологического строения данного региона и в его динамике.

Горизонтальная кинематика движения полевых станций в основном отражает движение Евро-Азиатской плиты для данного региона. На рис. 5 представлены остаточные горизонтальные скорости станций после снятия модельного (ITRF2000) движения EA плиты. Горизонтальные деформации вычислены с помощью пакета GRID-STRAIN (Teza et al., 2007).

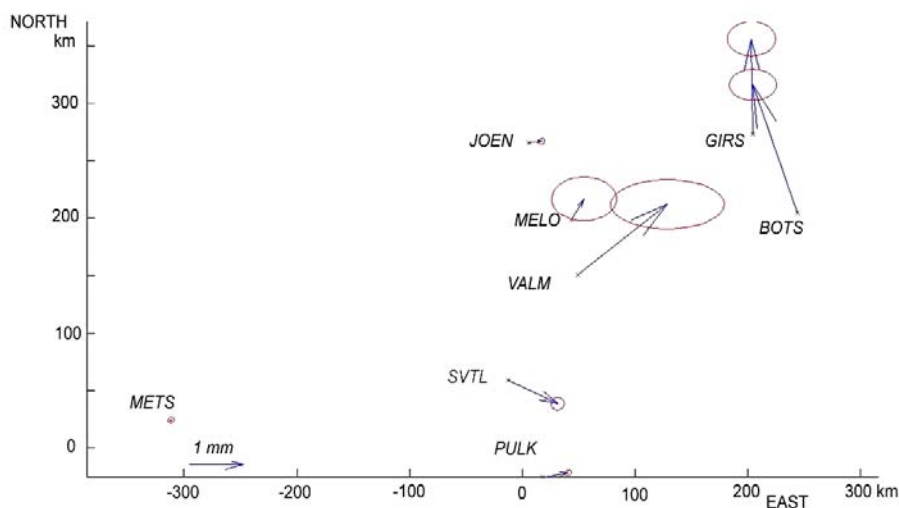


Рис. 5. Остаточные горизонтальные скорости исследованных станций и их эллипсы ошибок.

Анализ карт горизонтальных деформаций по GPS наблюдениям показал, что Ладожско-Ботническая зона отмечена сменой ориентации растягивающих усилий с северо-западного на субмеридиональное. Принято считать, что области смены режима деформаций являются активными тектоническими нарушениями.

Карельский перешеек и южная часть Ладожского грабена в соответствии с нашими данными находятся в зоне сдвиговых деформаций. При этом север Ладоги и Северное Приладожье оказываются в области чистого горизонтального сжатия, что, возможно, объясняет современное поднятие этой структуры.

Дистанционными методами на Карельском перешейке обнаружена мощная зона повышенной трещиноватости и высокого конвективного теплового потока по данным Тронина А.А. (Ассиновская и др., 2009). Выделяемая по этим данным разломная зона в плане совпадает с деформационными линиями, обнаруженными нами по GPS данным. Можно предположить, что разлом протягивается к северу в сторону Ладоги. Другим важным фактором, отражающим специфику геологического строения Ладожского

грабена, является обнаруженная повышенная проводимость всей коры и мантии в центральной его части. Одной из возможных причин этого может быть их флюидонасыщенность (Шаров, 2003).

Характер поля скоростей движений и деформаций, установленных по GPS данным в области Ладожского грабена и окрестностей, хорошо объясняется описанными выше геологическими особенностями региона, а неоднородная структура поля и его локальные особенности подтверждают современную геодинамическую активность некоторых тектонических нарушений и их потенциальную сейсмическую опасность.

Литература

- Артюховский А.П., Горшков В.Л., Щербакова Н.В.*, 2007. Динамика взаимных положений ряда GPS-станций северо-западного региона Европы. Тр. ИПА РАН, вып.17, с.173-178.
- Ассиновская Б.А.*, 2005. Сейсмические события на Ладоге в XX веке. Известия РГО, т.137, вып.4, с. 70-76.
- Ассиновская Б.А., Верзилин Н.Н., Карпинский В.В., Тронин А.А.*, 2009, Сейсмогеологическое исследование очаговой зоны исторического землетрясения 13 мая 1902 года на северном берегу оз. Суходольское. Вестник Санкт-Петербургского университета, сер.7, в печати.
- Богданов В.И., Кравченко Т.Г., Малова Т.И., Маринич М.А.*, 2002. Изменения уровня Ладожского озера по наблюдениям 1859-2001 гг. на Валааме, Доклады АН, т. 386, № 5, с. 672-675.
- Прилепин М.Т., Мишин А.В., Кабан М.К., Баранова С.М.*, 2002. GPS изучение геодинамики Балтийского щита. Физика Земли, № 9, с. 49-58.
- Шаров Н.В.* (ред.), 2003, Сейсмичность Карельского региона. Глубинное строение и сейсмичность Карелии. Петрозаводск: Изд-во Карельского Центра РАН.
- Щербакова Н.В., Горшков В.Л.*, 2007, Динамика взаимных положений ряда GPS-станций северо-западного региона Европы. Геодезия и Картография, № 11, с. 15-18.
- Blewitt G.*, 2006. The fixed point theorem of ambiguity resolution for precise point positioning of GPS networks: theory and applications. EOS Trans. AGU 87 (52).
- Kakkuri J., Poutanen M.*, 1997, Geodetic determination of the surface topography of the Baltic sea. Marine Geodesy, v.20, 4, 1-10.
- Teza G., Pesci A., Galgano A.*, 2008. Grid_strain and grid_strain3: Software packages for strain field computation in 2D and 3D environments, Computers & Geosciences, 34, 9, 1142-1153.
- Wahlstrom R., Assinovskaya B.*, 1998. Seismotectonics and lithospheric stresses in the Northern Fennoscandian Shield. Geophysica, Vol. 34, № 1-2. P.P. 51-63.

ON GEOPHYSICAL BACKGROUND OF ANOMALOUS MOTION IN REGION LADOGA AND ONEGA LAKES

**Assinovskaya B.¹, Gorshkov V.¹, Ovsov M.¹, Scherbacova N.¹,
Galaganov O.², Guseva T.², Rosenberg N.²**

¹Main (Pulkovo's) astronomical observatory of RAS, St.-Petersburg

²Institute of Physics of the Earth of RAS, Moscow

The permanent and field GPS observations during 2002-2007 were used to estimate a regional intraplate dynamic in the south-east border of the Baltic shield close to the Ladoga and Onega lakes. The high components nearby the Lake Ladoga and Onega GPS points have large uplifting (6-8 mm/year) whereas adjacent permanent IGS and EPN stations in Finland and Russia have usual for this region values of uplifting (1-5 mm/year). The value of this current north Ladoga uplifting is close to the mean velocity of the Lake Ladoga depression (-10 mm/year) in epoch of observations since 1992 whereas the secular depression of the Lake Ladoga is equal to -4 mm/year. The horizontal components of these points permit to suppose some faults in the geological structure of this region. The other geological and geophysical backgrounds of this anomalous kinematics of region are discussed in the paper.

СВЯЗЬ ПОВЕРХНОСТНОЙ И ГЛУБИННОЙ ГЕОДИНАМИКИ НА ПРИМЕРЕ КАЛИНИНГРАДСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 21 СЕНТЯБРЯ 2004 ГОДА

Ассиновская Б.А., Малкин З.М., Щербакова Н.В.

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

В последние годы в мире активно развивается новое научное направление, исследующее взаимосвязи сейсмичности и уровня современных движений земной коры, установленными методами Глобальной Навигационной Спутниковой Системы (ГНСС, GPS), например, [Yosihiko Ogata1, 2007].

Применительно к региону восточной Балтики данные подходы могут быть использованы в части обнаружения и изучения характерных особенностей локальных геодезических аномалий, полученных по методу GPS, сравнительного анализа геодинамики сейсмоактивных и асейсмичных районов, разработки методологии картирования деформационных зон и т. д.

В геодинамическом отношении земная кора Восточно-Балтийского региона находится как в состоянии регионального горизонтального сжатия, источником которого являются процессы спрединга в Срединно-Атлантическом океаническом хребте, что подтверждается прямыми измерениями параметров напряжений и деформаций в массивах горных пород и в скважинах [http://dc-app3-14.gfz-potsdam.de/pub/stress_data/stress_data_frame.html], так и компенсаторного растяжения, контролирующего опускание Балтийской синеклизы. Дополнительным геодинамическим фактором, по мнению некоторых исследователей, является релаксация земной коры вследствие снятия ледовой нагрузки. Однако на локальном уровне типы напряженного состояния, а соответственно, характеристика движений зависят от прочностных и морфологических параметров конкретных структурных зон.

Заметным проявлением локальной геодинамической активности стало Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 года, состоящее из нескольких сейсмических толчков. Эпицентры двух наиболее сильных с магнитудой 5.0-5.2 и глубиной 8-15 км располагались в Гданьском заливе у западного берега Самбийского полуострова [Ассиновская, Овсов, 2008, Калининградское ..., 2009]. Как известно, сейсмические события являются источником так называемых косейсмических и постсейсмических напряжений и деформаций, распространяющихся на значительные расстояния, которые возможно оценить количественно и сравнить с аналогичными характеристиками, полученными, например, по GPS измерениям.

Интенсивность сейсмических сотрясений определяется смещениями поверхности вблизи очага и на расстоянии, так, например, 9 баллов – это 0.15 м/с, 8 – 0.055 м/с, 7 – 0.03 м/с и т.д. (по Медведеву С.В.). На картах интенсивности сотрясений землетрясения [Wiejacz, Gregersen, Dębski et al., 2007] обозначены изосейсты 3-6 баллов, что обозначает распространение колебаний вокруг очага и на расстоянии до 900 км со скоростями 0.0007 м/с – 0.015 м/с.

Другим способом оценки характеристик движения грунта – амплитуд или скоростей движений – является использование широкополосной сейсмической аппаратуры. Так по станциям, размещенным вокруг очаговой зоны в Польше (SUW, WAR, GKP), Литве (IGN), Дании (BSD), Швеции (GOTU) было установлено, что амплитуды косейсмических движений в терминах скоростей в зависимости от расстояния и геологической обстановки составили 0.0049 – 0.0003 м/с [Wiejacz, Gregersen, Dębski et al., 2007] (рис. 1).



Рис. 1. Карта расположения сейсмических станций [Wiejacz, Gregersen, Dębski et al., 2007] и характеристики движения грунта (цифры курсивом), записанные широкополосной сейсмической аппаратурой (м/с). Звездочкой обозначен очаг Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 года.

Параметры движений можно исследовать также с помощью сеймотектонических построений. В нашем случае методом структурного анализа получена трехмерная сеймотектоническая модель очаговой зоны – т.е. установлена структурная позиция, морфология и кинематика тектонического нарушения, по которому произошел разрыв.

С использованием инструментальных сейсмических данных определен механизм очага, описывающий 3D вектор движения и детали напряженного состояния. Согласно полученным результатам, в очагах землетрясений в условиях горизонтального сжатия северо-западного направления произошли левосторонний или правосторонний сдвиговые движения по двум возможным плоскостям разлома – субмеридиональной или субширотной (<http://www.isc.ac.uk/>). Величина сдвига – среднее смещение по разлому на глубине 15 км равно 38.0 см и 57.1 см для первого и второго толчков соответственно. Другие очаговые параметры – сейсмические моменты 5×10^{16} N m и 7.2×10^{16} N m, радиусы очагов 962 м и 945 м, падение напряжения 24.6 МПа и 37.4 МПа получены расчетным способом с использованием специальных методик.

На основе приведенных выше очаговых параметров и механизма очага с использованием программы *Coulomb 3.1*, [Toda, S., R.S. Stein, K. Richards-Dinger and S. Boz-

kurt, 2005] и [Lin, J. and R.S. Stein, 2004] получено распределение изменений напряжений Кулона по площади и на глубинах 8-15 км с учетом тектонической обстановки и при разных коэффициентах сцепления. Изучен процесс триггерного возникновения второго толчка, гипоцентр которого, как оказалось, возможно, находился ближе к первому событию, а активизированная часть разлома была «узкой и длинной». Рассчитаны горизонтальные и вертикальные смещения, а также деформации в локальной области и на региональном уровне с использованием суммарного за 21-22 сентября реализовавшегося сейсмического момента. Установлено, что поверхностного разрыва не произошло, а накопленное напряжение реализовалось полностью. Суммарное смещение в очагах 2-х событий на глубинах 8-15 км составило ~ 1 м. Минимальное горизонтальное смещение для этой же глубины равно 0.0005 м на расстоянии ~ 500 км. На поверхности это 0.0075 м вблизи очага и 0.0005 м соответственно [Assinovskaya, Ovsov, Shcherbakova, 2008].

Полученные по сейсмическим данным количественные характеристики движений 21 сентября 2004 года сравнивались с результатами обработки наблюдений на региональных GPS станциях в интервале расстояний 90-590 км от очага землетрясения (рис. 2). Обработка наблюдений GPS проводилась с помощью пакета GIPSY 5.0 (JPL, California Institute of Technology).

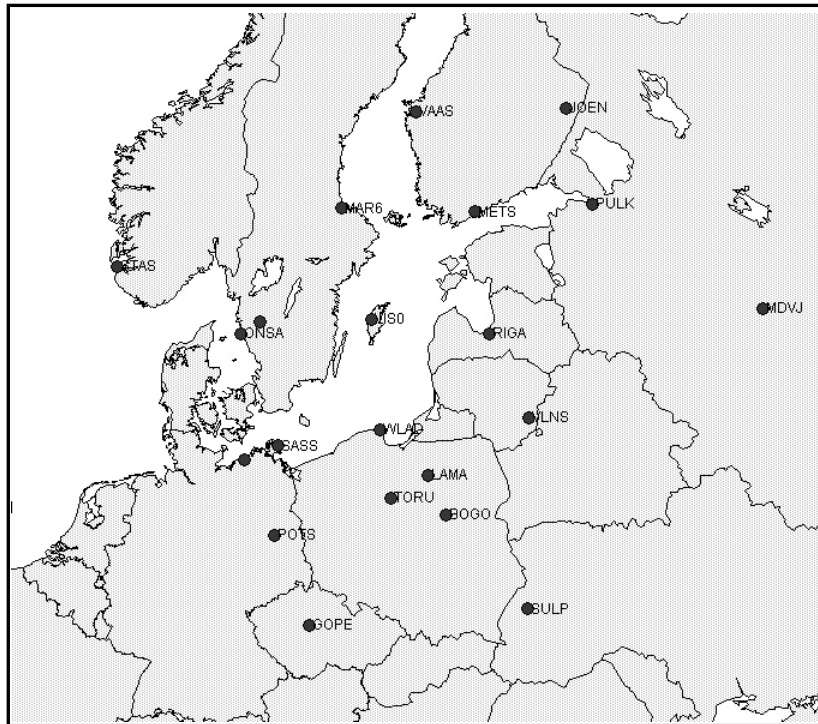


Рис. 2. Размещение станций GPS в регионе Балтийского моря.

Учитывая особенности динамики широт и долгот станций, а именно присутствие косейсмической аномалии и синфазности записей во всех точках в момент землетрясения, сначала были рассчитаны дифференциальные амплитуды смещений по широте и долготе до и после события с усреднением за 10-дневный период. В качестве примера показаны аномалии движений по широте и долготе станции VLAD (рис. 3). Вертикальные движения на данном этапе не рассматривались, исходя из установленного выше сдвигового (горизонтального) характера движений в очаге. Погрешности определения оценивались путем применения метода расчета взвешенных вариации Алана [Malkin, 2008]. Оказалось, что ошибки определений амплитуд движений часто существенно

превышают собственные значения, однако результаты в совокупности близки к сейсмическим. По полученным данным аномальные движения GPS в день землетрясения были положительными и находились в диапазоне 0.0033-0.0008 м, по сейсмическим – амплитуды горизонтальных перемещений составили на поверхности 0.0075 м вблизи очага и 0.0005 м на расстоянии 500 км, т.е. порядок значений один и тот же.

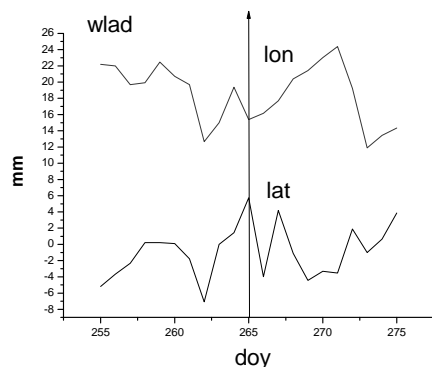


Рис. 3. Движения на станции VLAD по широте и долготе за 10 дней до и после землетрясения. Стрелкой показан день события.

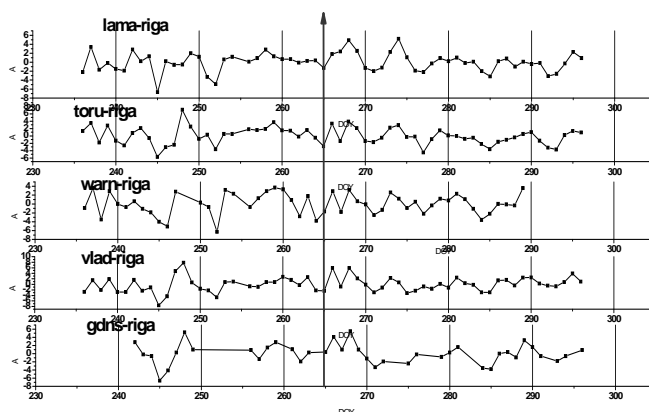


Рис. 4. Базовые линии по парам станций, одной из которых была RIGA.

На следующем этапе исследований рассчитывались базовые линии по парам станций GDNSK-RIGA, VLAD-RIGA, ONSA-LAMA, GDNSK-VLNS, LAMA-MAR6, LAMA-RIGA, LAMA-VIS0, ONSA-VLNS, SPTO-LAMA, SPTO-VLNS, TORU-RIGA, WARN-RIGA, WARN-VLNS, WLAD-RIGA, WLAD-VLNS, RIGA-VLNS, TORU-ONSA, LAMA-VLNS, ONSA-MAR6, LAMA-GDAN, MAR6-RIGA, TORU-SPT0, WLAD-LAMA. Интервал времени был принят аналогичным, использованному выше. Особенности линий состояли в том, что они пересекали очаговую зону и район вокруг него в разных направлениях. Оказалось, что 21 сентября 2004 года практически повсеместно (например, станции LAMA, RIGA VLNS) возникали аномалии укорочения и удлинения, изменения формы записи, выразившиеся в увеличении отрицательной амплитуды, уменьшении периода, сглаживания сигнала и т.д. В качестве примера на рис.4 приводятся базовые линии от станции RIGA, везде присутствует аномалия горизонтального сжатия, возникшая после события.

На рис. 5 представлены результаты обработки по методу базовых линий в виде карты объемных деформаций. Анализ данных показывает, что на региональном уровне вся изучаемая площадь подвергалась деформации укорочения. Исключение составляет западный район. Распределение параметра по площади неравномерно – от берегов о. Готланд на юг к Гданьскому заливу протягивается линейная аномалия – градиентная

зона. Интересно, что ее простирание и положение совпадает с выделенной нами путем моделирования структурой, ответственной за возникновение землетрясения. Вторая градиентная зона маркирует известный Неманский разлом северо-западного простирания.

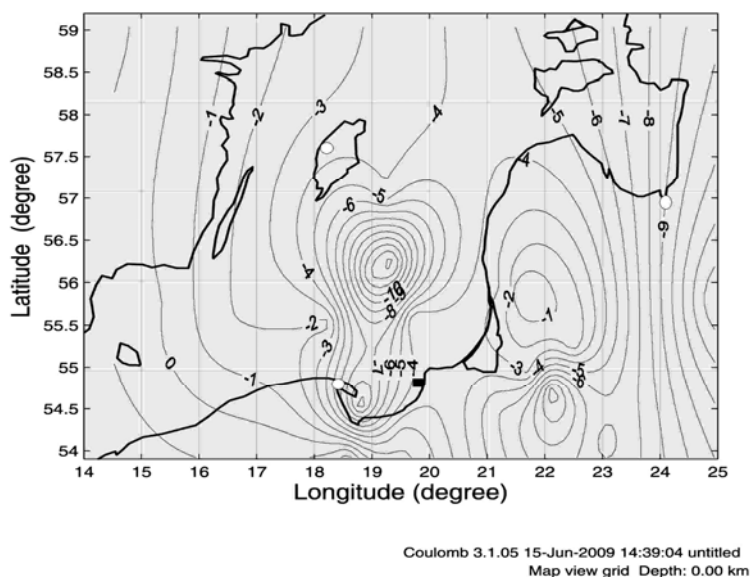


Рис. 5. Карта объемных деформаций.

Выводы

Сейсмические данные о землетрясении 21 сентября 2004 года в Калининградской области и результаты GPS наблюдений на близлежащих станциях проанализированы с точки зрения сопоставимости значений горизонтальных деформаций земной поверхности. Установлено, что результаты, по крайней мере, на качественном уровне не противоречат друг другу. Количественно при магнитуде события 5 горизонтальные смещения по GPS определяются с ошибками, пока что превышающими значимые величины. Применение метода базовых линий позволило получить более точные данные и впервые построить распределение в пространстве объемных косейсмических деформаций, которое вполне согласуется с сейсмической и геолого-геофизической информацией.

Литература

- Yoshihiko Ogata* 1 Seismicity and geodetic anomalies in a wide area preceding the Niigata-Ken-Chuetsu earthquake of 23 October 2004, central Japan // *J. Geophys. Res.* 2007. V.112. B10301.
- Wiejacz P., Gregersen S., F.A. Dębski W., Domanski B., Assinovskaya B., Guterch B., Mäntyniemi P., Nikulin V.G., Pacesa A., Puura V., Aronov A.G., Aronova T.I., Grünthal G., Husebye E.S., Sliwka S.* The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004. // *Physics of the Earth and Planetary Interiors.* 2007. V.164 № 1-2. P.63-74.
- Ассиновская Б.А., Овсов М.К.* Сеймотектоническая позиция Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 года. // *Физика Земли.* 2008. № 9. С.32-43.
- Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 года / под ред. чл.-корр. РАН А.В. Николаева, авт.-сост. Ассиновская Б.А., Кофф Г.Л., Котлов В.Ф. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2009. 170 с.
- Assinovskaya B.A., Ovsov M.K., Shcherbakova N.V.* On Kalinigrad earthquake September 21 2004 macrosismics, seismotectonics, stresses and deformations // *European Seismological Commission 31-st General Assembly September 7-12 2008. Crete. Greece. Book of abstracts.* P. 228.
- Toda R., Stein S., Richards-Dinger K., Bozkurt S.* Forecasting the evolution of seismicity in southern California: Animations built on earthquake stress transfer // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110. B05S16.

Lin J., Stein R.S. Stress triggering in thrust and subduction earthquakes, and stress interaction between the southern San Andreas and nearby thrust and strike-slip faults // *J. Geophys. Res.* 2004. V.109, B023032004.

Malkin Z. On the accuracy assessment of celestial reference frame realizations. // *J. of Geodesy.* 2008. V. 82. №. 6. P. 325-329.

**THE CONNECTION OF SURFACE AND DEEP GEDYNAMICS ON THE EXAMPLE OF
SEPTEMBER 21 2004 KALININGRAD EARTHQUAKE**

Assinovskaya B.A., Malkin Z.M., Tscherbakova N.V.

Central Pulkovo Astronomical observatory RAS

The results of comparative analysis of the nature of movements in the region of the Kaliningrad earthquake of September 21, 2004 from seismic and geodynamic data are introduced. The macroseismic data, focal parameters of the events and results of observations of permanent GPS stations, surrounding the earthquake source area were used.

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГАЛАКТИКИ ПО ДАННЫМ 270 МИЛЛИОНОВ АБСОЛЮТНЫХ СОБСТВЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗВЕЗД

Ахметов В.С., Федоров П.Н.

*НИИ астрономии Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина
г. Харьков, Украина*

Введение

Использование высокоточных собственных движений звезд в модели Огородникова-Милна позволяет не только определять параметры галактического вращения [3-6], но и предоставляет возможность осуществления кинематического контроля инерциальности исследуемого каталога. В основе кинематического метода контроля инерциальности системы координат, задаваемой каталогом, лежит исследования поведения компонент тензора твердотельного вращения, которые описывают вращение вокруг галактических осей x и y [1].

Международная стандартная система координат ICRS (International Celestial Reference System) основана на высокоточных положениях 609 внегалактических радиоисточников, равномерно распределенных по всему небу. Оптической реализацией этой системы является каталог HIPPARCOS [11]. Как показано в работах Бобылева [1, 2], каталоги системы ICRS имеют заметное остаточное вращения ($M_{13}^- = -0.4 \pm 0.1$ мсд/год) относительно внегалактической системы координат. Вопрос о том, чем вызвано это остаточное вращение, на сегодняшний день остается открытым.

В 2008 году в НИИ астрономии Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина на основе сравнения данных 2-х каталогов – 2MASS и USNO-A2.0 – был получен каталог абсолютных собственных движений примерно 270 миллионов звезд от 10В до 21В звездной величины, покрывающих все небо [8]. Собственные движения этого каталога были выведены из 2MASS (PSC) и USNO-A2.0 положений со средней разностью эпох примерно 45 лет для северной полушеры и примерно 17 лет для южной. Абсолютизация была выполнена с использованием примерно 1.4 миллионов положений галактик из 2MASS (XSC) и USNO-A2.0 каталогов. В связи с этим представляется очень интересным сопоставление систем собственных движений, задаваемых каталогом XPM и каталогами системы ICRS.

Целью данной работы является определение кинематических параметров нашей Галактики, как по ярким, так и по слабым звездам каталога XPM, а также проведение кинематического анализа системы абсолютных собственных движений звезд каталога XPM.

Модель Огородникова-Милна

В данной работе используется модель Огородникова-Милна. Уравнения представлены в прямоугольной галактической системе координат [7]. В прямоугольной галактической системе координат, как показано на рис. 1, ось x (x_1) направлена на центр галактики, ось y (x_2) имеет направление галактического вращения и ось z (x_3) – параллельна направлению на галактический полюс и дополняет тройку ортогональных векторов.

Условные уравнения в этой системе координатах выглядят следующим образом:

$$\mu_l \cos b = \frac{1}{r} (X_0 \sin l - Y_0 \cos l) - M_{32}^- \cos l \sin b - M_{13}^- \sin l \sin b + M_{21}^- \cos b + \\ + M_{12}^+ \cos 2l \cos b - M_{13}^+ \sin l \sin b + M_{23}^+ \cos l \sin b - 0.5(M_{11}^+ - M_{22}^+) \sin 2l \cos b$$

$$\begin{aligned} \mu_b = & \frac{1}{r} (X_0 \cos l \sin b + Y_0 \sin l \sin b - Z_0 \cos b) + M_{32}^- \sin l - M_{13}^- \cos l - \\ & - 0.5 M_{12}^+ \sin 2l \sin 2b + M_{13}^+ \cos l \cos 2b + M_{23}^+ \sin l \cos 2b - 0.5 (M_{11}^+ - M_{22}^+) \cos^2 l \sin 2b + \\ & + 0.5 (M_{33}^+ - M_{22}^+) \sin 2b. \end{aligned}$$

где X_0, Y_0, Z_0 – компоненты пекулярной скорости Солнца,

$M_{32}^-, M_{13}^-, M_{21}^-$ – компоненты тензора твердотельного вращения,

$M_{12}^+, M_{13}^+, M_{23}^+$ – компоненты тензора деформации поля скоростей.

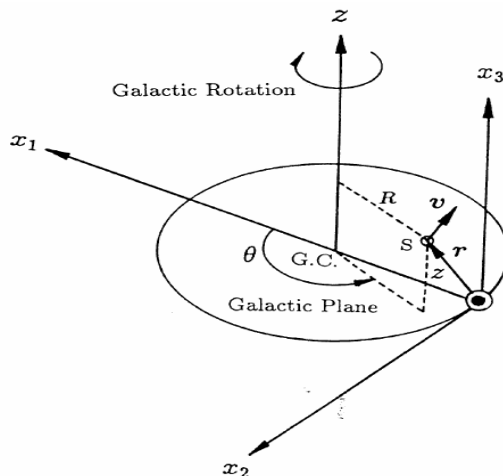


Рис. 1. Прямоугольная галактическая система координат.

Диагональные компоненты тензора деформации $M_{11}^+, M_{22}^+, M_{33}^+$ описывают общее сжатие или расширение всей звездной системы. При использовании только собственных движений звезд, определяются только разности диагональных элементов. $1/r$ – параллактический фактор, который мы принимаем равным единице и, следовательно, все звезды относим к единичной сфере. В этом случае, найденные величины будут пропорциональны гелиоцентрическому расстоянию, что позволяет исключить влияние ошибок определения расстояний и дает возможность использовать каталоги, которые не содержат параллакс звезд. При таком подходе мы имеем систему уравнений с 11 искомыми неизвестными, которые находим методом наименьших квадратов. Компоненты M_{21}^- и M_{12}^+ являются аналогами постоянных Оорта В и А соответственно, коэффициент пропорциональности 4,74.

Результаты

Для получения кинематических параметров, звезды каталога ХРМ были разбиты на поддиапазоны по звездным величинам от 10 до 21 V_{mag} с шагом 0.5. Для звезд каждого поддиапазона были составлены системы уравнений и решены методом наименьших квадратов. В обработку не брались звезды с пространственными скоростями превышающими гиперболическую $\mu t > 300$ мсд/год.

Для сравнения кинематических параметров, полученных по абсолютным собственным движениям каталога ХРМ в яркой области диапазона звездных величин ($V_{\text{mag}} < 14$), мы воспользовались собственными движениями каталога Туcho-2 [9, 10]. Чтобы сравнение было корректным, мы отождествили 2,2 миллионов звезд Туcho-2 со звездами каталога ХРМ, и тем самым, исключили влияние выборки на полученные кинематические параметры. Аналогично звездам каталога ХРМ, звезды каталога Туcho-2 также были отсортированы по звездным величинам и для каждого поддиапазона звездных величин были получены кинематические параметры. Как видно из рисунков 2–4, компоненты пекулярной скорости Солнца неплохо согласуются между собой.

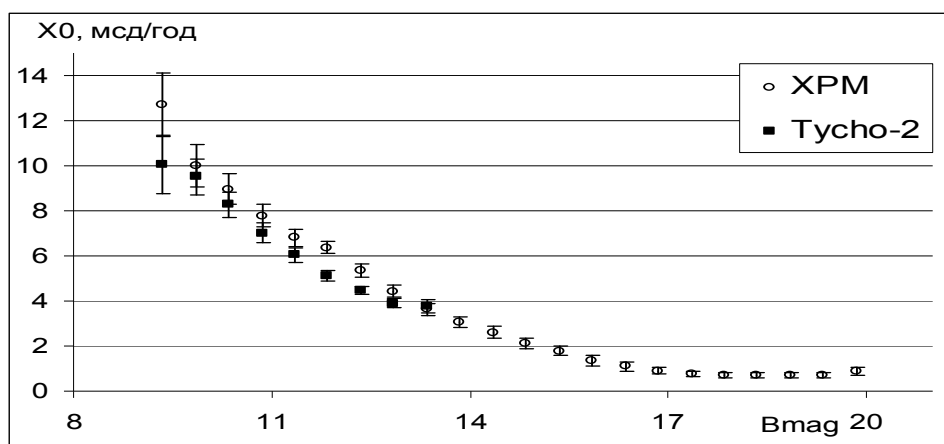


Рис. 2. Зависимость компоненты движения Солнца X_0 от звездной величины по данным каталога Tycho-2 и XPM.

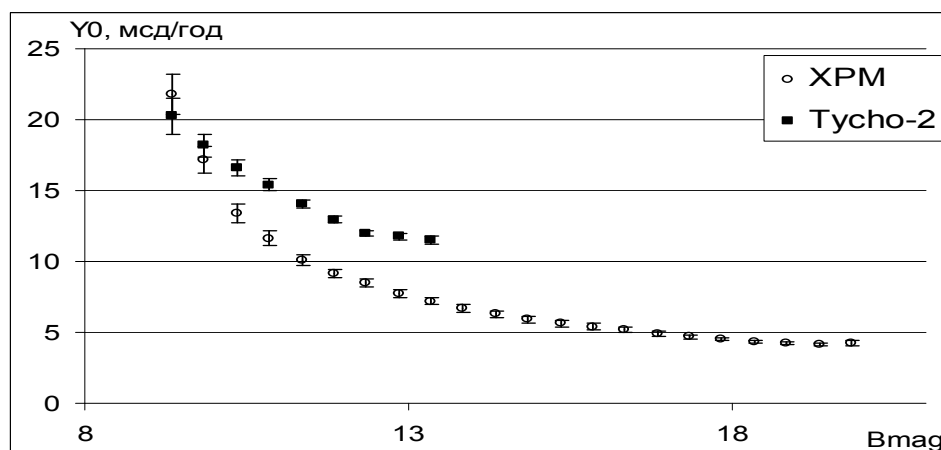


Рис. 3. Зависимость компоненты движения Солнца Y_0 от звездной величины по данным каталога Tycho-2 и XPM.

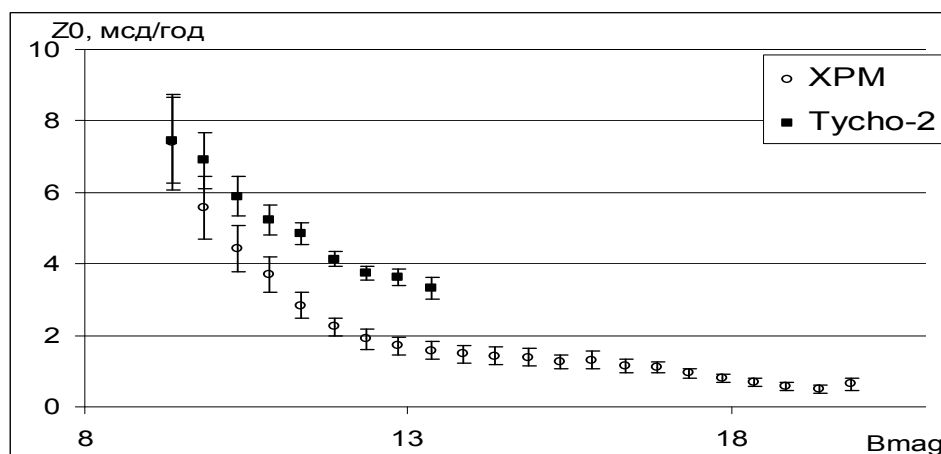


Рис. 4. Зависимость компоненты движения Солнца Z_0 от звездной величины по данным каталога Tycho-2 и XPM.

Компоненты M_{32}^- , полученные по данным Tycho-2 и XPM и описывающие вращение вокруг галактической оси x , очень хорошо согласуются между собой и не являются значимыми, что свидетельствует об отсутствии вращения вокруг соответствующей оси (рис. 5). Однако, компоненты M_{13}^- , которые описывают вращения вокруг га-

лактической оси y (рис. 6) заметно отличаются друг от друга. По данным каталога ХРМ, величина M_{13}^- является не значимой, что говорит об отсутствии вращения вокруг этой оси, а по данным каталога Tycho-2 $M_{13}^- \approx -0,86$ мсд/год. Это значение подтверждает наличие остаточного вращения системы HIPPARCOS относительно инерциальной системы координат [1,2]. Так как обе компоненты вращения вокруг осей x и y , полученные по данным каталога ХРМ, являются не значимыми, можно утверждать, что система собственных движений данного каталога не имеет остаточного вращения.

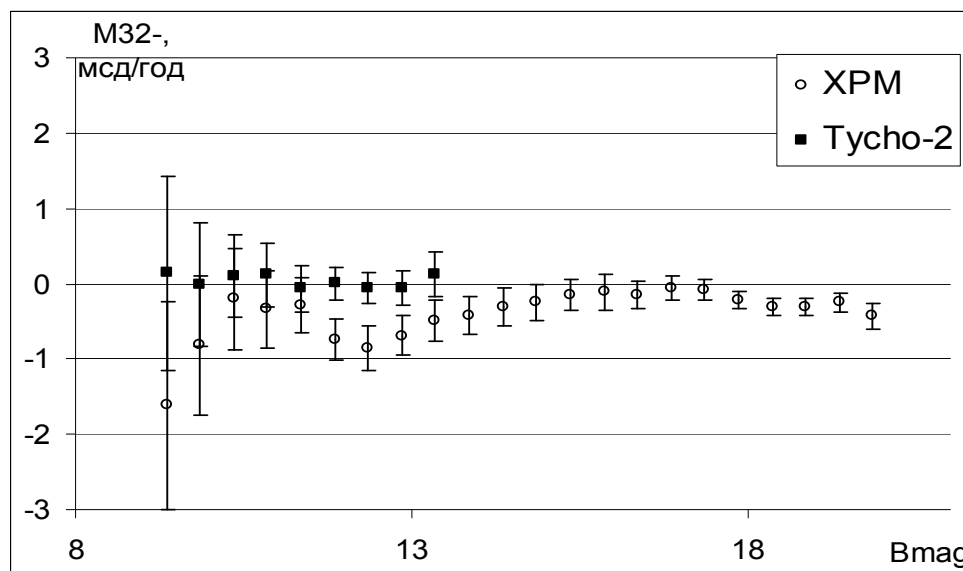


Рис. 5. Зависимость компоненты тензора вращения вокруг оси x от звездной величины.

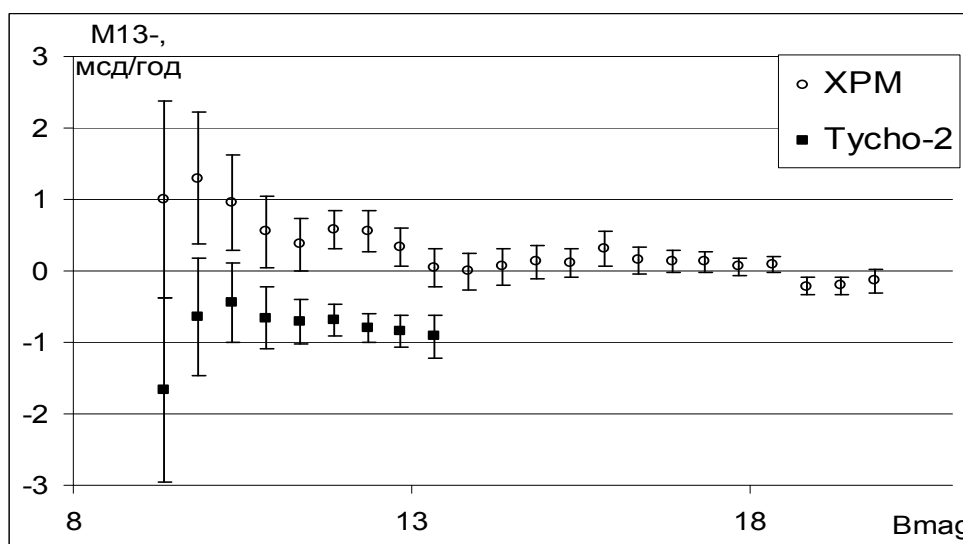


Рис. 6. Зависимость компоненты тензора вращения вокруг оси y от звездной величины.

На рисунках 7 и 8 представлены зависимости от звездной величины компоненты вращения вокруг оси z и компоненты тензора деформация в плоскости xu по данным каталога Tycho-2 и ХРМ. По данным собственных движений слабых звезд каталога ХРМ, эти компоненты являются значимыми и имеют средние значение $M_{21}^- = 2,36 \pm 0,16$ мсд/год и $M_{12}^+ = 2,90 \pm 0,21$ мсд/год. В этом случае постоянная Оорта $B = 4,74 * M_{21}^- = 11,2 \pm 0,75$ км/с/кпк, а постоянная Оорта $A = 4,74 * M_{12}^+ = 13,75 \pm 0,97$ км/с/кпк. Полу-

ченные значения постоянных Оорта хорошо согласуются с результатами полученными по данным каталога Tycho-2 и величинами рекомендованными МАС (1986).

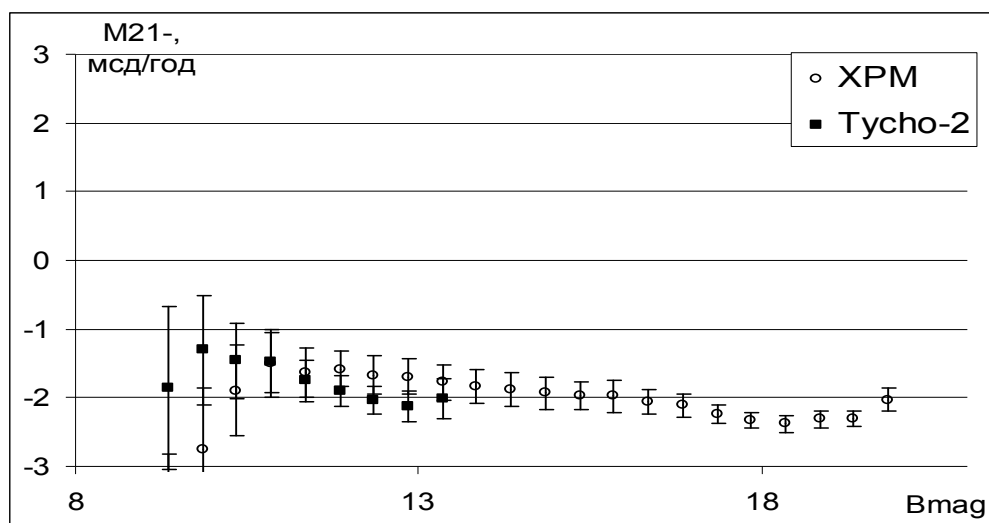


Рис. 7. Зависимость компоненты тензора вращения в плоскости Галактики от звездной величины.

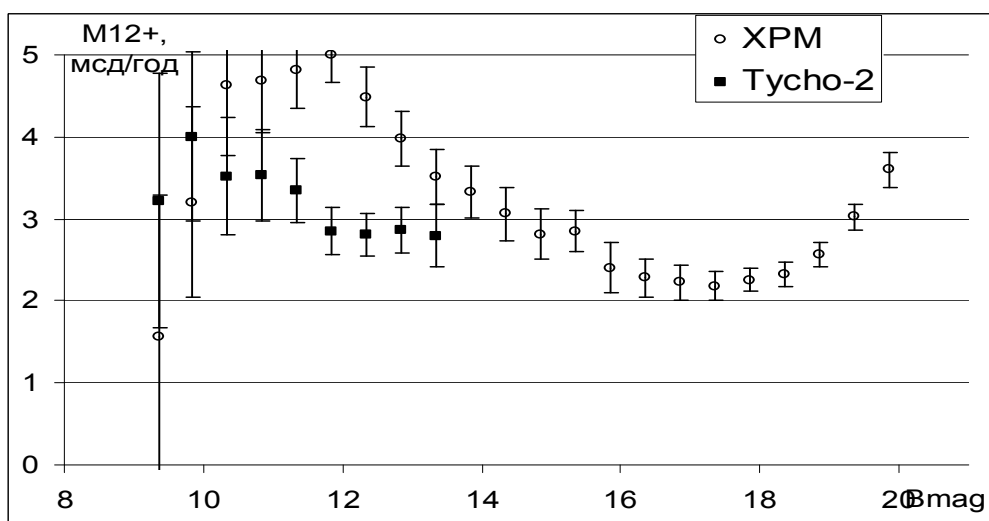


Рис. 8. Зависимость компоненты тензора деформации в плоскости Галактики от звездной величины.

Выводы

Использование абсолютных собственных движений звезд каталога XPM в модели Огородникова-Милна позволило получить зависимости кинематических параметров Галактики от звездной величины. Было произведено сравнение этих параметров с аналогичными параметрами, полученными с использованием собственных движений звезд каталога Tycho-2.

Среди компонент тензора твердотельного вращения значимой оказалась лишь компонента M_{21}^- , которая описывает вращение вокруг галактической оси z . Это означает, что вращение вокруг осей x и y отсутствует.

Также была получена компонента M_{12}^+ , характеризующая деформацию поля скоростей в плоскости xy . Полученные величины постоянных Оорта для звезд 15-19 Bmag

хорошо согласуются со значениями для более яркого диапазона звездных величин, полученными другими исследователями.

Система абсолютных собственных движений каталога XPM представляет квазиинерциальную систему координат, вращение которой меньше 1 миллисекунды дуги в год и может быть использована для высокоточных как астрометрических, так и для звездно-кинематических исследований.

Литература

1. *Бобылев В.В.*, Письма в Астрон. журнал 30, 185 (2004).
2. *Бобылев В.В.*, Письма в Астрон. журнал 32, 676 (2006).
3. *Клюб (S.V.M. Clube)*, MNRAS 159, 289 (1972).
4. *Клюб (S.V.M. Clube)*, MNRAS 161, 445 (1973).
5. *Миямото, Сома (M. Miyamoto and M. Soma)*, Astron. J.105, 691 (1993)
6. *Миямото, Жу (M. Miyamoto and Z. Zhu)*, Astron. J.115, 1483 (1998)
7. *Огородников К.Ф.*, Динамика звездных систем (М.: Физматгиз, 1965).
8. *Федоров П.Н. и др. (P. N. Fedorov, A. A. Myznikov and V. S. Akhmetov)*, MNRAS, 393,133–138, (2009).
9. *Хег и др. (E. Høg, A. Kuzmin, U. Bastian, et al.)*, Astron. Astrophys. 333, L65 (1998).
10. *Хег и др. (E. Høg, C. Fabricius, V.V. Makarov, et al.)*, Astron. Astrophys. 355, L27 (2000).
11. The HIPPARCOS and Tycho Catalogues, ESA SP-1200 (1997).

KINEMATIC PARAMETERS OF THE GALAXY DERIVED USING 270 MILLION THE ABSOLUTE PROPER MOTIONS OF STARS

Akhmetov V.S., Fedorov P.N.

Institute of Astronomy of Kharkiv V.N. Karazin National University, Ukraine

Using the absolute proper motions of XPM stars in Ogorodnikov-Milne model helped is to determine dependencies between kinematic parameters of Galaxy and star magnitudes.

We've compared these parameters to the ones obtained using proper motions of Tycho-2 stars.

Among components of solid rotation tensor only one appears to be significant. It corresponds to rotation about galactic axis z. Thus, rotation around x and y axes is absent.

We've also calculated tensor component that describes field of velocities deformation in xy plane. Estimated values of Oort constants for stars 15-19 Bmag are in good agreement with ones obtained by other researchers for brighter stars.

XPM absolute proper motions system is a quasi-inertial coordinate system with rotation less than 1 mas/year and can be used for high precision astrometry and star kinematics researches.

ПЗС-НАБЛЮДЕНИЯ АСТЕРОИДОВ НА ПУЛКОВСКОМ НОРМАЛЬНОМ АСТРОГРАФЕ: ИССЛЕДОВАНИЕ И УЧЕТ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК КООРДИНАТ

Бережной А.А.

ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия

С 2005 по 2008 гг. на Нормальном астрографе Пулковской обсерватории ($D/F = 0.33\text{м}/3.5\text{м}$, $FOV = 18 \times 16 \text{ arcmin}$, масштаб = 1 arcsec/pix) выполнены астрометрические ПЗС-наблюдения свыше 200 астероидов. За данный период было получено порядка 5000 отдельных положений астероидов в системе каталога UCAC2. Внутренняя точность положений астероидов зависит от блеска и лежит в пределах от 10 до 70 мсд. Выполнено предварительное исследование систематических ошибок координат звёзд и астероидов по разностям (O-C), которое показало наличие значимого уравнения блеска (УБ) по обеим координатам. Для ярких объектов (9–10 зв. вел.) УБ может достигать 100 мсд, для астероидов 15–16 звёздных величин систематические ошибки данного вида лежат в пределах 100–200 мсд. В результате исследований были определены параметры, характеризующие УБ, и положения астероидов были исправлены за УБ. Наиболее полное изучение систематических ошибок координат звёзд и астероидов, определённых с помощью Нормального астрографа Пулковской обсерватории, позволит улучшить точность будущих наблюдений.

Вступление

Выполнение исследовательских работ на любом инструменте требует проведения исследований, направленных на выявление всей доступной систематики. Астрометрические исследования, основанные на материале наблюдений на телескопах, не исключение. Исследуя положения космических объектов на фотографических пластинках и ПЗС-кадрах, следует учитывать влияние сложной комбинации множества факторов искажающих эти положения. Отличие системы телескопа от идеального наблюдательного инструмента, влияние атмосферы, а так же эффекты, связанные с характером излучения самого объекта и его структуры влияют на получаемые положения и требуют их учета. С другой стороны, не всегда удаётся провести исчерпывающее исследование в каком либо отдельном случае. Поэтому, при исследовании систематики на материале конкретного инструмента следует стараться выявить по возможности всю систематику по степени её влияния на результат.

Наблюдательный материал

Метод, использованный в данной работе, является статистическим и предполагает наличие достаточного количества наблюдений.

Таблица 1. Характеристика наблюдательного материала.

| | |
|------------------------------|--|
| Первое наблюдение | 10 января 2007 г. |
| Последнее наблюдение | 17 ноября 2008 г. |
| Опорный каталог | UCAC2 |
| Модель редукиции | Модель 6 постоянных |
| Положений опорных звёзд | ~240000 |
| Положений астероидов (серии) | ~400 |
| Модель PSF | Профиль Лоренца |
| Теория движения | www.imcce.fr |

С начала 2005 года, когда начались регулярные ПЗС-наблюдения, по начало 2009 было накоплено большое число ПЗС-кадров с наблюдениями астероидов, отдельных звезд и спутников больших планет. Наблюдательный материал 2007-2008 годов был подготовлен для автоматической массовой обработки и использован в данной работе. Характеристика наблюдательного материала представлена в таблице 1.

Векторные поля

Для исследования систематики видимое поле разбивалось на ячейки, в которых вычислялись средние значения невязок. Такой подход использовали создатели каталога СРС2 [1], при исследовании систематики на пластинках Шмидта, зависящей от положения объектов на пластинке. Тот же подход применялся в работах над каталогом USNO-B [2]. Векторные поля, построенные по различным градациям анализируемого параметра (звездной величины, спектрального типа и т.п.), позволят получать поправки к положениям отдельных звёзд на кадре путём интерполяции на равномерной сетке точек. Как было установлено в предварительных исследованиях [3], основной вклад в систематические ошибки ПЗС-наблюдений на Нормальном астрографе дает уравнение блеска. Поэтому проводилось исследование, в первую очередь, этого эффекта и векторные поля строились отдельно для каждого диапазона звездных величин.

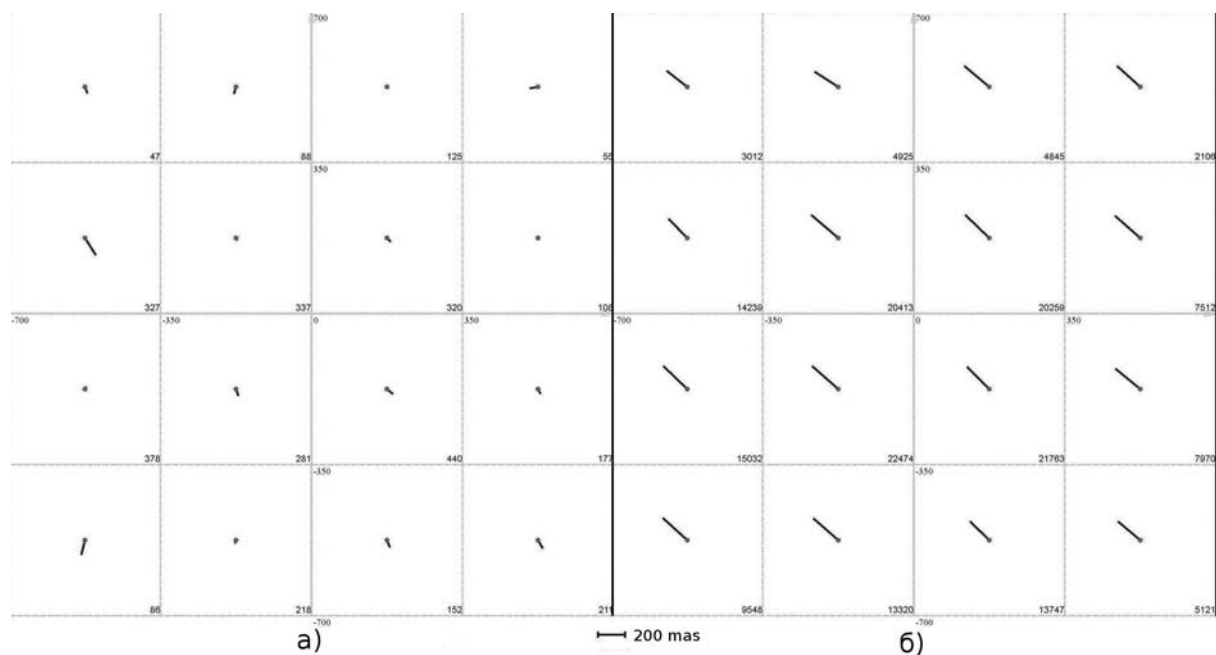


Рис. 1. Примеры векторных полей в тангенциальных координатах по двум диапазонам звездных величин: а) $10 < m \leq 11$, б) $13 < m \leq 14$.

В качестве координат, которые используются в таком разбиении, можно использовать пиксельные ПЗС-координаты (x, y) , либо тангенциальные координаты (ξ, η) . В нашем случае предпочтительней выбрать второй вариант.

При разбиении требовалось выбрать такие диапазоны для усреднений по звездной величине и двум координатам, чтобы удовлетворить требованию статистической достоверности. В нашем случае этому условию удовлетворяло разбиение с количеством опорных звезд в ячейке не меньше 20. Для каждой звездной величины размер поля зрения ограничивался до ± 700 угловых секунд дуги и разбивалось на 4 ячейки по обеим координатам. Диапазон звездных величин 10–14 mag. Граничные диапазоны подразумевали включение в них всех звезд с $\text{mag} < 10$ и $\text{mag} > 14$. На рис. 1 приведены приме-

ры полученных векторных полей для двух диапазонов звездных величин. На векторном поле справа, для более слабых звёзд, можно явно отметить наличие систематики, достигающей до 200-250 мсд.

Интерполяция и уравнение блеска

Построенные векторные поля поправок дают возможность исправить положения опорных звёзд за уравнение блеска и дисторсию. Для получения поправки для каждой опорной звезды в представленной работе был использован метод бикубической интерполяции.

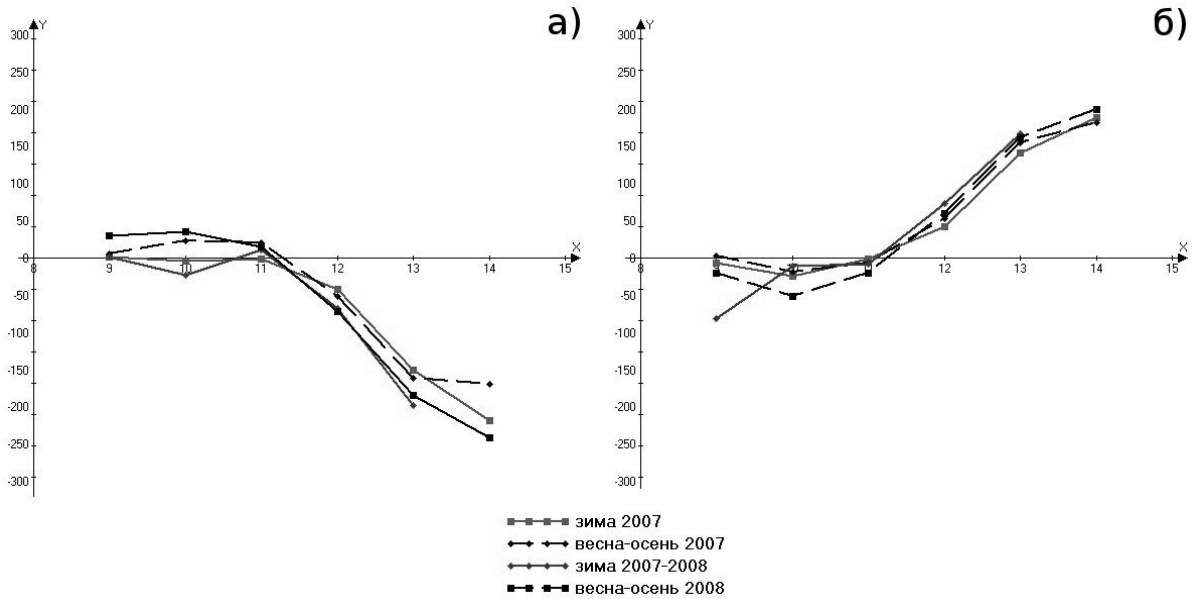


Рис. 2. Уравнение блеска по различным сезонам: а) $(O-C)_\xi$, б) $(O-C)_\eta$.

Можно выделить две основные причины возникновения УБ на Нормальном астрографе Пулковской обсерватории: оптические aberrации и неравномерность ведения часового механизма. Неточности ведения вызывают «размывание» профиля звезды, что, при вписывании профиля, дает различный эффект для объектов разной звездной величины. А так как редукция осуществляется преимущественно на более ярких звёздах, то слабые и яркие звезды получают разное смещение относительно их вычисленного положения в системе кадра.

Применить полученные векторные поля ко всему набору положений опорных звёзд можно лишь доказав стабильность поведения УБ на всем временном интервале наблюдений. Для того, чтобы это проверить, построим уравнения блеска для наблюдений в разных временных интервалах. В качестве интервалов с учетом плотности наблюдений представляется разумным выбрать сезоны: зима, весна-осень. Такое разбиение позволит посмотреть на сезонное влияние УБ.

На рис. 2 показаны графики изменения $(O-C)_\xi$ и $(O-C)_\eta$ от зв. величины (m) по соответствующим сезонам. Как видно из этих графиков, кривая УБ сохраняет свой характер по всем временным диапазонам и, следовательно, использование полученных векторных полей обоснованно по всему интервалу наблюдений.

Далее, для каждой опорной звезды используем векторное поле соответствующего диапазона и, интерполируя по тангенциальным координатам, получаем поправки. Векторные поля после исправления всех опорных звезд представлены на рис. 3. По результатам данной операции можно отметить, что удалось исправить практически всю систематику, проявлявшуюся на звёздах слабее 12^m .

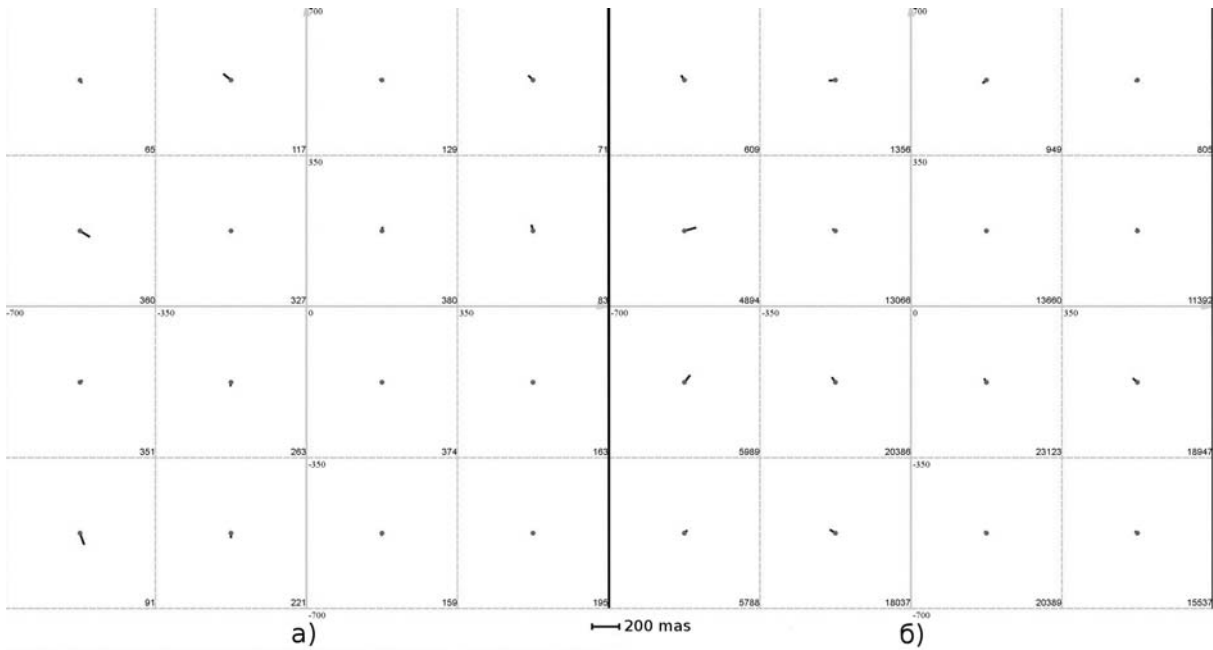


Рис. 3. Примеры векторных полей (после учета систематики) в тангенциальных координатах по двум диапазонам звездных величин: а) $10 < m \leq 11$, б) $13 < m \leq 14$.

На рис. 4 приведены кривые УБ, отражающие результат учёта систематики по всей совокупности положений звёзд. Видно насколько была исправлена систематика, связанная с УБ.

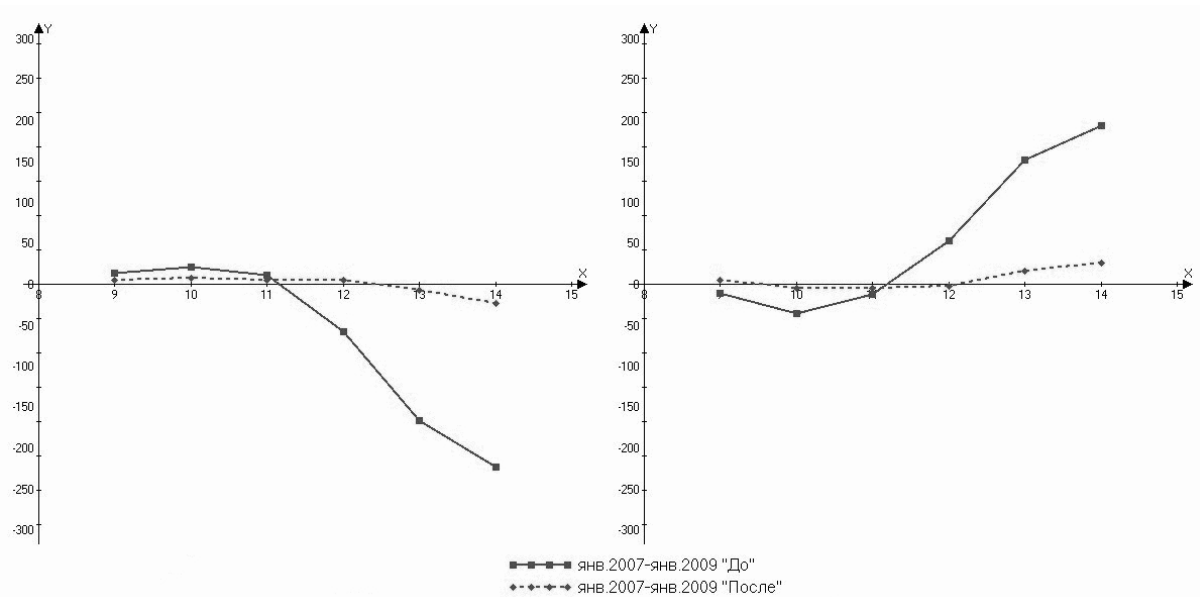


Рис. 4. УБ за весь период наблюдений «До» учета систематики и «После». а) $(O-C)_\xi$, б) $(O-C)_\eta$.

Уравнение блеска для астероидов

После того как учет уравнения яркости показал хороший результат на опорных звёздах, аналогичный учет был применён к положениям астероидов. Для этого поправки, как функции их тангенциальных координат, вносились в полученные координаты астероидов и пересчитывались величины $(O-C)$. При этом ожидалось схожие со случаем опорных звезд результаты. По прямому восхождению УБ до его учёта присутствовало и имело тот же вид, что и УБ для опорных звёзд. По склонению для астероидов

зависимость (O–C) от звездной величины отличалась от аналогичной зависимости по опорным звездам. Это может свидетельствовать о наличии некой дополнительной систематики, проявляющейся в склонении. Из результатов видно, что тогда как по прямому восхождению УБ удалось исключить и снизить СКО одного наблюдения, то по склонению проявилось УБ, по виду характерное для УБ по прямому восхождению до учета систематики и СКО возросла.

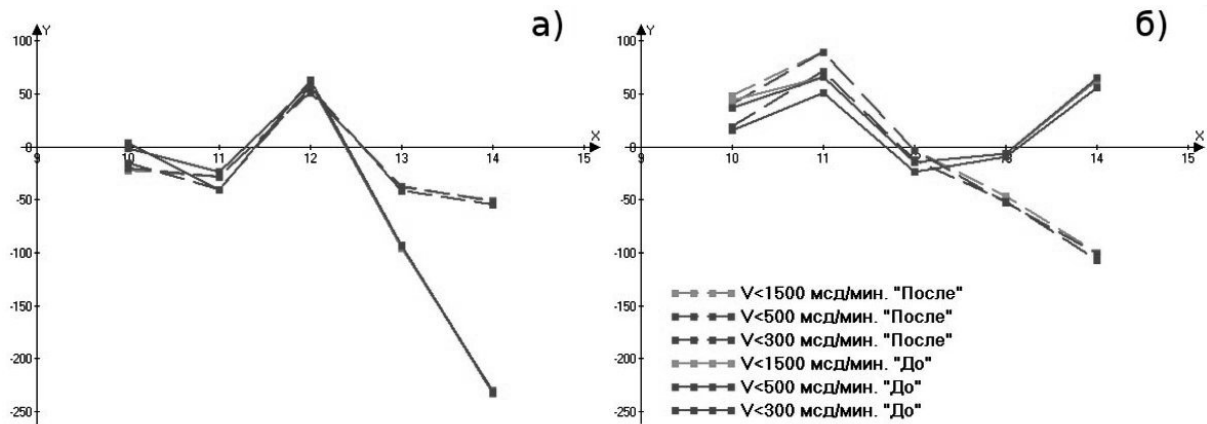


Рис. 5. УБ для астероидов при различных ограничениях на скорость объектов: а) (O–C)_ξ, б) (O–C)_η.

Была предложена идея, заключающаяся в том, что для астероидов, как для объектов, имеющих намного большее собственное движение, чем опорные звезды, имеет место дополнительное размывание изображения, приводящее к появлению дополнительного уравнения блеска. Однако, при учете зависимостей (O–C) астероидов от звездной величины по группам астероидов, отличающихся по скорости, не было обнаружено влияния этого параметра на вид УБ. На рис. 5 представлены графики УБ по координатам при различных ограничениях по скоростям.

Заключение

Координаты объектов, полученные с помощью обработки ПЗС-кадров, содержат в себе различного рода систематические ошибки. Это могут быть эффекты, свойственные всем позиционным наблюдениям, а так же систематика, уникальная для каждого конкретного инструмента. Эффективное использование телескопа, как прибора для высокоточных позиционных наблюдений, требует всестороннего изучения уникальной для него систематики.

Метод исключения систематических ошибок в поле тангенциальных координат: обобщенной дисторсии и уравнения блеска, основанный на статистическом анализе невязок большого числа положений опорных звезд, хорошо показал себя применительно к звездным положениям. Применение поправок к тангенциальным координатам позволило убрать из невязок уравнение блеска. Однако для положений астероидов была выявлена остаточная систематика по склонениям, проявившаяся после учета поправок.

Ряды наблюдений астероидов, освобожденные от выявленных систематических ошибок, планируется исследовать на наличие ошибок, связанных с откликом фотоцентра изображения астероидов от их центров масс, а также от наличия периодических возмущений, связанных с возможным присутствием у отдельных астероидов невидимых спутников. Планируется проведение исследования эффекта фазы, который, для ярких астероидов, может превышать 10 мсд, как показано в работе [4]. Для ярких асте-

роидов, для которых известны линейные размеры, будет произведен учет эффекта фазы по моделям, описанным в работах [5–7].

Для контроля качества разработанных методик выявления эффекта фазы, в программе наблюдений Нормального астрографа присутствуют астероиды, для которых данный эффект изучен на основе наблюдений астрометрического спутника Hipparcos.

Метод, представленный в данной статье, может быть применен не только к современным ПЗС-наблюдениям, аналогичный подход может использоваться при повторной редукации фотографических наблюдений, выполненных на данном инструменте.

Литература

- 1) *Monet D. et al.* The USNO-B Catalog. The Astronomical Journal. 2003. Volume 125, Issue 2, p. 984-993.
- 2) *Khrutskaya E.V., Khovritchev M.Yu., Kalinin S.I., Berezhnoj A.A.* Astrometry of small bodies of the Solar system with the Pulkovo Normal astrograph. // Сб. материалов Межд. Конф. Динамика тел Солнечной системы. Томск, 2008. С. 43.
- 3) *Zacharias, N., de Vegt, C., Murray, C.A.* CPC2 Plate Reductions with HIPPARCOS Stars: First Results. 1997. Proceedings of the ESA Symposium 'Hipparcos - Venice '97', p. 85-90.
- 4) *Yu. V. Batrakov et al.* Hipparcos catalogue orientation as obtained from observation of minor planets // Astronomy and Astrophysics. 1999. 352, P. 703-711.
- 5) *Sitarski G.* On a Displacement of the Photometric Center from the Center of Mass in Positional Observations of Comets and Minor Planets // Acta Astronomica. 1984. vol. 34, №2, P. 269-280.
- 6) *Hestroffer D.* Photocentre displacement of minor planets: analysis of Hipparcos astrometry // A&A. 1998. 336, P. 776-781.
- 7) *Lupishko D.F., Shevchenko V.G., Tungalag N.* Asteroid photocentre displacement: influence of the scattering law // In Memorie della Societa' Astronomica Italiana. 2002. Vol. 73, no. 3, P. 650.

CCD-OBSERVATIONS ON NORMAL ASTROGRAPH OF PULCOVO OBSERVATORY: ANALYSIS AND TACKING INTO ACCOUNT THE SYSTEMATIC ERRORS OF COORDINATES

Berezhnoy A.A.

*The Central Astronomical Observatory of the Russian Academy of Sciences at Pulkovo,
Saint-Petersburg, Russia*

Analysis on systematic errors based on CCD-observations made on Normal Astrograph (D/F = 0.33m/3.5m, FOV = 18×16 arcmin, scale = 1arcsec/pix) of Pulkovo observatory during 2006-2008 years. There is about 15000 CCD-images of 150 asteroids was performed and reduced in UCAC2 system.

A preliminary investigation of (O-C) differences has shown a relevance of the magnitude equation. Great volume of observation material, performed and processed in a last year, make it possible to obtain more relevant fragmentation of data (by 2D focal plane position and magnitudes) for application of bicubic interpolation.

Series of asteroids' observations, corrected for systematic errors mentioned above, is planning to analyses for availability of center of mass and photocenter offset and also for periodical perturbation effect associated with presence of invisible satellite.

Investigation of systematic errors of a coordinates of the star and the asteroids, based on observations made with Normal Astrograph of Pulkovo Observatory, allows improving an accuracy of future observations and using obtained corrections for reduction of observation's material of asteroids performed on the given instrument.

О ТОЧНОСТИ И РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТИ ВЕКОВЫХ ОБСЕРВАТОРСКИХ РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ И О МЕРАХ ДЛИНЫ XVIII СТОЛЕТИЯ В РОССИИ

Богданов В.И., Малова Т.И., Колотилин Р.А.

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской Академии наук,
Санкт-Петербург, Россия*

Вековые, тысячелетние и более продолжительные изменения природной среды еще не стали объектом точных научных исследований. Причины этому: 1) различная степень научного и технического развития цивилизации на отдельных исторических этапах; 2) недостаточные точность и однородность ранних измерений, а также сохранность материалов о них; 3) противоречивость сведений об использовавшихся измерительных средствах прошлых эпох, мерах и весах, методике и контроле натуральных измерений; 4) невостребованность идеи создания единой глобальной обсерваторской сети высшего ранга точности и репрезентативности и формирования на ней прецизионных рядов наблюдений за изменениями на Земле и в Космосе на интервалах не менее 10^2 - 10^3 лет; 5) сложность проблемы и необходимость принятия решения о начале ее разработки на государственных и международном уровнях, с привлечением широкого круга ученых, практиков и специализированных организаций различных стран [1-3].

Тем не менее, сведения о «медленных» и «нечувствительных» изменениях природной среды запечатлены в древнейших преданиях и мифах всех народов, в трудах и описаниях многих ученых, философов, писателей. Согласно Аристотелю (*Aristotéles*, 384-322 гг. до н. э.), «всякое естественное становление на земле происходит постепенно и в сроки, несравненно длиннее нашей жизни, и [даже] гибель и уничтожение целых народов происходят прежде, чем [удается] засвидетельствовать от начала и до конца какую-нибудь из таких перемен» [4, с. 65]. Аналогичную мысль высказал профессор физики Петербургской Академии наук Г. В. Рихман: «в натуре такие перемены со временем сделаться могут, которых человек за краткостью своей жизни, а от части за недостатком достоверных известий о древних вещах, обстоятельно рассмотреть и подлинно об них рассуждать не в состоянии» [5, с. 354]. Сохранилось, однако, лишь небольшое число наблюдений, представлявших или представляющих обсерваторский и метрологический научный интерес.

Рассмотрение проблемы обеспечения естественнонаучных исследований на тысячелетних интервалах, не сопоставимых с масштабами деятельности одного поколения наблюдателей, научных школ или с отдельными этапами технического развития цивилизации, ставит перед исследователями ряд фундаментальных научных, технических, методологических, метрологических и иных задач. Исследованию этих задач, представляющих фундаментальный научный и большой практический интерес, посвящен ряд публикаций [1-3, 6-9 и др.]. Ниже кратко рассмотрены вопросы точности и репрезентативности вековых рядов измерений, а также современного некорректного использования сведений о линейных мерах в России в XVIII в.

Согласно рис. 1, точность измерений методами позиционной астрономии возрастала на интервале ~400 лет, примерно, на порядок в столетие (с $10'$ до $0,05''$). В эту закономерность вписывается также каталог HIPPARCOS ($0,001''$). Но если современные и более ранние наблюдения выполнены с различной точностью, и лишь недавно появилась возможность исследовать нелинейность собственных движений звезд, то спрашивается: каким образом можно убедиться в репрезентативности экстраполяции современных их положений, например, на эпоху Гиппарха (*Hipparchos*, II в. до н. э.)? Поэтому методологическое и метрологическое обеспечение преемственности наблюдений в

связи с их переносами или со сменой типов аппаратуры, изменениями методики наблюдений и т. д., должно опираться на организацию параллельных синхронных измерений в течение достаточно продолжительного времени. Но очевидно, что такая процедура не может быть применена на современном этапе к ретроспективным измерениям. С другой стороны, со времен Лапласа многие так называемые «вековые» члены в разложении движений небесных тел были позднее признаны долгопериодическими [8].

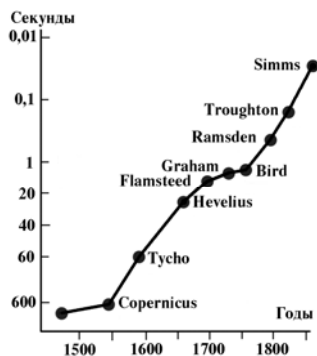


Рис. 1. Рост точности измерений методами позиционной астрономии с XV до XX вв., по А. Чэпману (K. Krisciunas [10]).

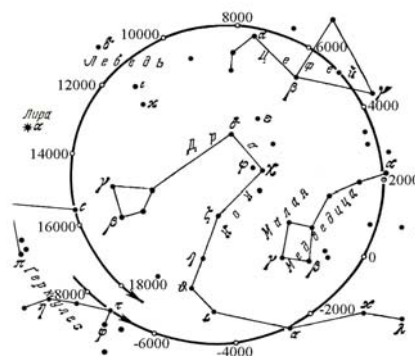


Рис. 2. Прецессия оси вращения Земли (Северное полушарие), согласно Б.А. Воронцову-Вельяминову [11].

Период прецизионного движения оси вращения Земли оценивается в настоящее время в 26000 лет (рис. 2). Интервал же астрономического изучения этого движения, со времени наблюдения Пифея из Массалии (*Pytheas*, IV в. до н. э.), когда он определил положение полюса мира, образывавшего, вместе с «β» Малой Медведицы, «æ» и «λ» Дракона («α» и «æ» Дракона, по Н. С. Широковой) почти правильный четырехугольник [12-13], – составляет, примерно, 9% от общего периода. Гиппарх использовал сведения Пифея для опровержения мнения Евдокса Книдского (*Eudoxos*, II в. до н. э.) о полюсе мира, отмеченного некой звездой, и для обоснования прецессии Земли [8, 12]. Очевидно, что прецессионное движение (рис. 2) должно быть изучено на основе прецизионных обсерваторских исследований. Необходимо располагать также сведениями о конфигурациях созвездий, и о положении и наименовании звезд в них в прошлом.

Обратимся теперь к уровням морей, озер и рек. Наблюдения за изменениями уровня Нила (ежедневными, в отдельные периоды) отмечались со времен Древнего Царства (2800-2250 гг. до н. э.) зарубками на скалах у порогов, а позднее регистрировались на искусственных сооружениях – нилометрах, – самых древних из известных нам уровнемеров (рис. 3-4) [14-15]. Однако антропогенные факторы существенно снизили значение такого подхода к организации и сохранности наблюдений, причем не только в

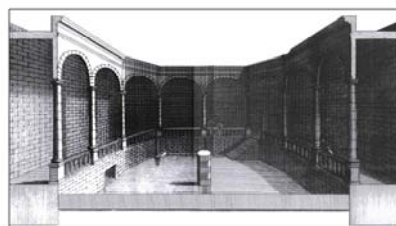


Рис. 3. Наскальный нилометр N₂ Scala, Верхний Египет, период: 1784-1781 гг. до н. э. (L. Borchardt [14]).

Рис. 4. Нилометр, район Каира (B. Maillet [15]).

связи со строительством гидротехнических и ирригационных систем, но и с известными фактами уничтожения или перестройки нилометров (например, во время военной экспедиции Наполеона в Египет в 1798-1801 гг. [16, с. 119, 408]).

На рис. 5 представлены инструментальные ряды вековых колебаний уровней Балтийского и Каспийского морей, а также Ладожского озера по наблюдениям в Стокгольме, Кронштадте, на Валааме, в Баку и Красноводске.

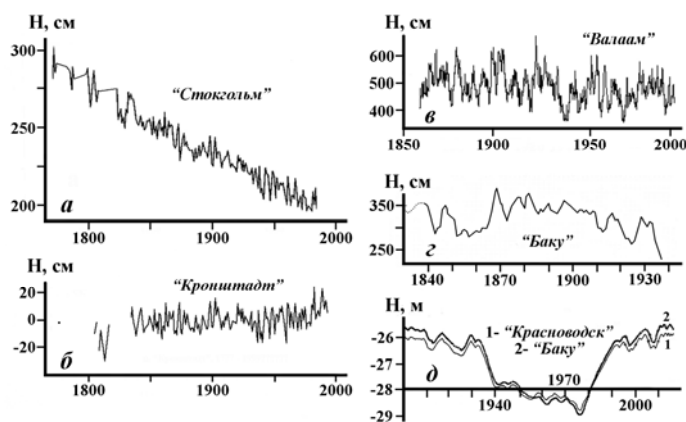


Рис. 5. Вековые изменения уровней Балтийского и Каспийского морей и Ладожского озера (ряды наблюдений приведены в различных системах высот и с разной степенью осреднения).

Периоды наблюдений: а) 1774-1993 [17]; б) 1777-1993 [18]; в) 1861-2001 [7]; г) 1840-1937 (высоты в оригинале оцифрованы в метрах) [19]; д) 1900-1997, с прогнозом до ~2016 г. (в оригинале искажена шкала времени) [20].

Аномальный тренд Стокгольмского уровнемерного ряда, совместно с другими фактами, лежит в основе обоснования гляциоизостатической природы послеледникового поднятия Фенноскандии. Тенденция к повышению уровня моря с 1950 г. по наблюдениям в Кронштадте иногда объясняется таянием ледников в результате «потепления климата». Но именно к этому времени относится капитальный ремонт Кронштадтского футштока и передача поста из Военно-Морского ведомства в Госкомгидромет, после чего был изменен регламент наблюдений, установлено оседание Синего моста (на котором укреплены пластина нуль-пункта и рейка футштока), и заменен на стенную марку исторический геодезический репер. Эти факты, а также формирование региональной пьезометрической депрессии в гдовском горизонте, в результате интенсивной эксплуатации подземных вод, бурный рост городской застройки и строительство комплекса сооружений защиты Ленинграда от наводнений, – привели к необходимости сооружения Шепелевского дублера Кронштадтского футштока. Смещение же тренда Валаамского уровнемерного ряда на 10-20 см с середины 1940-х гг. – результат нового определения ординара, не связанного с нуль-пунктом исторического наскального футштока [3, 7-8 и др.]. Учитывая погрешности многократных переносов уровнемерных устройств и замены рабочих и контрольных реперов, вызывает сомнения и долговременная репрезентативность уровнемерных наблюдений на Каспийском море. Изменения уровня Каспийского моря объяснялись, как правило, климатическими причинами. При этом богатейший фактический материал, свидетельствующий о существенной роли тектонического фактора на новейшем этапе развития региона, не был востребован. Катастрофическое повышение уровня моря с 1977 г. поставило под сомнение репрезентативность и полноту накопленных сведений о природе этого феномена [2 и др.].

Большой научный и практический интерес представляют и сведения о наводнениях Невы. Однако, несмотря на длительную историю их изучения, унифицированный и подробный каталог, который опирался бы на репрезентативные вековые ряды уровнемерных наблюдений, так и не был создан. Существующие же каталоги¹ не удовлетворяют этим требованиям [6 и др.]. На рис. 6 представлен хронологический ряд высот наводнений (с 1703 г.), редуцированных, с точностью ± 1 см, сначала к ординару у Горного института, а с 1980 г. – к Балтийской системе высот [6, 21]. Очевидна некорректность экстраполяции высот наводнений XVIII и первой половины XIX вв. к системам

¹ В книге К.С. Померанца [21] воспроизведены многие из огрехов и ошибок того же автора, опубликованных ранее в монографиях и статьях 1998-2005 гг., игнорирующие критические замечания (Известия РГО. 2006. Т. 138. Вып. 1. С. 82-87).

отсчета 1878 и 1946 гг.², и приписывания однородной высокой точности измерений как мареографному, так и футшточному периодам наблюдений.

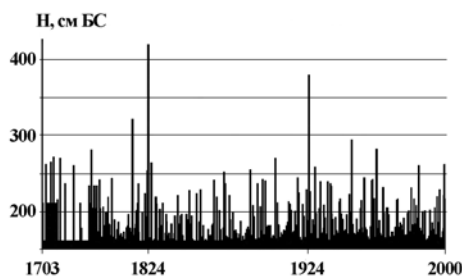


Рис. 6. Максимальные высоты наводнений Невы в Балтийской системе высот (БС) за период 1703-2000 гг. (К. С. Померанец [21]).

Примечание: В оригинале год последнего наводнения указан как «2003», что противоречит помещенным в том же труде хронологическим таблицам [21, с. 99, 411, 415] и фактическим материалам; «2003» год в оригинале исправлен авторами настоящей статьи на «2000».

Некорректно также распространение измеренного в XX в. превышения ординара у Горного института над нуль-пунктом Кронштадтского футштока (+11 см) на весь период наблюдений с 1703 г. Особую озабоченность вызывает перевод высот наводнений, измеренных в футах и дюймах (или «оцененных» по разного рода сообщениям), в метрическую систему с метрологической точностью (1 фут = 30,48 см, 1 дюйм = 2,54 см). В XVIII-XIX вв. использовались деревянные уровнемерные рейки, ежегодно заменявшиеся для ремонта в результате повреждений от штормов и льда. Нанесение делений на них не могло выполняться с точностью $\pm 0,005$ см. В этой связи очевидно использование трафаретов и «обиходной» точности, согласно которой (по оценкам некоторых авторов), 1 фут \approx 30 см, 1 дюйм \approx 2,5 см. Основная же погрешность уровнемерных наблюдений XVIII-XX вв. связана с утратами меток ординаров, смещениями реек или прекращением наблюдений во время сильнейших наводнений и с последующими реставрациями их высот [6, 22 и др.].

Не вызывает сомнений необходимость обоснования применения значений мер, принятых в XX в., к измерениям XVIII в. Соотношения между разноименными линейными мерами оставались неизменными с начала XVIII в. (1 сажень = 7 футам = 84 дюймам = 3 аршинам = 48 вершкам), тогда как значения самих мер изменялись по разным причинам (практические потребности; реформы XVIII-XIX вв.; уничтожение при пожаре в 1834 г. в Англии первичных государственных образцов мер) [22, с. 225]. Сенатская Комиссия весов и мер (1736-1742 гг.) приняла за основу при определении значения аршина и сажени полуаршин Петра I, обнаруженный в Кунсткамере [23, с. 132], который, согласно Л. Эйлеру, оказался больше $1\frac{1}{6}$ английского фута. Сажень, принятая в XVI-XVII вв., не совпадала с последующим ее значением, равным «7 английским футам, или 213,36 см метрической меры, а имела протяженность в 216 см и делилась на 3 аршина по 72 см каждый, или на 48 вершков по 4,5 см» [24, с. 86]. Опираясь на материалы Сенатской Комиссии и на измерения двух шкал полуаршина Петра I по «обыкновенной школьной линейке», выполненные Е.И. Каменцевой [23, с. 132], авторы учебного пособия [24, с. 86] пришли к выводу, что на протяжении всего XVIII в. сажень превышала 7 английских футов. Полагая, однако, эти доводы не достаточными в отношении измерения эталона полуаршина и противоречащими многочисленным фактам о метрологической реформе Петра I, согласно которой уже в начале XVIII в. были уравнены 3-аршинная и 7-футовая сажени, по крайней мере, в кораблестроении и морском деле, авторы настоящей статьи, по согласованию с Государственным Эрмитажем, обследовали в 2009 г. эталон полуаршина Петра I. Этот эталон представляет собой 4-гранный латунный жезл, размерами 505×9×9 мм, на гранях которого нанесены шкалы длин и объемов разных стран (в работе [23, с. 131] указаны размеры 51×9×9 см).

² Уровнемерный пост «Горный институт» функционирует с 1878 г.; Балтийская система высот введена в практику гидрографических и геодезических работ Постановлением СМ СССР № 760 от 7.04.1946 г.

Измерены были все шкалы эталона, в том числе полуаршин «московской меры» и английский фут (рис. 7)³.



Рис. 7. Латунный эталон длины «Полуаршин Петра I».

Фотографии 1-2 заимствованы из: <http://realhistory.borda.ru>; 3-я фотография выполнена авторами во время компарирования эталона, с участием Г.Б. Ястребинского – хранителя фонда научных приборов и инструментов Государственного Эрмитажа.

В результате измерений получено: 1 фут = $30,42 \pm 0,01$ см; $\frac{1}{2}$ аршина = $35,86 \pm 0,01$ см, а разность основанных на этих величинах сажень (3-аршинной и 7-футовой) составила 2,22 см, что не противоречит результату Л. Эйлера. Авторы разделяют мнение Н.А. Шостыгина о том, что «обилие свидетельств делает несомненным факт использования 7-футовой сажени в XVIII в. (даже в его начале). Но остается невыясненным вопрос, была ли введена эта сажень во все отрасли хозяйства или же только в некоторые» [25, с. 100].

В заключение отметим фундаментальное научное и большое практическое значение вековых рядов наблюдений для многих отраслей естествознания и цивилизации в целом. Увеличение длины обсерваторских рядов, в сочетании с повышением требований к однородности, долговременной точности, репрезентативности и метрологическому обеспечению измерений, сулит выход на новый мировоззренческий уровень в познании Природы и в решении фундаментальных научных и стратегических глобальных и региональных практических задач. Актуальна и необходима также разработка и реализация программы метрологического сличения всех сохранившихся к настоящему времени линейных мер с современными эталонами.

Литература

1. Богданов В.И. Формирование тысячелетних обсерваторских рядов как фундаментальная научная и техническая проблема // Физическая метрология: теоретические и прикладные аспекты. – СПб: «KN». 1996. С. 45-58.
2. Богданов В.И. Феномен вековых колебаний уровня Каспийского моря как объект фундаментальных обсерваторских исследований // Геодезия и картография. 1998. № 7. С. 41-46.
3. Богданов В. И. На пути к фундаментальному обсерваторскому изучению вековых изменений в Санкт-Петербургском (Балтийско-Ладожском) регионе // Геодезия и картография. 2000. № 1. С. 21-26.
4. Аристотель. Метеорология / Перевод с древнегреч. Н.В. Брагинской, под ред. И.Д. Рожанского и А.Х. Хргиана. – Л.: Гидрометеиздат. 1983. 240 с.
5. [В., Р.]. О достойных примечания переменах, которым поверхность Земли, от времени до времени подвержена бывает // Примечания на Ведомости. 1739. Ч. 89-96. С. 353-384.
6. Богданов В.И. О репрезентативном каталоге наводнений Невы как фундаментальной научной и практической проблеме (к 300-летию Санкт-Петербурга и Кронштадта) // Известия РГО. 2002. Т. 134. Вып. 6. С. 23-34.
7. Богданов В.И., Кравченко Т.Г., Малова Т.И., Маринич М.А. Изменения уровня Ладожского озера по наблюдениям 1859-2001 гг. на Валааме // ДАН. 2002. Т. 396. № 5. С. 672-675.

³ Измерения выполнены контрольной линейкой КЛ-0377, принадлежащей экспедиции № 187, при «прямом» и «обратном» перемещении окуляра, с контролем за изменением температуры. Поверка КЛ-0377 выполнена Метрологической службой ФГУП «Аэрогеодезия», Свидетельство № 280 от 25 мая 2009 г.

8. *Богданов В.И., Малова Т.И.* Проблема фундаментального обсерваторского изучения эволюции природных процессов на тысячелетних интервалах (на примере Северо-Западного региона России) // Труды V Международной конференции «Приборостроение в экологии и безопасности человека». – СПб: ГУАП. 2007. С. 43-51.
9. *Богданов В.И., Малова Т.И.* Методологические аспекты обеспечения точности и однородности измерений при изучении вековых и тысячелетних изменений природной среды // Труды VI Российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии». – СПб: ГНИНГИ МО РФ. 2007. С. 370-376.
10. *Krisciunas K.* Pulkovo Observatory's Status in 19th Century Positional Astronomy / Proc. of the 141st Symposium of the IAU. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1990. P. 15-24.
11. *Воронцов-Вельяминов Б.А.* Лаплас. – М.: «Наука». 1985. 288 с.
12. *Hipparchi* in Arati et Eudoxi phaenomena commentariorum. Libri Tres. – Lipsiae, in Aedibus B. G. Teubneri. 1894. XXXIV, 376 s.
13. *Широкова Н.С.* Культура кельтов и нордическая традиция античности. – СПб.: «Евразия». 2000. 352 с.
14. *Borchardt Ludwig.* Nachträge zu «Nilmesser und Nilstandsmarken» // Sitzungsberichte der preussischen Akademie der Wissenschaften. Philosophisch-historische Klasse. 1934. S. 194-202.
15. *Maillet V.* Description de l'Egypte contenant plusieurs remarques curieuses sur la Geographie ancienne et moderne de ce Pais, etc. – Paris. 1735. [24], 328, 242, [10] p.
16. *'Абд ар-Рахман ал Джабартӣ.* Удивительная история прошлого в жизнеописаниях и хронике событий. Т. III-1. Египет в период экспедиции Бонапарта (1798-1801) / Перевод, предисловие, примечания И.М. Фильштинского. – М.: «Восточная литература». 1962. 540 с.
17. *Ekman M.* Postglacial rebound and sea level phenomena with special reference to Fennoscandia and Baltic Sea // Publications of the FGI. Helsinki. 1993. No. 115. P. 7-69.
18. *Bogdanov V.I., Medvedev M.Yu., Solodov V.A., Trapeznikov Yu.A., Troshkov G.A., Trubitsina A.A.* Mean monthly series of sea level observations (1777-1993) at the Kronstadt tide gauge // Reports of the FGI. Helsinki. 2000. No. 1. 34 p.
19. *Михалевский А. И.* О периодичности колебаний уровня Каспийского моря // Записки по гидрографии. 1939. № 1. С. 97-100.
20. *Султанов А.С., Гусейн-Заде О.Д., Гусейн-Заде С.О., Дильбази З.Г., Гаджиев Б.А.* Влияние колебаний уровня Каспийского моря на хозяйственную деятельность в Прикаспийском регионе // Геодезия и картография. 1998. № 4. С. 43-45
21. *Померанец Ким.* Несчастья невских берегов. Из истории петербургских наводнений. – М.: «Центрполиграф». 2009. 432 с.
22. *Богданов В.И., Малова Т.И.* Леонард Эйлер, наводнения Невы и морские приливы // Леонард Эйлер. К 300-летию со дня рождения / Сб. статей, ред.: В. И. Васильев, Л. И. Брылевская, М. Маттмюллер, Ж. Сезиано. – СПб: «Нестор-История». 2008. С. 221-233.
23. *Каменцева Е.И.* Меры длины в первой половине XVIII в. // История СССР. 1962. № 4. С. 127-132.
24. *Каменцева Е.И., Устюгов Н.В.* Русская метрология. – М.: «Высшая школа». 1975. 328 с.
25. *Шостын Н.А.* Очерки истории русской метрологии XI-XIX века. – М.: Изд-во Стандартов. 1975. 272 с.

ON THE PRECISION AND REPRESENTATION OF SECULAR OBSERVATION RANGES AND LINEAR MEASURES OF XVIII CENTURY IN RUSSIA

Bogdanov V. I., Malova T. I., Kolotilin R. A.

Central Astronomical Observatory at Pulkovo (Russian Academy of Sciences), Saint-Petersburg

The unique methodological and metrological problem of formation of secular, millennial and more long ranges of instrumental observations by international global observatory net for the fundamental provision of natural researches is described. The investigation of the researches' provision on intervals, which can't be compared with the activity of one generation of observers or some stages of human's technical development, proposes the new ideological level in Nature's cognition. The provision of precision and similarity is investigated with the help of following examples: the rise of precision of positional astronomical methods since XV century; the Earth precession's research; the observations of water level in Egypt in 1784-1781 B. C. and in XVIII century; the estimation of precision and representation of water-level ranges in Stockholm, Cronstadt, Valaam, Baku and Krasnovodsk; the investigation of Neva floods; the employment of linear measures in Russia in the first half of XVIII century.

ПОСТРОЕНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕЛЕНОЦЕНТРИЧЕСКОЙ ОПОРНОЙ КООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ

Валеев С.Г.^{2,1}, Нефедьев Ю.А.¹, Вараксина Н.Ю.¹

¹*Астрономическая обсерватория им. В.П. Энгельгардта,
422526, Россия, Татарстан, Зеленодольский р-он, ст. Обсерватория, АОЭ, star1955@mail.ru*

²*Ульяновский гос.тех.ун-т, УРО АН РТ,
432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный венец, 32, sgv@ulstu.ru*

Построение глобальной опорной сети на поверхности Луны является одной из важнейших задач современной селенодезии. В работе разработан метод создания единой селеноцентрической системы координат в системе центра масс и главных осей инерции Луны на основе объединения космических и наземных наблюдений.

Введение

В настоящее время Луна является объектом исследований многих космических экспериментов и центром пристального внимания ученых, как в области астрономии, так и планетологии. Запуск американских научных спутников “CLEMENTINE” и “Lunar Prospector” стремительно и качественно изменил ситуацию в исследовании Луны [1, 2].

Развитие космических технологий предъявляет особые требования к результатам координатно-временного обеспечения, включающего реализацию систем отсчета, установление взаимной ориентации инерциальной и динамической систем координат, исследованию динамики и геометрии небесных тел. Это в полной мере касается динамических и геометрических параметров Луны, отнесенных к центру ее масс.

Для видимой стороны есть несколько координатных систем, среди которых наиболее информативен каталог 1162 объектов (КСК-1162) [3], построенный в Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта (АОЭ) по крупномасштабным снимкам Луны со звездами, и каталог 264 кратеров [4], основанный на этих же наблюдениях. Следует отметить также систему из 4900 кратеров, построенную в Киеве в Голосеевской обсерватории И.В. Гавриловым и др. [5]. В отличие от казанских каталогов, построенных в динамической системе координат, киевские получены в квазидинамической. Несмотря на то, что Луна исследуется космическими средствами, в настоящее время наземные наблюдения не утратили своей актуальности, поэтому оптимальным путем выполнения селенодезических исследований следует считать разумное сочетание космических и наземных методов наблюдений Луны [6].

При наличии базового селеноцентрического каталога координат опорных объектов на видимой стороне Луны КСК-1162 и ряда каталогов объектов в либрационной зоне и на обратной стороне Луны в разнородных системах построение единой системы координат с центром и осями, совпадающими с центром масс Луны и главными осями, совпадающими с центром масс Луны и главными осями ее инерции, включает следующие этапы:

- исследование ошибок каталога КСК-1162;
- сгущение и расширение системы каталога КСК-1162 на видимую, обратную стороны Луны и либрационную зону.

Описание КСК-1162

Опорная селенодеическая сеть КСК-1162 на поверхности Луны была создана на основе крупномасштабных снимков Луны со звездами, полученных не имеющим аналогов в мировой практике уникальным методом отдельных пластинок [7]. В отличие от методов обработки снимков Луны без звезд, в случае привязки к звездам мы имеем

абсолютное определение ориентации, нуль - пункта системы координат и ее масштаба. При выборе лунных кратеров, входящих в опорную сеть КСК-1162 использовались следующие критерии: рассматривались кратеры правильной округлой формы; кратеры должны были иметь небольшие размеры; выбранные объекты должны быть хорошо наблюдаемыми; кратеры сети в основном должны были входить в списки объектов других известных селенодезических каталогов и удовлетворять рекомендациям МАС.

Искомые параметры находились из $2m$ уравнений поправок вида:

$$\mathbf{A} \times \boldsymbol{\theta} + \boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{Z},$$

где $\mathbf{A}(A_{ij})$ – структурированная матрица, $\boldsymbol{\theta}(\Delta \xi, \Delta \eta, \Delta \zeta)$ – вектор-столбец искомых параметров, $\mathbf{Z}(\Delta X, \Delta Y)$ – вектор-столбец наблюдений, $\boldsymbol{\varepsilon}$ – вектор-столбец случайных ошибок наблюдений.

Решение относительно искомых параметров $\hat{\boldsymbol{\theta}}(\Delta \hat{\xi}, \Delta \hat{\eta}, \Delta \hat{\zeta})$ будет: $\hat{\boldsymbol{\theta}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{Z})$, а их ошибки определяются ковариационной матрицей $\mathbf{D}(\hat{\boldsymbol{\theta}}) = \frac{\mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V}}{2m-3} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1}$, где \mathbf{V} – вектор остаточных уклонений.

Анализ каталога КСК-1162 показал, что он наиболее полно удовлетворяет следующим требованиям: включает достаточное количество опорных точек для обеспечения возможности исследования фигуры Луны и осуществления точной привязки к ним; содержит объекты с координатами, отнесенными к эфемеридному центру масс Луны, а также покрывающие достаточно большую область поверхности Луны; точность представленных точек достигает ± 40 метров в плановых координатах и до ± 80 метров по высоте.

К вопросу переопределения координат селеноцентрического каталога КСК-1162

При построении опорной сети КСК-1162 использованы алгоритмы [7], [8], разработанные для привязки лунной и звёздной пластинок. По меньшей мере, две из рассматриваемых при этом задач метода наименьших квадратов (МНК) могут быть на сегодняшний день решены точнее. Поскольку переобработка базового каталога потребует громоздких перевычислений, следует исследовать и численно оценить, насколько это будет целесообразно. При решении стандартной задачи определения постоянных звёздной пластинки использовался метод шести постоянных (метод Тернера). Рассмотрим три возможные модификации этого способа, основанные на регрессионном моделировании [9].

Метод полного перебора структур. Вместо полиномиального разложения стандартных координат звёзд X и Y первой степени по измеренным координатам звёзд x и y можно использовать полиномы второй и третьей степеней. Полным перебором структур под условием минимума «внешней» среднеквадратической ошибки (СКО) σ_{Δ} определяется оптимальная структура модели трансформации по каждой координате. Такая модель «плавающей» структуры для каждой пластинки обеспечивает повышение точности определения координат меток и, соответственно, объектов каталога от нескольких десятков процентов и выше.

Метод ортогонализации для двумерного случая. Задача трансформации координат рассматривается как задача Тернера с дополнительным условием ортогональности перехода из системы измеренных координат в стандартную, что является адаптацией к нарушению условия МНК о независимости измеренных координат x и y .

Метод учета взаимозависимости стандартных координат X и Y (решение системы одновременных уравнений – СОУ). В этом случае устраняется влияние взаимоза-

висимости между стандартными координатами X и Y . При ее обнаружении одна из координат поступает в правую часть полинома по другой координате – с коэффициентом, подлежащим оцениванию.

Вторая задача МНК решается для системы в [10]

$$\mathbf{A}\boldsymbol{\theta} + \boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{Z}, \quad (1)$$

где $\mathbf{A} = \{A_{ij}\}_m$ – ранее вычисленная матрица преобразования координат для каждой m -ой пластинки, $\boldsymbol{\theta} = (\Delta\xi, \Delta\eta, \Delta\zeta)_K^T$ – вектор оцениваемых поправок к принятым значениям координат кратеров (объектов каталога), $\mathbf{Z} = (\Delta X \ \Delta Y)_K^T$ – вектор наблюдений.

Если первая задача нацелена на прогнозирование, то выражение (1) используется только для получения оценок $\Delta\xi, \Delta\eta, \Delta\zeta$, что приводит к необходимости проверки условий применения МНК-диагностики условий регрессионного анализа (РА) – МНК [9]. При их выполнении можно констатировать, что найденные оценки являются наилучшими линейными оценками в пределах возможностей использованного объёма наблюдений.

Приведение селенодезических каталогов в систему каталога КСК-1162

При сгущении и распространении селеноцентрического каталога на видимую и обратную сторону Луны, а также на её либрационную зону, необходимо с высокой точностью решить задачу определения элементов матриц перехода между базовой КСК-1162, промежуточными системами и редуцируемым каталогом.

Обычно при преобразовании координат из одной прямоугольной системы (X) в другую (Y) используется модель аффинного преобразования

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{Y} + \mathbf{X}_0, \quad (2)$$

где $\mathbf{X} = (X_1 \ X_2 \ X_3)^T$, $\mathbf{Y} = (Y_1 \ Y_2 \ Y_3)^T$ – векторы координат в системах M_x и M_y , $\mathbf{A} = \{A_{ij}\}$ – матрица ориентации, $\mathbf{X}_0 = (X_{01} \ X_{02} \ X_{03})^T$ – вектор смещения центра системы M_x относительно M_y . Для определения по общим объектам элементов a_{ij} и смещения используется МНК, применяемый к каждой из трёх подсистем уравнений по отдельности или к совместной системе.

Преобразование (2) не всегда обеспечивает удовлетворительную точность. Из-за ошибок координат в системах M_x и M_y и возможной взаимозависимости оценок a_{ij} матрица \mathbf{A} может не удовлетворять условиям ортогонального перехода из M_y в M_x :

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} = \mathbf{E}, \quad \det A = 1,$$

где \mathbf{E} – единичная матрица (3).

В связи с этим, моделью, конкурирующей с моделью (2) и возможными другими, является выражение (2), рассматриваемое совместно с условиями (3). В рамках теории условной оптимизации параметры этой модели могут быть оценены путём аналитического или численного решения задачи поиска минимума (абсолютного или относительного) квадратичной формы $\mathbf{S} = \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon}$ с нелинейными ограничениями в виде равенств

$$\min \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon}, \quad \mathbf{A}^T \mathbf{A} = \mathbf{E}, \quad \det A = 1, \quad \mathbf{A}, \mathbf{X}_0 \in \mathbf{G} \quad (4)$$

где $\boldsymbol{\varepsilon}$ – вектор ошибок для модели (2), $\boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon} = \sum_{1 \leq j \leq n} \sum_{1 \leq j \leq 3}$, ε_{ij} , n – количество объектов;

\mathbf{G} – допустимая область.

Выбор метода трансформации координат должен быть осуществлён в результате тщательных исследований сравнительной эффективности следующих подходов: аффинного преобразования, оптимальной полиномиальной аппроксимации, ортогонального преобразования без и с учётом систематических ошибок, решения системы одновременных уравнений и др.

Литература

1. *Нефедьев Ю.А.* // Труды международной конференции «Околосемная Астрономия - 2005». 2006. С. 366-373.
2. *Nefedjev Yu.A.* // N.35th COSPAR Scientific Assembly. Held 18 - 25 July 2004, in Paris, France.2004. P.3305.
3. *Нефедьев Ю.А.* // Теория и практика покрытий звезд Луной. Казань. 2003.
4. *Habibullin Sh.T., Rizvanov N.G.* // Earth, Moon and Planets. 1984. Vol. 30. №1. P. 1-19.
5. *Гаврилов И.В., Кислюк В.С., Дума А.С.* // Сводная система селеноцентрических координат 4900 точек лунной поверхности. Киев. 1977.
6. *Ковалевский Ж.* // Современная астрометрия. Фрязино. 2004.
7. *Habibullin S.T., Rizvanov N.G., Bistrov N.P.* // Moon. 1974. vol.11. N. 1. P.125-136.
8. *Быстров Н.Ф., Ризванов Н.Г.* // Труды Казанской Гор. АО КГУ. 1973. № 39. С.156-175.
9. *Валеев С.Г.* // Регрессионное моделирование при обработке наблюдений. М.: Наука. Гл. Редакция физ.-мат.лит. 1991.
10. *Ризванов Н.Г.* // Труды КГАО. 1985. №49. С. 80-110.

BUILDING OF THE UNITED SELENOCENTRICAL COORDINATE SYSTEM

Nefed'ev Yu.A.¹, Valeev S.G.², Varaksina N.Yu.¹

¹*Engelhardt astronomical observatory (EAO),
422526, Russia, Tartarstan, Zelenodoliskiy region, cl. Observatory, EAO, star1955@mail.ru*

²*Uliyanovskiy gos.teh.un-t, YAHOO AN RT,
432027, Russia, g. Uliyanovsk, str. North corona, 32, sgv@ulstu.ru*

Setting up of global support system on the surface of the Moon is one of the most important problems in modern selenodesia. In this article we deal with the method of the method of setting up of the united selenocentric system of coordinates in the system of the mass centre and main axes of the Moon inertia on the bases of the united cosmic and earth observations.

ФОТОМЕТРИЯ И ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ НЕКОТОРЫХ ДВОЙНЫХ И КРАТНЫХ АСТЕРОИДОВ ГЛАВНОГО ПОЯСА И ГРУППЫ АСЗ

**Верещагина И.А., Девяткин А.В., Горшанов Д.Л.,
Карашевич С.В., Найден Я.В., Соков Е.Н.**

Главная (Пулковская) Астрономическая Обсерватория РАН, Санкт-Петербург

В настоящей работе приводятся результаты исследований кратных астероидов (22) Kalliope, (87) Sylvia, (90) Antiope главного пояса и 137170 и 2006 VV2 группы АСЗ. Были проведены фотометрические наблюдения перечисленных объектов. На основе анализа полученных наблюдательных данных, а также данных об исследуемых объектах, полученных другими авторами, были построены модели рассматриваемых астероидов. Полученные модели позволили уточнить и определить ряд параметров двойных систем данных объектов.

Фотометрические наблюдения проводились на автоматизированных телескопах ЗА-320М ($D = 320$ мм, $F = 3200$ мм, ПЗС-камера FLI IMG 1001E, поле зрения $28' \times 28'$) и МТМ-500М ($D = 500$ мм, $F = 4100$ мм, ПЗС-камера SBIG STL 1001E, поле зрения $21' \times 21'$). Оба инструмента снабжены турелью со светофильтрами B , V , R , I международной фотометрической системы Джонсона. Обработка полученных рядов наблюдений осуществлялась при помощи программных пакетов АРЕХ-I и АРЕХ-II [1]. Для наблюдений, полученных в фильтрах, звездные величины определялись с помощью привязки к фотометрическим стандартам из каталога [2]. Частотный анализ полученных кривых блеска осуществлялся с помощью трех методов – CLEAN [3], Скаргла [4] и вейвлет-анализа [5].

Моделирование осуществлялось при помощи численного интегрирования уравнений поступательно-вращательного движения твердых тел, полученных Г.Н. Дубошиным [6,7]. Поскольку рассматриваемые астероиды являются двойными или тройными, то рассматривались задачи двух и трех тел соответственно. При этом, тела считались трехосными эллипсоидами. Численное интегрирование осуществлялось с помощью метода Рунге-Кутты 8-го порядка.

Астероид 137170

Астероид 137170 принадлежит к группе астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ) и является двойным. По имеющимся оценкам, размеры его компонентов в диаметре составляют 3.73 и 0.8 км соответственно. Также, достаточно точно известны два периода, присутствующие в кривой блеска данного объекта. Это период 2.31912 часа, связанный с вращением главного компонента вокруг своей оси, и период 14.017 часов, связанный с обращением спутника вокруг главного компонента. Плоскость орбиты спутника так ориентирована относительно луча зрения земного наблюдателя, что мы можем регулярно наблюдать затмения.

В рамках настоящего исследования, был получен достаточно длительный ряд наблюдений рассматриваемого астероида, охватывающий период с марта по июнь 2008 года. Наблюдения проводились в фильтре R системы Джонсона и затем объединялись в один ряд с помощью фотометрических стандартов [2]. Полученный ряд наблюдений изображен на рис. 1.

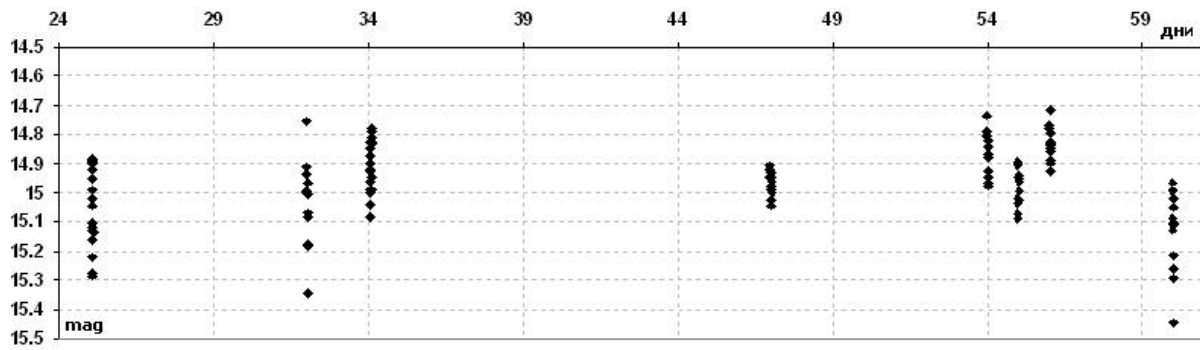


Рис. 1. Фотометрический ряд наблюдений двойного астероида (137170).

Видно, что блеск объекта в течение указанного периода менялся достаточно сложным образом. Тем не менее, примененный к данному ряду наблюдений частотный анализ подтвердил наличие двух упомянутых выше периодов ~ 2.3 часа и 14 часов. Все наблюдения были объединены в соответствии с периодом осевого вращения - 2.31912 часа, и приведены к одной фазе. Результирующая кривая блеска показана на рис. 2. Видно, что, несмотря на сложную картину изменения блеска, максимумы и минимумы кривой блеска, связанной с осевым вращением главного компонента, явно прослеживаются. Из полученной кривой блеска было установлено, что амплитуда изменения блеска при осевом вращении главного компонента составляет $\sim 0.2^m$. На основании этого, учитывая известный угол наклона орбиты астероида к плоскости эклиптики и предполагая, что плоскость экватора главного компонента астероида лежит в его орбитальной плоскости, были получены оценки соотношений между тремя размерами главного компонента в предположении, что он является трехосным эллипсоидом: $b \sim 0.835a$, $c \sim 0.816a$.

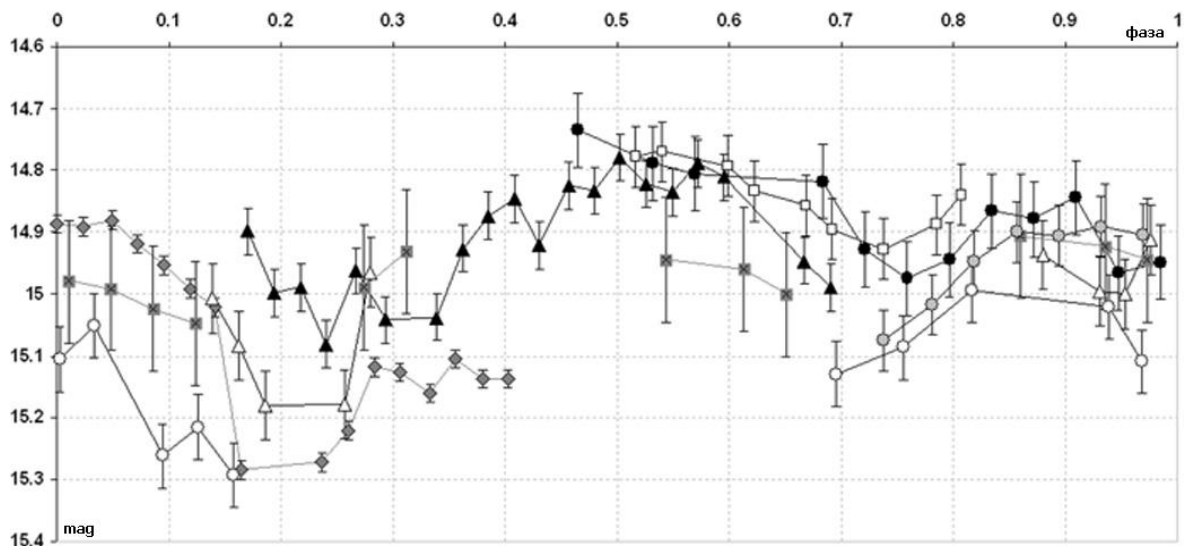


Рис. 2. Кривая блеска астероида 137170, связанная с осевым вращением главного компонента. Разными символами обозначены результаты, полученные в разные даты.

На основании полученных наблюдательных данных и учитывая известные оценки параметров данной двойной системы, была построена возможная модель двойного астероида 137170, изображенная на рис. 3. Методика модельных расчетов изложена в работе [7]. На рисунке 3 приведена эволюция оси вращения главного компонента и орби-

ты спутника за 10 лет. Видно, что ось вращения главного компонента испытывает незначительную вынужденную прецессию, и также присутствуют заметные возмущения в элементах орбиты спутника, вызванные несферичной формой главного компонента.

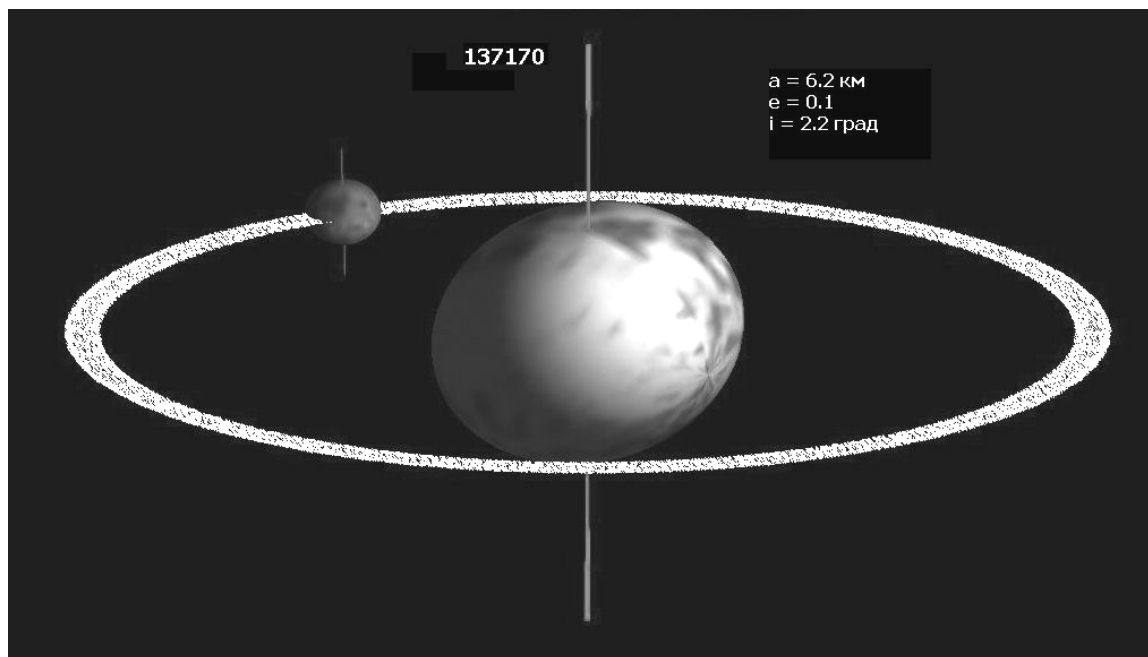


Рис. 3. Модель двойного астероида 137170.

Показана эволюция оси вращения главного компонента и орбиты спутника за 10 лет.

Полученная модель астероида позволила определить и уточнить ряд параметров данной двойной системы. Оценки этих параметров приведены в таблице 1. Оценки массы были сделаны с использованием известной оценки плотности системы 2.0 г/см^3 .

Таблица 1. Оценки параметров двойной системы астероида (137170), полученные на основе построенной модели данного объекта.

| | |
|---|--|
| Размеры главного компонента | $a = 2.12 \pm 0.02 \text{ км}$ $b = 1.77 \pm 0.02 \text{ км}$ $c = 1.73 \pm 0.02 \text{ км}$ |
| Масса двойной системы | $5.5 \pm 0.1 \times 10^{13} \text{ кг}$ |
| Полуось орбиты спутника | $6.2 \pm 0.5 \text{ км}$ |
| Эксцентриситет орбиты спутника | 0.1 ± 0.05 |
| Наклон орбиты спутника к экватору главного компонента | $2.2 \pm 0.5^\circ$ |

Астероид (22) Каллиопе

В марте 2007 года, совместно с рядом обсерваторий, в том числе Парижской, были проведены наблюдения взаимных явлений (затмений и покрытий) в двойной системе астероида главного пояса (22) Каллиопе. Параллельно было осуществлено моделирование ожидаемых взаимных явлений. По результатам сравнения наблюдательных данных с модельными, была уточнена форма главного компонента данного астероида (рис.4.). Кроме того, также были существенно уточнены оценки ряда параметров двойной системы, которые приведены в таблице 2 [8].

Таблица 2. Оценки параметров двойной системы астероида (22) Каллиоре, полученные из наблюдений взаимных явлений в марте 2007 года.

| | Старые данные | Новые данные |
|---|-----------------------|------------------------------|
| Диаметр главного компонента (эквивалентный) | 181 км | 156 ± 4 км |
| Диаметр спутника (эквивалентный) | 20-40 км | 28 ± 2 км |
| Плотность системы | 2.03 г/см^3 | $4.1 \pm 0.3 \text{ г/см}^3$ |

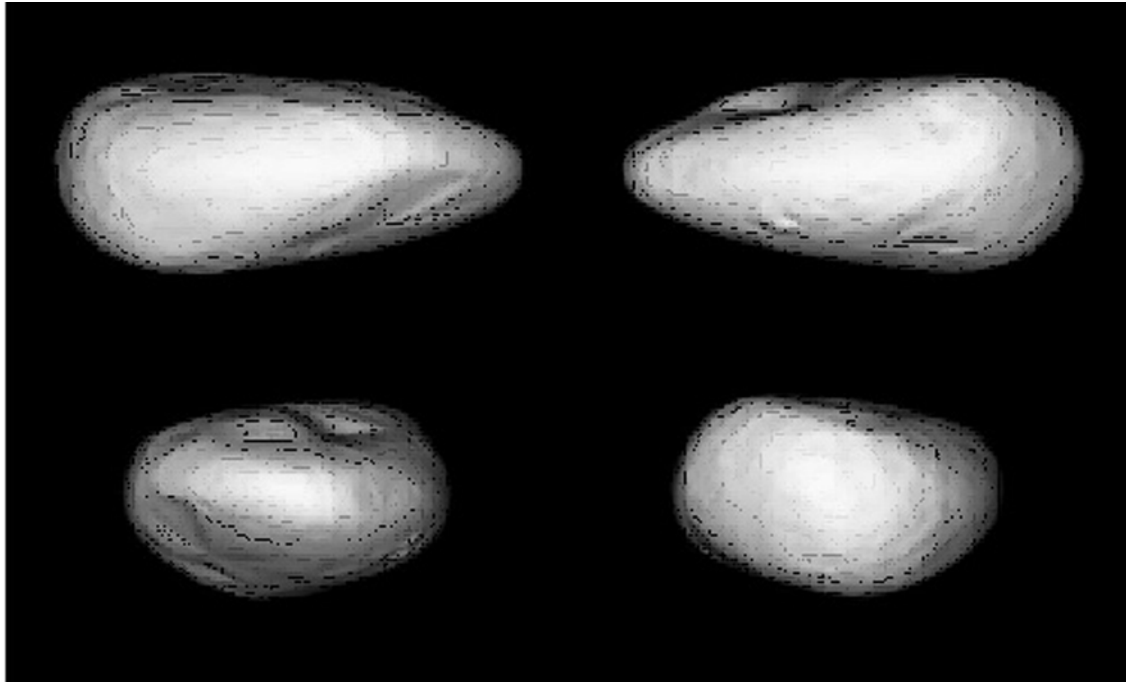


Рис. 4. Уточненная на основе наблюдений взаимных явлений 2007 года форма главного компонента двойного астероида (22) Каллиоре.

Астероид 2006 VV2

Астероид 2006 VV2 из группы AC3 наблюдался в конце марта 2007 года на протяжении всего периода его видимости, который составил 10 дней. По результатам проведенных фотометрических наблюдений в фильтрах B , V , R , I , а также в интегральной полосе, был определен период осевого вращения главного компонента данной двойной системы, который составил 1.704 часа, а также три показателя цвета: $B-V = 0.67 \pm 0.10$, $V-R = 0.45 \pm 0.05$, $R-I = 0.18 \pm 0.06$. Полученные кривые блеска, связанные с осевым вращением главного компонента, для разных фильтров показали, что, по всей вероятности, на поверхности главного компонента астероида имеется область сильного поглощения в инфракрасном диапазоне [9,10].

На основании полученных наблюдений была также построена модель данного двойного астероида, изображенная на рис.5. Показана эволюция орбиты спутника и оси вращения главного компонента за 10 лет. В таблице 3 приведены результаты полученных на основании данной модели оценок параметров рассматриваемой двойной системы.

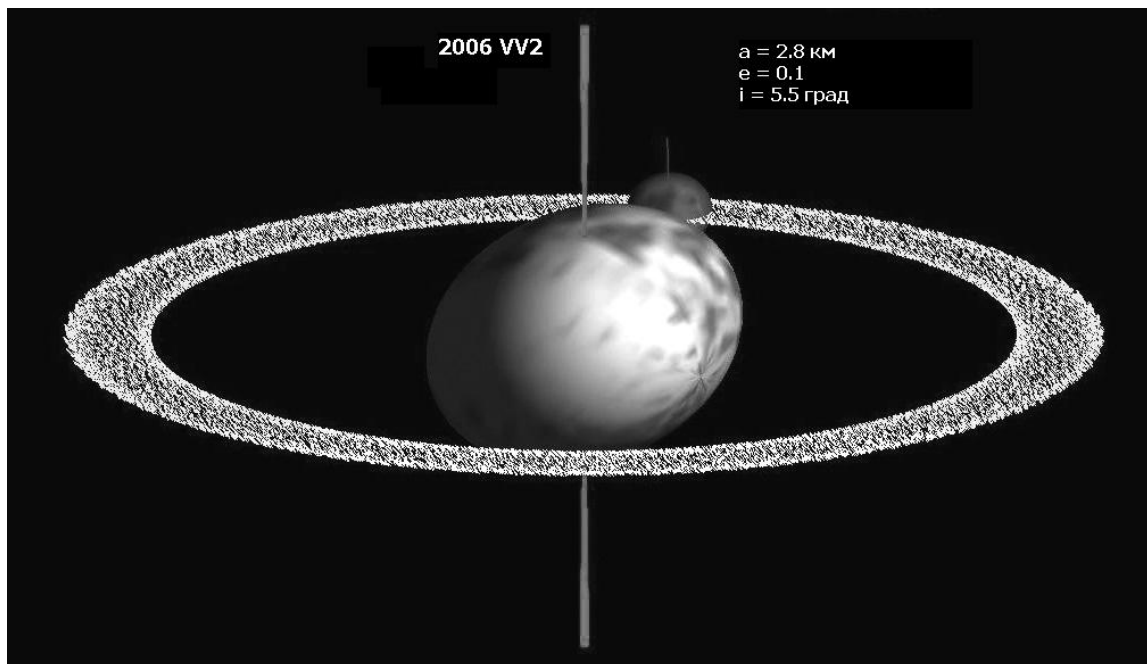


Рис. 5. Модель двойного астероида 2006 VV2.

Показаны эволюция элементов орбиты спутника и оси вращения главного компонента за 10 лет.

Таблица 3. Оценки параметров двойной системы астероида 2006 VV2, полученные из построенной модели и наблюдений.

| | |
|---|--|
| Размеры главного компонента | $a = 1.10 \pm 0.14$ км $b = 0.83 \pm 0.07$ км $c = 0.81 \pm 0.05$ км |
| Масса системы | $6.47 \pm 0.05 \times 10^{10}$ кг |
| Плотность системы | ~ 0.99 г/см ³ |
| Полуось орбиты спутника | 2.8 ± 0.4 км |
| Эксцентриситет орбиты спутника | 0.10 ± 0.09 |
| Наклон орбиты спутника к экватору главного компонента | 5.5 ± 4.8 ° |

Астероиды (87) Sylvia и (90) Antiope

Для тройного астероида (87) Sylvia из главного пояса был получен плотный ряд фотометрических наблюдений в фильтре *R* системы Джонсона. Данные наблюдения позволили выявить локальные участки падения блеска, которые вероятно связаны со взаимными явлениями, происходящими в данной тройной системе [9, 10].

Полученный ряд наблюдений двойного астероида (90) Antiope выявил периодическое изменение блеска астероида с периодом 0.54 года и амплитудой 0.6^m. Данный период совпадает с изменением угла фазы астероида, что говорит о сильно сплюснутой форме компонентов или неоднородности отражательных свойств их поверхности [9, 10].

Литература

1. Девяткин А.В., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Верещагина И.А. «Программные пакеты «Апекс-1» и «Апекс-2» для обработки астрономических ПЗС-наблюдений» // Астрон. вестник 2009, т. 43, № 6, с. 1–14.

2. Каталог WBVR-величин ярких звезд северного неба. Труды государственного астрономического института им. П.К. Штернберга. Т. LXIII. Изд. МГУ. 1991.
3. *Витязев В.В.* Анализ неравномерных временных рядов. Издательство С.-Петербургского университета, 2001-б, 67 с.
4. *Scargle J.D.* Studies in Astronomical Time Series Analysis. II. Statistical Aspects of Spectral Analysis of Unevenly Spaced Data // *Ap.J.*, 263, 1982, p. 835-853.
5. *Витязев В.В.* Вейвлет-анализ временных рядов. Издательство С.-Петербургского университета, 2001, 58 с.
6. *Дубошин Г.Н.* Небесная механика. Основные задачи и методы. М. 1963.
7. *Верещagina И.А., Шор В.А.* О динамике двойной системы астероида 1220 Крокус // *Изв. ГАО*, № 218, 2006, с.61-67.
8. *P. Descamps, F. Marchis, M. Kaasalainen, A. Devyatkin, I. Verestchagina. D. Gorshanov 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.
9. *И.А. Верещagina, Д.Л. Горшанов, А.В. Девяткин, П.Г. Папушев.* Особенности кривых блеска астероидов (39) Летиция, (87) Сильвия, (90) Антиопа и 2006 VV2 // *Астрономический вестник*, т. 43, №4, 2009. с. 1-10.
10. *I.A. Vereshchagina, D.L. Gorshanov, A.V. Devyatkin, P.G. Papushev.* Some specific features of light curves of (39) Laetitia, (87) Sylvia, (90) Antiope and 2006 VV2 asteroids // *Solar System Research*, vol. 43, No. 4, 2009, p. 291-300.

**PHOTOMETRICAL OBSERVATIONS AND DYNAMICAL MODELS
OF SOME BINARY AND TRIPLE ASTEROIDS
FROM MAIN BELT AND NEAR-EARTH GROUPE**

**Verestchagina I.A., Devyatkin A.V., Gorshanov D.L.,
Karashevich S.V., Naiden Y.V., Sokov E.N.**

Main (Pulkovo) Astronomical Observatory of RAS, St.-Petersburg

Results of investigations for binary asteroids (22) Kalliope from main asteroid's belt and (137170), 2006 VV2 from Nea-Earth groupe have been presented in the paper. Photometrical observations of the binary asteroids have been obtained from measurements on automatic telescopes ZA-320M and MTM-500M of Pulkovo Observatory. Based on this observations information dynamical models of the asteroids have been derived. The models have let us to estimate some unknown physical parameters of considering asteroids, such as a mass, density of binary system components, their rotation periods, distance between components, possibly forced precession of rotation axis and so on.

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕСТИЛЕТНИХ ВАРИАЦИЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Горшков В.Л.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

Введение

Впервые вариации в скорости вращения Земли с квазипериодичностью приблизительно в 5-7 лет были обнаружены Я. Вондраком (1977). Эти вариации продолжительности суток (ПС) занимают промежуточное положение между сезонными вариациями, определяемыми, главным образом, обменом моментами с атмосферой и океаном, и декадными (более 10 лет), происхождение которых принято приписывать гравитационному и электромагнитному взаимодействию мантии и ядра.

После публикации нового однородного астрометрического ряда всемирного времени *eopAO* (Vondrak et al., 1998), включающего наблюдения на 30 инструментах в 24 обсерваториях мира, причины этих квазিশестилетних вариаций ПС исследовались во многих работах. В некоторых из них эти вариации объясняются обменом угловыми моментами между твердотельной Землёй и её внешними флюидными оболочками – атмосферой и океаном (Gross et al., 1996; Dickey, et al., 2003). В других, в основном теоретических, работах в качестве причин этих вариаций ПС рассматриваются электромагнитные и гравитационные взаимодействия между внутренним ядром и мантией, а также влияние топографии границы ядро-мантия (Pais, Hulot, 2000; Mound, Buffett, 2003, 2006). И, наконец, в ряде работ показана статистическая обусловленность 5-6 летних вариаций в скорости вращения Земли в зависимости от солнечной активности (Djurović, Pâquet, 1996; Abarca del Rio et al., 2003).

В данной работе, являющейся продолжением работ (Горшков, Щербакова, 2002; Charanov et al., 2005), исследуются некоторые факторы возбуждения этих вариаций.

Данные и метод исследования

Вариации продолжительности суток в диапазоне от 2 до 8 лет оценивались по данным МСВЗ (<http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/product/>). Использовались ряд классической астрометрической службы АО ПВЗ (ряд *eopAO* 1956-1992 гг.), наиболее продолжительные ряды данных космической геодезии (*IVS_r* с 1981 года, *CSR_r* с 1981 года, *CODE_p* с 1993 года и сводный ряд данных космической геодезии *Finals2000A.all* с 1981 года) и ряд данных ПС до эпохи атомного времени (1832-1956 гг.), полученный на основе наблюдений покрытий звезд Луной (*LUNAR-97*). Ряд определений ПС *eopAO* был продолжен нами до 2009 года (ряд *combAO*) по данным оставшихся 5 станций классических определений ПС, любезно предоставленных нам коллегами из Главного метрологического центра ГСВЧ. Для всех рядов из вариаций ПС предварительно были удалены приливные вариации от 5 дней до 18.6 года. На рис. 1 представлены ошибки исследуемых рядов, приведенные для однородности к интервалу в 5 дней.

Для сопоставления с возможными геофизическими факторами возбуждения этих вариаций ПС использовались: 1) вариации среднего уровня моря на уровнемерных постах (<http://www.nbi.ac.uk/psmsl/>) близких к расположению астрометрических станций, использованных при формировании ряда *eopAO*, 2) данные о компонентах χ_3 функций эффективных угловых моментов – океанического (OAMf, ftp://euler.jpl.nasa.gov/sbo/oam_global/ECCO_50yr.chi) и атмосферного (AAMf,

<ftp://ftp.cdc.noaa.gov/dataset/ncpr.reanalysis/>). Для ряда *LUNAR-97* для этих целей использовался индекс Южного колебания Эль-Ниньо (Stahle et al., 1998).

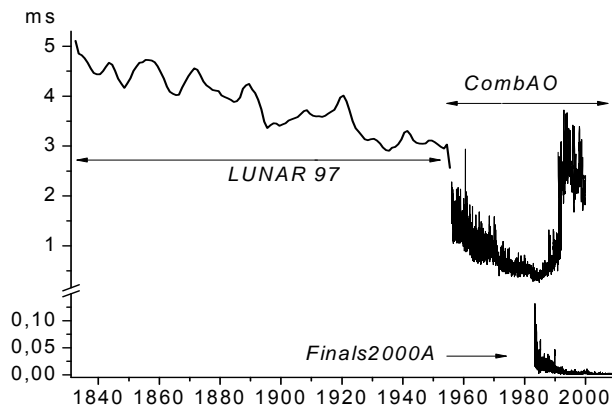


Рис. 1. Поведение среднеквадратических ошибок исследуемых рядов, формально приведенных к одинаковому пятидневному интервалу оценки.

В исследовании в основном использовался сингулярный спектральный анализ (ССА) и его многомерная версия (МССА) в программной реализации СПбГУ «Гусеница» (<http://www.gistatgroup.com/gus/>).

Анализ вариаций продолжительности суток

На рис. 2 приведено разложение с помощью ССА рядов *comBAO* и *LUNAR-97* в двух частотных диапазонах – в интервалах от 2 до 4 (ПС-3) и от 4 до 8 лет (ПС-6). В составляющей ПС-3 присутствует более чёткая компонента с периодом ~ 2.4 года, систематически возрастающая по амплитуде в течение 1970-1980 года, и менее уверенная 3-4 летняя компонента. Составляющая ПС-6 имеет более выраженную компоненту с периодом около 6.3 года, практически выродившуюся с конца 1980-х годов, и нестабильную 4-5 летнюю компоненту.

Очевидно произошедшее изменение в структуре этих вариаций. После 1986 года амплитуда ПС-6 резко уменьшилась, в то время как амплитуда ПС-3 возросла. Заметим, что в это же время произошли структурные изменения наблюдательной базы подсистемы АО ПВЗ. Изменилось географическое распределение этих станций – вместо глобального распределения осталось только пять, в основном, континентальных станций.

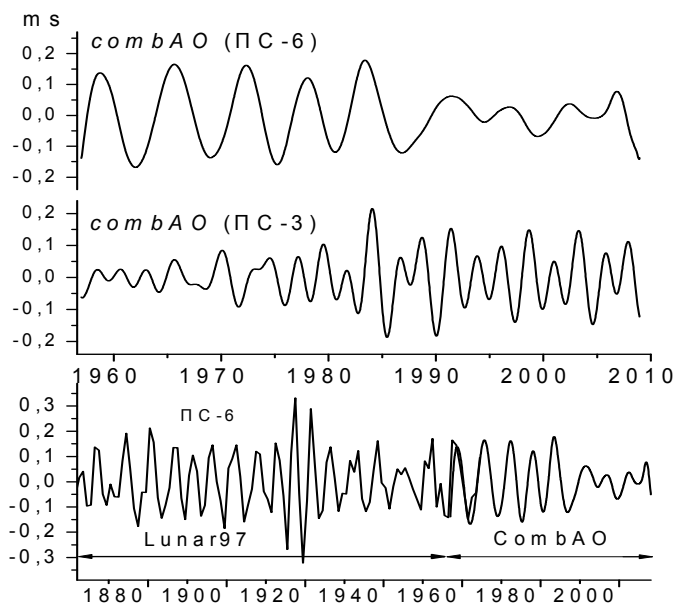


Рис. 2. ССА разложение рядов ПС *comBAO* и *LUNAR-97* в интервале периодов от 2 до 8 лет.

В наиболее продолжительном ряде *LUNAR-97* периодика процесса после снятия трендовой и декадной составляющих имеет два достаточно широких максимума – 5-7 лет и значительно менее мощный около 2.5 года. Видно, что основной характер исследуемых вариаций ПС-6 сохранялся и в прошлом, но имели место значительные колебания амплитуды этих вариаций и небольшие изменения периода. При этом надо иметь в виду, что ошибки этого ряда достаточно велики (рис. 1) и, кроме того, при наличии одного значения ПС за год ошибка фазы вариаций также может достигать года и более.

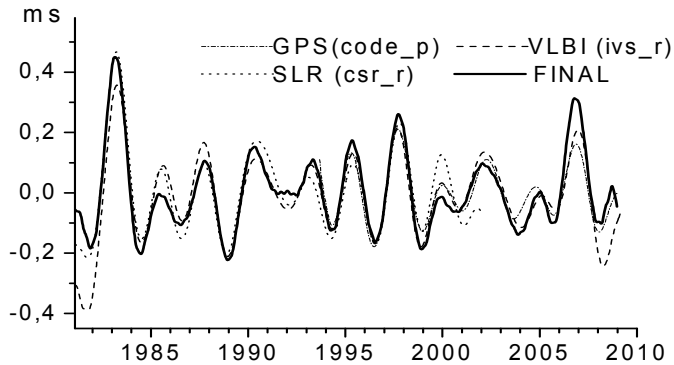


Рис. 3. ССА разложение в интервале периодов от 2 до 8 лет рядов данных космической геодезии.

На рис. 3 приведено разложение рядов ПС по данным космических средств определения. Видно, что в этих рядах вариации ПС-6 не наблюдаются изначально.

С сожалением отметим, что прекращение функционирования глобальной структуры АО ПВЗ затрудняют исследования вариаций ПС в данной полосе частот, не позволяя уверенно отделить артефакт (смена средств наблюдений) от реального изменения структуры вариаций ПС.

Анализ геофизических причин исследуемых вариаций ПС

По геофизическим данным можно проверить атмосферное и океаническое возбуждение этих вариаций ПС. Данные о функциях соответствующих эффективных угловых моментов (ААМf и ОАМf) имеются только со середины прошлого века и поэтому не могут быть применены для исследования ряда *LUNAR-97*. Однако известно (Chao, 1989), что значительная часть геофизического возбуждения вариаций ПС обусловлена Южным колебанием Эль-Ниньо (ЮКЭН). Поэтому для сопоставления с вариациями ПС ряда *LUNAR-97* использовалась одна из многочисленных реконструкций индекса ЮКЭН (Stahle et al., 1998). Ясно, что это сопоставление носит качественный характер и может определить лишь фазовую корреляцию этих осцилляций.

После предварительной стандартизации обоих рядов (вычтено среднее и поделено на дисперсию) произведена совместная их реконструкция в области периодов 4-8 лет (рис. 4, верхний график) с помощью МССА. Видно, что ЮКЭН не может быть строго ответственным за вариации ПС-6 в ряде *LUNAR-97*, хотя в моменты значимых событий Эль-Ниньо, как, например, в 1920-х годах, заметна синхронизация рядов. Как уже отмечалось, ошибки редких в прошлом наблюдений ПС по наблюдениям покрытий звёзд Луной, также как ошибки реконструкции индекса ЮКЭН по косвенным (дендрохронологическим) параметрам весьма велики, что отражается и на полученных оценках совместного разложения рядов.

Для сопоставления с остальными рядами ПС использовались χ_3 компоненты ААМf и ОАМf. В ССА разложении ААМf отсутствует составляющая на частоте ПС-6 в χ_3 , как это ранее было обнаружено в (Abarca del Rio et al., 2000). Однако присутствует слабая, возрастающая с конца 1970 годов от ~ 0.03 мс до ~ 0.08 мс составляющая с пе-

риодом около 5 лет. Также с конца 1970 годов происходило постепенное увеличение от ~ 0.08 мс до ~ 0.15 мс составляющей в диапазоне 2-3 летних вариации.

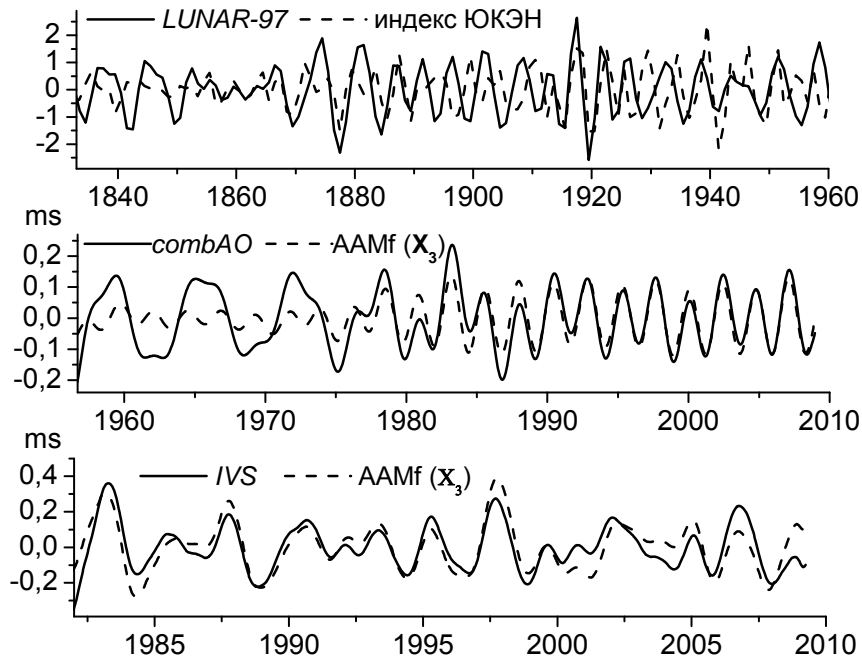


Рис. 4. Вверху – совместное (МССА) разложение ряда продолжительности суток *LUNAR-97* и индекса Южного колебания Эль-Ниньо в интервале периодов от 2 до 8 лет. Совместное разложение ряда ААМf и рядов ПС *combAO* (средний график) и *IVS_r* (нижний график) в том же интервале периодов.

На среднем графике рис. 4 приведены результаты совместного (МССА) разложения ААМf и ряда ПС из *combAO* после снятия сезонных и декадных (периоды более 10 лет) компонент. Видно, что до 1983 года вариации ПС в ряде *combAO* имеют исключительно ПС-6 моду и не имеют для неё возбуждающих оснований в атмосферном угловом моменте. С конца 1980-х годов вариации ПС в ряде *combAO* почти полностью определяются обменом моментами с атмосферой, но при этом только в диапазоне ПС-3. В ряде *IVS_r* вариации ПС в диапазоне ПС-3 также почти полностью определяются атмосферной динамикой (нижний график рис. 4).

В ССА разложении ОАМf также обнаруживается слабый компонент с периодом около 5 лет, вероятно, являющийся отражением атмосферной динамики, который ни по амплитуде (0.01 мс), ни по частоте не может быть ответственным за вариации ПС-6.

Поскольку многие станции, имеющие наибольший вес в подсистеме АО ПВЗ, распределены в основном вблизи побережий, нами была проверена возможность возбуждения вариаций ПС-6 вариациями отвесных линий на этих станциях за счёт соответствующих колебаний уровня моря в прибрежных зонах. Это исследование было проведено по данным уровнемерных станций с историей регистрации не менее 50 лет.

На рис. 5 приведены вариации уровня моря в исследуемом частотном диапазоне для регионов наиболее близких к станциям АО ПВЗ. Периоды этих вариаций сосредоточены в интервале от 3.9 лет (Япония) до 5.3 года (Балтика), а амплитуды не превышают 15 см. Периодичность этих вариаций не совпадает с вариациями ПС-6. Но более важно то, что выделенные в этом частотном диапазоне амплитуды вариаций уровня моря недостаточны для возбуждения соответствующих вариаций вертикала.

Согласно разложению формулы Венинг-Мейнеса для практического применения (Грушинский, 1963) для круговых зон от точки наблюдения до 2000 км периферии имеем отклонения отвеса в первом вертикале:

$$\xi'' \approx -0.0263'' dg_5 - 0.0050'' dg_{100} - 0.0020'' dg_{300} - 0.0015'' dg_{1000} - 0.00087'' dg_{2000},$$

где $dg_i = \sum \Delta g_i \cos A$, Δg_i – гравиметрические аномалии в мГал, A – азимут от точки наблюдения на элемент площадки равного действия в круговой зоне, i – индекс круговой зоны (в км) от точки наблюдения.

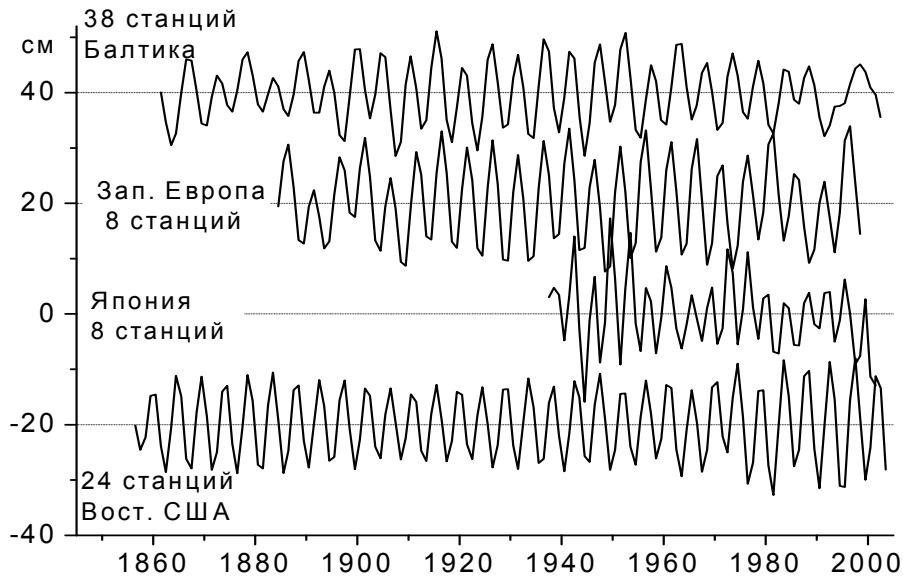


Рис. 5. МССА реконструкция вариаций уровня моря по среднегодовым уровнемерным данным для разных прибрежных регионов в диапазоне периодов от 2 до 8 лет.

Полученные нами (рис. 5) усреднённые по многим уровнемерным станциями оценки вариаций уровня моря (± 10 см) в исследуемом диапазоне частот соответствуют $\Delta g \approx 4$ мкГал (Levine et al., 1986). Это в десятки раз меньше того, что необходимо для возбуждения исследуемых вариаций отклонения отвеса (0.2 мс) даже в центральной зоне, т.е. непосредственно на побережье.

Выводы

Таким образом, за неимением достаточных альтернативных космическим средствам определения ПВЗ данных, остаётся предположение, что в середине 1980-х годов произошло реальное изменение структуры низкочастотных вариаций ПС, в которых 2-3 летние вариации практически вытеснили 5-7 летние вариации. При этом 2-3 летние вариации почти полностью определяются геофизическим возбуждением за счёт атмосферного углового момента. Одним из теоретически возможных источников квазишестилетних вариаций ПС остаются гравитационные и электромагнитные взаимодействия в системе мантия-ядро. Но в этом случае следует предположить, что в параметрах этого взаимодействия в середине 1980-х годов произошли серьёзные изменения, приведшие к прекращению работы механизма этого взаимодействия.

Литература

- Горшков В.Л., Щербакова Н.В. Изменение долготы Пулкова и долгопериодические вариации скорости вращения земли // Изв. ГАО РАН, №216, 2002, с.430-437.
Грушинский Н.П. Теория фигуры Земли. М.: ФМ. 1963. 446 с.

- Abarca del Rio, R., Gambis, D., Salstein, D.* Interannual signals in length of day and atmospheric angular momentum // *Ann. Geophysicae*. 2000. 18, 347-364.
- Abarca del Rio, R., Gambis, D., Salstein, D., Nelson P., Dai, A.* Solar activity and Earth rotation variability // *Journal of Geodynamics*. 2003. 36, 423-443.
- Chao B.* Length-of-day variations caused by El Nino – Southern Oscillation // *Science*. 1989. 243, 923-925.
- Chapman, Ya., Vondrak J., Gorshkov V. Ron C.* Six-year cycles of the Earth rotation and gravity // *Reports on Geodesy*. Warsaw UT. N2(73). 2005. Proc. EGU G9 Symp. «Geodetic and Geodynamic programmes of the CEI», Vienna, Austria, April 2005, pp. 221 – 230.
- Dickey, J., Marcus, S., de Viron, O.* Coherent interannual and decadal variations in the atmosphere-ocean system // *Geophys. Res. Lett.* 2003. 30, 27-31.
- Djurović D., Pâquet P.* The common oscillations of solar activity, the geomagnetic field and the Earth's rotation // *Solar Physics*. 1996. 167, 427 – 439.
- Golyandina, N., Nekrutkin, V., and Zhigljavsky, A.* Analysis of Time Series Structure: SSA and Related Techniques / Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2001. 305 p.
- Gross, R., Marcus, S., Eubanks, T., Dickey, J., Keppenne, C.* Detection of an ENSO signal in seasonal length-of-day variation // *Geophys. Res. Lett.* 23, 1996, 3373-3376.
- Levine, J., J.C. Harrison, and W. Dewhurst.* Gravity tide measurements with a feedback gravity meter // *J. Geophys. Res.* 1986, 91, 12,835-12,841.
- Mound J.E., Buffett B.A.* Interannual oscillations in length of day: Implications for the structure of the mantle and core // *J. Geophys. Res.*, 2003, 108, no B7, 2334, doi:10.1029/2002JB002054.
- Mound J.E., Buffett B.A.* Detection of a gravitational oscillation in length-of-day // *Earth Planet. Sci. Lett.* 243 (2006), 383-389.
- Pais, A., Hulot, G.* Length of day decade variations, torsional oscillations and inner core superrotation: evidence from recovered core surface zonal flows // *Phys. Earth planet. Inter.*, 2000, 118, 291-316.
- Stahle, D.W., R.D. D'Arrigo, P.J. Krusic, M.K. Cleaveland, et al.* Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation // *Bull. American Meteorological Society*. 1998, 79: 2137-2152.
- Vondrak J.* The rotation of the Earth between 1955.5 – 1976.5 // *Studia geophys. et geod.*, 1977, 21, 107-117.
- Vondrak J., Pesek I, Ron C., Cepec A.* Earth orientation parameters 1899-1992 in the ICRS based on the HIPPARCOS reference frame. // *Publ. Astr. Inst. Acad. Science of Czech Rep.* 1998, № 87, 56 p.

ABOUT NEAR SIX-YEAR OSCILLATIONS OF THE LENGTH-OF-DAY

Gorshkov V.

Main (Pulkovo) Astronomical Observatory of RAS

The variations of the Earth rotation in the low frequency band (2-8 years) are researched by singular spectral analysis on the base of the most long series of astrometric and cosmic data of the length-of-day (LOD). There is revealed the sharp change of the structure of these variations during the middle of the 1980-th when the cosmic means of the IERS have been took the place of the astrometric ones. The near six-year oscillation of LOD with amplitude about 0.2 msec is practically ceased registration by all means of the IERS but 2-4 years oscillations of LOD are dominant in that frequency band. Some excitation factor of these oscillation and the possible reasons of its structural alteration are searched in this paper.

ТЕЛЕСКОП РТТ150 И ЕГО ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ АСТРОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

Гумеров Р.И.¹, Немтинов А.В.², Пинигин Г.И.², Аслан З.³

¹Казанский государственный университет, РФ

²НИИ Николаевская астрономическая обсерватория Украина,

³Турецкая Национальная обсерватория, Турция

Система управления современных телескопов оказывает влияние на качество получаемых данных не меньшее, чем оптика и механика, и ее стоимость зачастую составляет около половины стоимости телескопа в целом.

1. Телескоп. Система управления

Установленный в 1998 году в Турции (TUG) телескоп АЗТ-22 КГУ (впоследствии РТТ150) имел в своей штатной комплектации систему управления, состоящую из 9-ти шкафов, или, так называемых станций (рис. 1):

- станция распределения питания (2 шкафа), предназначенная для подачи питания (~220V, ~ 380V, ~ 220V 400Hz, = 110V, = 27V) на все элементы телескопа (управляющие станции и приводы) и содержащая релейные коммутаторы и устройства защиты цепей;

- станция автоматики, содержащая релейную логику, которая контролирует по конечным датчикам состояние телескопа, и по командам с пульта ручного управления (станции управления) формирует необходимые сигналы для включения приводов;

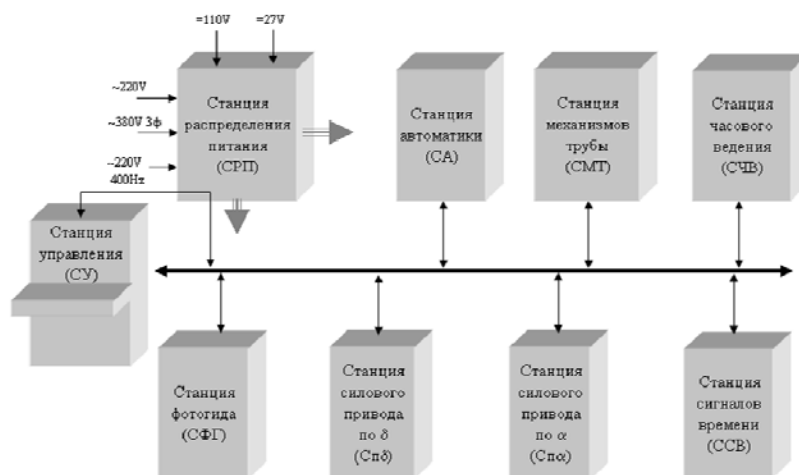


Рис. 1. Штатная система управления АЗТ-22 КГУ.

- станция механизмов трубы, обеспечивающая коммутацию и релейную защиту приводов, расположенных на трубе телескопа: приводы фокусировки, балансировочных грузов, крышек зеркала, механизма фиксации трубы;

- станция привода по альфа, предназначенная для управления двигателем «грубо» по часовому углу;

- станция привода по дельта, идентичная предыдущей и предназначенная для управления приводом «грубо» по дельта;

- станция часового ведения, которая формирует управляющие напряжения для синхронного электродвигателя привода часового ведения и обеспечивает его защиту;

- станция фотогида, предназначенная для управления прецизионными 400 Нз двигателями точной коррекции и служащая для точного перемещения трубы по часовому углу и склонению, используется также при гидировании;

- станция сигналов времени, ее штатная функция – формирование точных временных меток с помощью приемника-синхрометра ЧЗ-37; в настоящее время используется как стойка для источников питания оптических кодовых датчиков положения трубы телескопа, а также для коммутации цепей компьютерного управления станциями;

- станция управления, расположенная в подкупольном помещении в непосредственной близости к телескопу и предназначенная для ручного (с помощью кнопок и тумблеров) управления механизмами телескопа. Здесь же размещены визуальные (аналоговые) датчики положения трубы, фокусирующего перемещения, балансировочных грузов.

Поскольку с помощью такой системы управления проводить нормальные наблюдения было невозможно, поэтому были начаты работы по созданию современной компьютерной системы управления. Первая версия новой системы управления базировалась на КАМАКе; крейты и функциональные модули которого остались у нас еще с советских времен, с проекта МАГИС. Такой подход позволил достаточно быстро автоматизировать управление позиционированием телескопа и начать систематические наблюдения по астрофизическим и астрометрическим проектам. В последующие годы дальнейшее развитие системы управления осуществлялось на основе современных устройств сбора данных и управления, а также микроконтроллеров от фирм Advantech, Atmel, Fastwell и других. Исходную аппаратную базу переделывать не стали (несмотря на то, что она морально устарела) по следующим соображениям: во-первых, потребовались бы очень большие монтажные работы, перепайка сотен кабелей, разъемов; во-вторых, штатная релейная логика показала вполне надежную работоспособность и, что весьма актуально для TUG, устойчивость к грозовым электрическим разрядам. Таким образом, учитывая имеющуюся базу и современные требования к системе управления, были определены основные функции, которые к настоящему времени реализованы.

Основные функции СУ РТТ150:

1) автоматическое наведение (позиционирование) телескопа, по заданным координатам с точностью (аппаратной) не хуже 0.16 угл.сек, определяемой оптическим кодовым датчиком;

2) гидирование по звезде, с такой же аппаратной точностью; в качестве датчика расогласования используется ПЗС камера в главном фокусе;

3) коррекция за рефракцию, в зависимости от зенитного расстояния как при наведении, так и при гидировании;

4) коррекция наведения за гнутие, в зависимости от положения трубы;

5) алгоритмическая (программная) коррекция дефектов главной шестерни;

6) управление фокусировкой и автоматическая коррекция температурной дефокусировки;

7) управление балансировкой и ее коррекция в зависимости от положения телескопа;

8) температурный контроль конструкции телескопа и подкупольного пространства;

9) формирование необходимых сигналов для часового ведения, синхронизации работы элементов телескопа и управления навесной научной аппаратурой;

10) управление куполом: контроль соответствия и коррекция азимута щели по азимуту трубы, управление створками;

11) обеспечение удобной консоли для наблюдателя;

12) запись и хранение информации о текущем состоянии телескопа;

13) обеспечение возможности управления телескопом в режиме удаленного доступа;

14) сохранение необходимой информации о телескопе и условиях наблюдений (в FITS заголовках кадров) для дальнейшей обработки данных. Сюда же можно отнести и некоторые вспомогательные функции, такие как реализация последовательности процедур включения/выключения телескопа и его систем, управление крышками зеркала и т.п.

Структура системы управления

Система управления представляет собой программно-аппаратный комплекс и содержит элементы, работающие в «жестком» реальном времени. В тоже время для реализации удобной, многофункциональной консоли наблюдателя, для использования программных средств поддержки научных приборов, для эффективного доступа к файлам и базам данных необходимо иметь многозадачную платформу, для которой предлагается наиболее широкий спектр подобных средств. Очевидно, что лучше всего следует иметь две платформы: одну реального времени с функциональными модулями, взаимодействующими с устройствами телескопа (DOS), другую – общего назначения, например, Windows. Связь между ними осуществляется по стандартному сетевому протоколу. Система управления телескопом, ее блок-схема представлена на рис. 2.

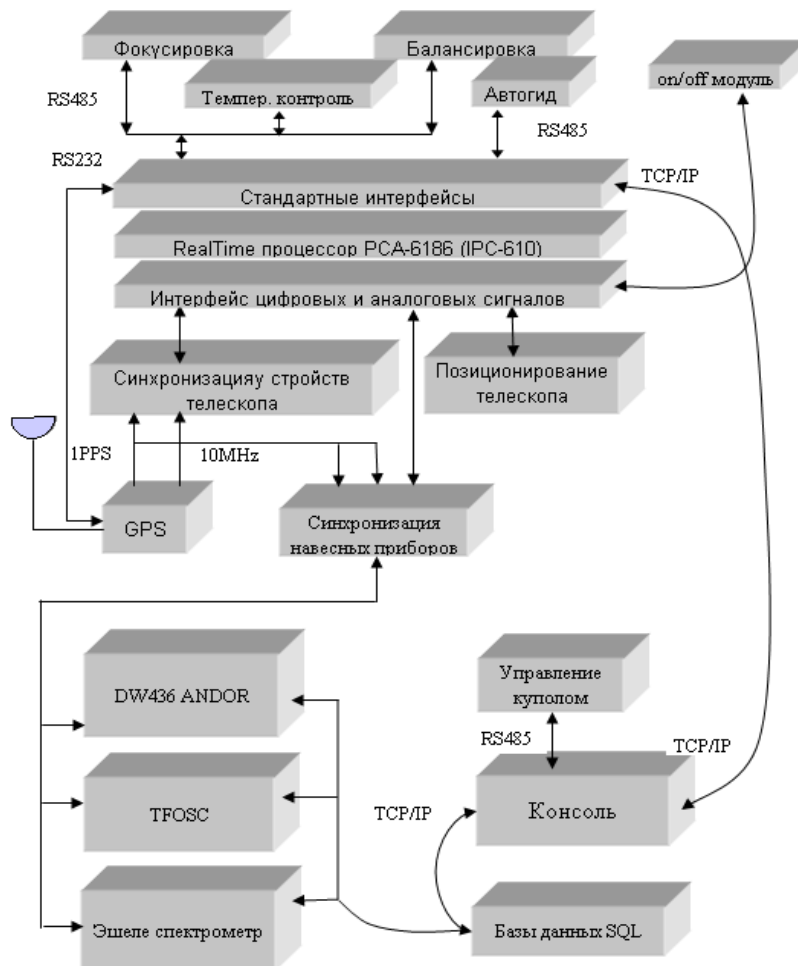


Рис. 2. Блок-схема системы управления AZT-22.

“RealTime” процессор предназначен для выполнения с 1 по 9 функции системы управления через штатные станции телескопа. Аппаратная база – IPC610: процессорный модуль PCA-6186 плюс функциональные модули, обеспечивающие сигнальный интерфейс: – цифровой ввод (кодовые датчики положения телескопа, датчики состоя-

ния телескопа, датчики состояния приводов); – цифровой вывод (сигналы на включение приводов, управление научным оборудованием); – аналоговый вывод (сигналы, определяющие скорость отработки приводов при позиционировании, гидировании, коррекции рефракции).

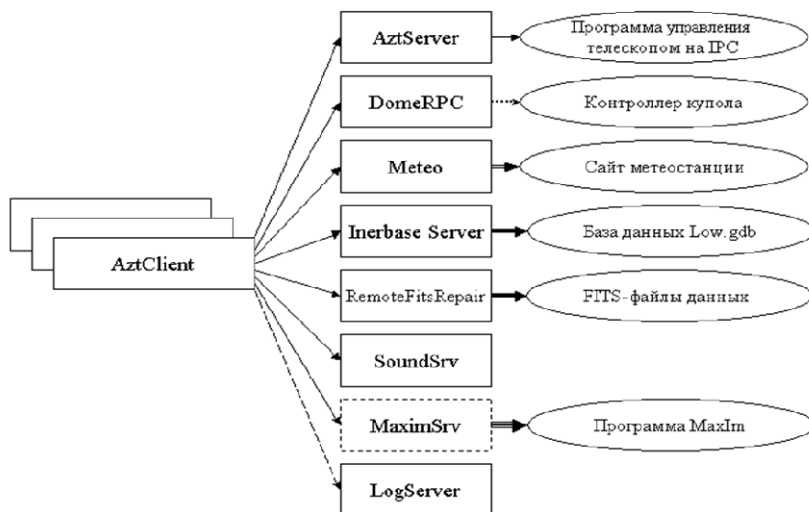
Для цифрового ввода используются модули ISO P-64 и PCL-733, для цифрового вывода модуль ISO C-64, для аналогового – PCL-728. Для дополнительной гальванической развязки и согласования уровней сигналов некоторых цепей применены релейные модули, расположенные в отдельном блоке.

Информация от удаленных устройств, таких как измерители температуры (ADAM-4015), положения фокуса (фокусировочной выдвигки), положения балансировочных грузов, сигналы рассогласования автогида передаются по интерфейсу RS-485. Связь с процессором происходит через конвертер RS-232/RS-485 (ADAM 4520).

Поскольку RealTime процессор должен располагаться вблизи штатных станций телескопа (короче кабельные линии), а консоль должна быть там, где удобнее наблюдателю (т.е. имеется доступ к дополнительным информационным ресурсам, где более комфортные условия для наблюдений) поэтому для связи с консолью применяются сетевые средства TCP/IP.

Синхронизация работы узлов телескопа реализуется на основе GPS – синхронизатора «Thunderbolt» и многофункционального программируемого счетчика-таймера – PCI-1780. С их помощью, а также дополнительных цифровых схем, формируются сигналы, задающие главную циклограмму телескопа, сигналы «звездной» частоты для станции часового ведения, сигналы для временной привязки моментов экспозиции научного оборудования.

Программное обеспечение системы управления имеет клиент-серверную архитектуру и в самом общем виде представлено на рис. 3.



Протоколы и интерфейсы взаимодействия частей системы

- TCP/IP
- ⇒ HTTP
- ⇒ COM
- ⇒ Файловая система
- Сообщения Windows
- RS-232/485

Рис. 3. Структура программного обеспечения.

Некоторое количество экземпляров программы AztClient могут быть запущены на различных компьютерах в локальной сети обсерватории. Они взаимодействуют с набором серверов также запущенных на различных компьютерах и реализующих каждый свою часть функциональности системы управления: 1) AztServer – сервер, реализующий взаимодействие с управляющей программой реального времени на DOS-машине. Позволяет сделать надежное сопряжение между циклограммой жесткого реального времени Azt15 и <плавающими> во времени процессами Windows. 2) DomeRPC – сервер управления куполом – реализует взаимодействие с контроллером купола через COM-порт. Предоставляет клиентской программе удобный COM-интерфейс для управления куполом. 3) Meteo – сервер, считывающий информацию с сайта метеостанции, преобразующий нужные данные из формата HTML в набор свойств COM-интерфейса. Полученные данные Meteo записывает в базу данных и передает клиентским приложениям. 4) Intrbase Server – штатный сервер базы данных. Реализует обмен данными клиентских приложений с базой. Висит в памяти независимо от AztClient1. 5) RemoteFITSRepair – сервер, отвечающий за модификацию заголовков FITS-файлов, полученных матрицей Andor. Может запускаться только работающим в управляющем режиме (Master) экземпляром программы AztClient1. 6) SoundSrv – сервер звукового сопровождения. Обеспечивает звуковой интерфейс программы AztClient, для каждого экземпляра AztClient1 запускается свой экземпляр звукового сервера. 7) MaximSrv – сервер, позволяющий программе AztClient1 работать с COM-объектами удаленной программы MaxIm. В настоящей версии не подключен, т.к. требует доработки пользовательский интерфейс работы с гидом в AztClient. 8) LogServer – программа, отслеживающая и пишущая в лог различные внутренние события AztClient1. Используется для отладки и для набора статистики по тем или иным явлениям в системе управления. В отличие от всех других перечисленных серверов, не работает удаленно от AztClient1, т.к. использует для передачи информации сообщения Windows.

Все серверы, кроме Interbase, стартуют автоматически, при поступлении запроса от любого экземпляра AztClient1. Для каждого экземпляра AztClient1, посылающего запросы к серверу, сервер создает свой поток для обработки запросов. Когда AztClient1 отключается (или закрывается), соответствующий поток на сервере уничтожается. Когда отключаются или закрываются все AztClient1, связанные с сервером, сервер завершает свою работу и выгружается. Все серверы, кроме LogServer, представляют собой многопоточные приложения и имеют похожую архитектуру.

Программа AztClient1.exe обеспечивает удаленное управление телескопом и может запускаться с любого Windows-компьютера локальной сети. Однако, для повышения безопасности, введены ограничения на использование программы по IP-адресам, а также доступ через логин и пароль. Имеется также пустой логин или GUEST. Вход под логином GUEST не требует ввода пароля, но также не дает никаких прав на выполнение каких-либо действий по управлению. Программа AztClient предусматривает два режима работы: управляющий (Master) и технический (Viewer). Управляющий режим предназначен для наблюдателя и дает полный контроль над системой управления. Технический режим только отображает все параметры телескопа, а также, в случае какой либо аварийной ситуации или внезапного изменения погоды, позволяет закрыть крышки зеркала, выключить питание телескопа и закрыть купол. Технический режим предусмотрен для подстраховки удаленного наблюдения, когда наблюдатель в силу удаленности сам не имеет возможности оперативно и адекватно оценить быстро изменяющуюся обстановку (например, при отказе оборудования или быстром изменении погоды).

Благодаря проделанной работе нам удалось автоматизировать все операции процесса наблюдений на РТТ150 и реализовать режим удаленного управления, то есть пе-

ренести рабочее место наблюдателя из здания телескопа в лабораторно-гостиничный корпус TUG. Обеспечив тем самым, и уменьшение теплового воздействия на телескоп, и улучшение комфорта для наблюдателей.

2. Астрометрические проекты

Возможности РТТ150 иллюстрируется следующим большим астрометрическим проектом выполненным авторами в сотрудничестве с зарубежными обсерваториями: «Определение высокоточных значений углов связи между оптической и радио опорными системами координат на основе положений 300 внегалактических радиоисточников, полученных из ПЗС наблюдений на РТТ150 и других сотрудничающих телескопах» [2]. В исследованиях по данному проекту совместно с Казанским государственным университетом принимали участие такие организации как Юннаньская астрономическая обсерватория (Yunnan, China), Николаевская астрономическая обсерватория (Украина) и Турецкая национальная обсерватория (TUG). Основные наблюдения внегалактических радиоисточников выполнены в 2000–2003 гг. в зоне склонений $-40^\circ < \delta < +80^\circ$, $V = 21^m$ и равномерно распределены по прямому восхождению. ERS южной зоны наблюдались на 1 м телескопе Юннаньской обсерватории.

Результатами данной работы являются: Положения оптических компонент внегалактических радиоисточников (ERS) определялись в системе двух каталогов UCAC2 и 2MASS с малыми систематическими ошибками. Каталог положений оптических компонент 297 внегалактических радиоисточников (ERS) в зоне склонений $-30^\circ \leq \delta \leq 80^\circ$ на уровне точности 40 mas (для одного источника): положения 126 ERS в зоне склонений $-30^\circ \leq \delta \leq 50^\circ$ определены в системе каталога UCAC2 и положения 171 ERS в зоне склонений $-30^\circ \leq \delta \leq 80^\circ$ определены в системе каталога 2MASS;

Относительная ориентация двух небесных систем координат получена вычислением трех относительных поворотов по координатным осям в соответствии с разностями O-R. Средние смещения между ICRF (РСДБ положения) и полученными нами положениями оптических компонент в системе UCAC2 составляют 4 mas и +15mas по прямому восхождению и склонению соответственно. Наблюденные разности O-R показали небольшие зонные систематические ошибки в пределах точности использованных каталогов. Углы поворота оптической опорной системы координат относительно положений ERS, полученных с помощью РСДБ, можно считать близкими к нулю в пределах их точности в 5 mas. Этот результат говорит о том, что связь между HCRF и ICRF на среднюю эпоху наших наблюдений достаточно хорошая, и системы каталогов UCAC2 и 2MASS можно считать близкими. Результаты редукции с различными данными говорят о том, что точность связи тем выше, чем больше число ERS и средняя точность редукции определяется используемым опорным каталогом.

Литература

1. *Aslan, Z., Gumerov, R., et al.* Results of Joint Project on Linking Optical-Radio Reference Frames // Kinematics and Physics of Celestial Bodies Suppl. Ser., 2005, 5, p. 333–337.
2. *Aslan, Z., Gumerov, R., et al.* Optical Counterpart Positions of Extragalactic Radio Sources and Linking Optical –Radio reference Frames // Astron. & Astrophys. – 2009.–V.304. in print .

IMPROVEMENT OF ACCURACY OF PROPER MOTIONS OF HIPPARCOS CATALOGUE STARS USING OPTICAL LATITUDE OBSERVATIONS

Damljanović G.

Astronomical Observatory, Volgina 7, Belgrade, Serbia

We collected the Belgrade Visual Zenith-Telescope latitude data (BLZ) for the period 1949.0-1986.0 in line with tasks of the IAU Working Group on Earth Rotation in the Hipparcos Reference Frame (WG ERHRF). In 1995 the WG ERHRF (with Dr. Vondrak as its head) started to collect the optical observations of latitude and universal time variations. The data were made during 1899.7-1992.0 in accordance with the Earth orientation programs. I participated in this international project by using BLZ data with a new reduction (done in that time) made in my MSc thesis [1]. After that, it was interesting to correct the positions and proper motions of some Hipparcos stars which were observed ground-based, and I did some parts of these investigations in my PhD thesis [6]. I use the latitude observations made with several types of instruments: visual and floating zenith-telescope, visual and photographic zenith tube; all in all, the data of 26 instruments located at many observatories. The task was to improve the proper motions in declination of the observed Hipparcos stars. I developed the original method which consists of removing from the instantaneous observed latitudes all known effects (polar motion and some local/instrumental systematic errors). After that, the corrected latitudes (residuals) are then used to calculate the corrections of the Hipparcos proper motions in declination. The Least Squares Method was used with the linear model. I compared my results with ARIHIP and EOC-2 data, and found a good agreement. The obtained proper motions in declination are substantially more precise than those of the Hipparcos ones for the stars with the time interval (of ground-based observations) long enough. My data are more precise because the time interval covered by the latitude data (tens of years) is much longer than the Hipparcos one (less than four years), and because of the great number of ground-based observations per year. It was an almost independent check of the proper motions of the EOC-2, also. The EOC-2 is used in this thesis to distinguish the corrections of the two stars of a pair observed by using the Talcott method. The difference between the two proper motions is constrained to the difference in the EOC-2 and Hipparcos catalogues. The main result of my PhD thesis is a catalogue of proper motions in declination of 2347 Hipparcos stars.

Introduction

The Hipparcos and Tycho Catalogues appeared in 1997 [10], and they were linked to the International Celestial Reference Frame (ICRF). During 1998, the ICRF was adopted to materialize the International Celestial Reference System (ICRS) and the Hipparcos Catalogue (with 118218 stars and the epoch 1991.25) was the primary realization of ICRS in the optical wavelengths, but there are some problems concerning the Hipparcos data, also. For example, the accuracy of the single stars data is better than the double or multiple one; the Hipparcos satellite mission was short, less than four years. There is a different accuracy of the data on different parts of the celestial sphere. The error of apparent position of star has attained about 18 mas (one order of magnitude larger than the average position error in the Hipparcos Catalogue) until now; the influence of proper motions is linear in time from the moment 1991.25, etc.

Because of mentioned and other reasons, it is necessary to improve the Hipparcos values of proper motions. It can be done by using the combination of satellite data (Hipparcos and Tycho ones) with the ground-based ones. A few new catalogues appeared (after the Hipparcos one) as ARIHIP [15] and EOC-2 [14]. My investigations presented here were done in the same direction.

Data

I used the latitude variations data obtained from observations with 26 classical instruments (14 ZT, 1 FZT, 1 VZT and 10 PZT) located at 19 observatories, and received the data via private communication from Dr. Vondrak. It was found 2347 common Hipparcos/ground-based stars. The ground-based observing programs (in line with determination of the Earth Orientation Parameters for the purpose of studying the terrestrial rotation) were performed in the XXth century, and mentioned 26 instruments are:

I. 6 ZT so-called 'independent' stations (Belgrade – BLZ, Blagoveschtschensk – BK, Irkutsk – IRZ, Poltava – POL, Pulkovo – PU/PUZ, Warsaw - VJZ),

II. 1 FZT independent station (Mizusawa – MZL),

III. 1 VZT independent station (Tuorla-Turku – TT),

IV. 7 ZT stations of the International Latitude Service – ILS (Carloforte – CA, Cincinnati – CI, Gaithersburg – GT, Kitab – KZ, Mizusawa – MZZ, Tschardjui – TS, Ukiah - UK),

V. 6 PZT stations (Mizusawa – MZP/MZQ, Mount Stromlo – MS, Ondrejov – OJP, Punta Indio – PIP, Richmond – RCP/RCQ, Washington – WA/W/WGQ).

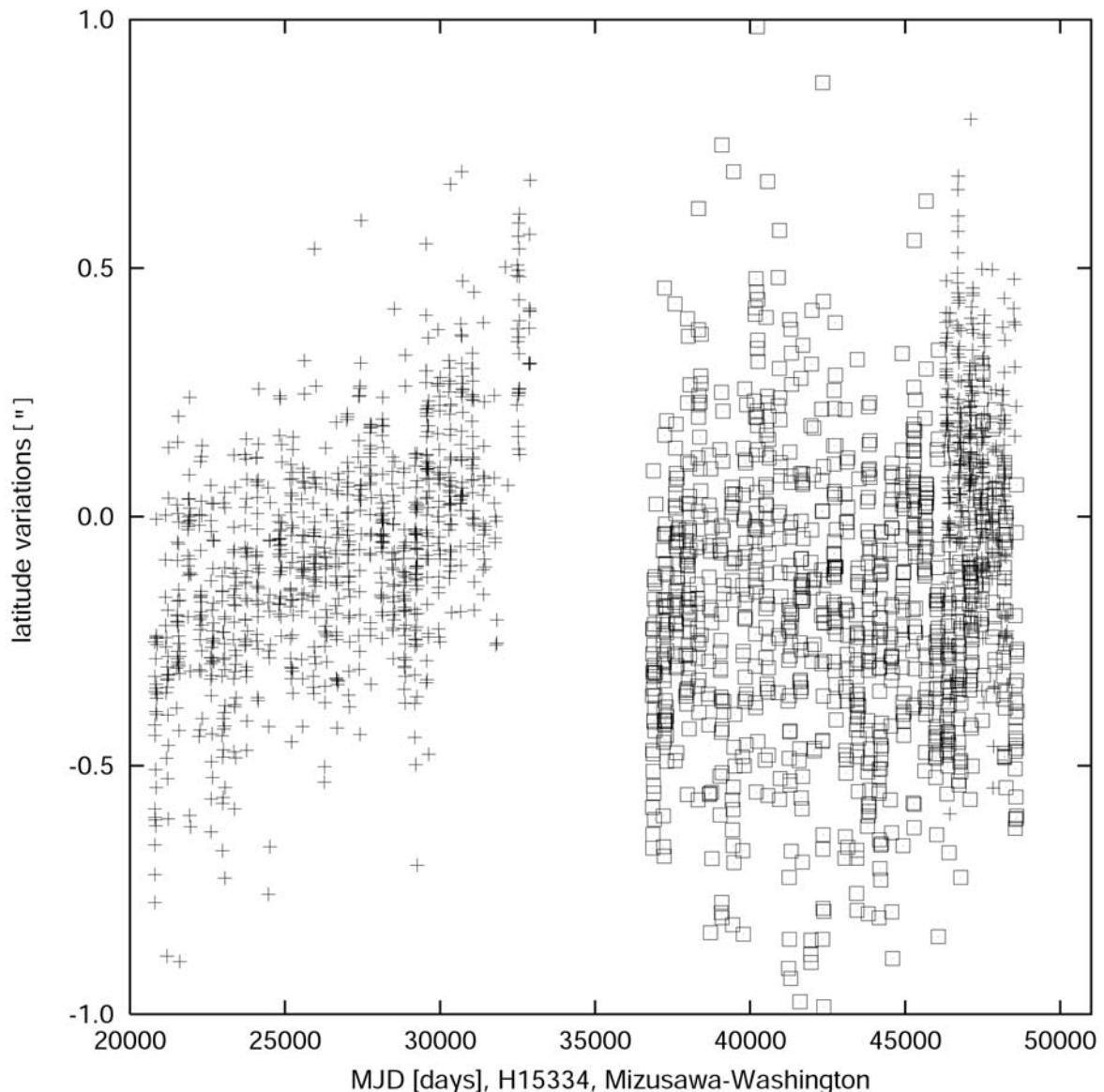


Fig. 1. Latitude variations of Mizusawa (rectangles) – Washington (sign +) data of star H15334 vs. time (MJD).

The codes (BLZ, BK, etc.) are from the monograph [13]. Also, more informations about the instruments and my input data in [13] and [6], or about BLZ data [1]. The mentioned ground-based data lasted much longer (tens of years) than those of the Hipparcos mission (shorter than 4 years), and for every ground-based observed star the annual number of observations is on the average several hundred. Because of it, it is possible to obtain corrections in the Hipparcos proper motions, and for a large number of input stars I improved the accuracy of proper motions in declination (to be better than the Hipparcos one though the accuracy of the star coordinates of the Hipparcos Catalogue is by two orders of magnitude better than the ground-based one). From the book [9] it is well-known that the error of proper motion in declination is in line with the standard errors of declinations, but proportional to $1/t$, where t is the time (in years). So, I can get good accuracy of proper motions in declination if I use the interval t of ground-based observations which is long enough.

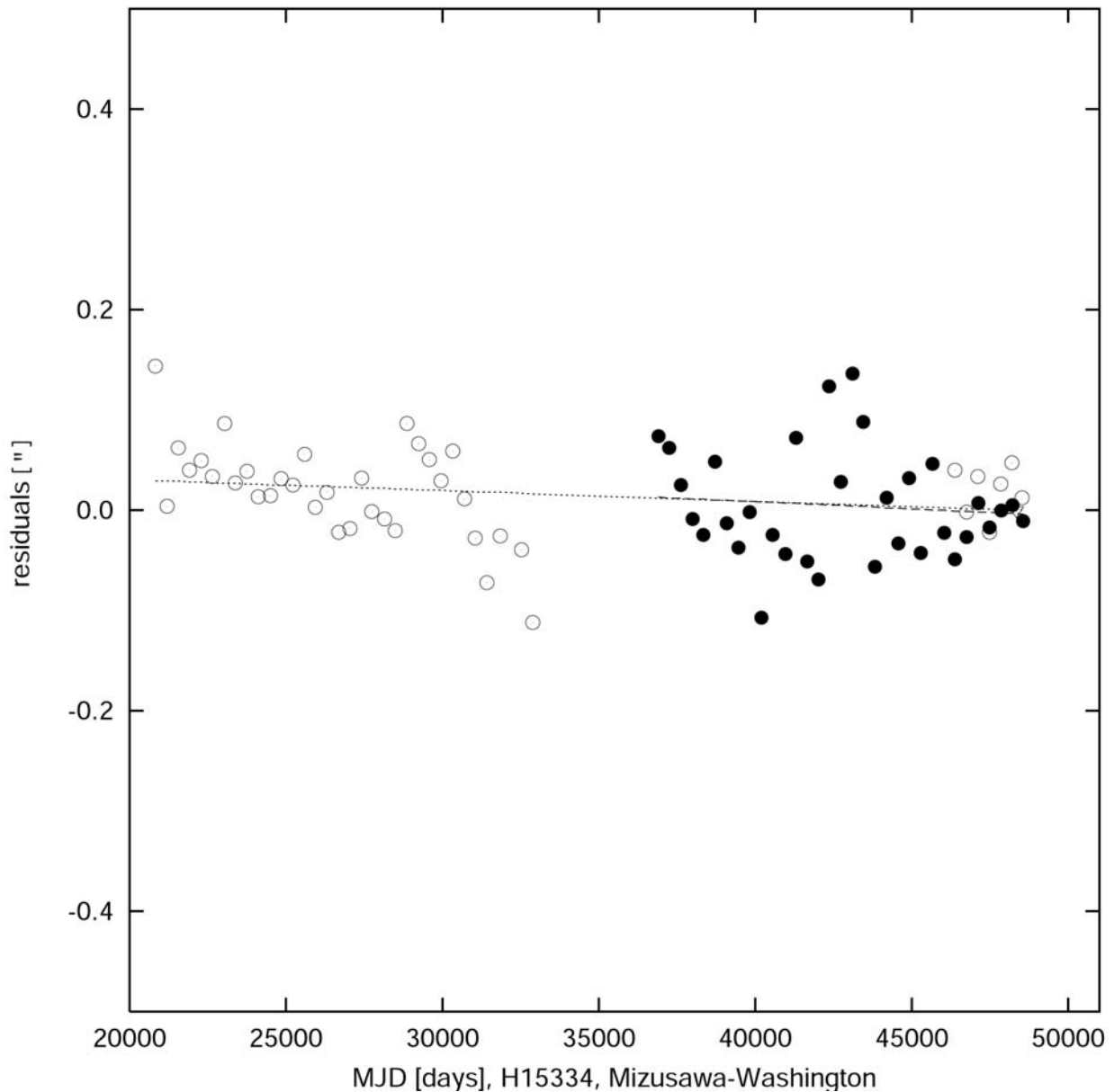


Fig. 2. Residuals (Washington – open circles, Mizusawa – solid ones) and very similar linear trends of Washington (dotted line) and Mizusawa (dashed line) data of star H15334 vs. time (MJD).

There are some stars which observations were made nearly at the same latitude, but different longitudes, and these stars were observed at more than one observatory (presented in more than one observing programs, see the Fig. 1). It is possible to use the input data of mentioned stars to check the calculated results and method [3]; see the Fig. 2. For example, there are the latitude variations of star H15334 which made at Mizusawa and Washington (Fig. 1); a lot of observations (the latitude variations) per year are presented and the polar motion changes are dominant ones with the value of a few $0''.1$ (also, some local, instrumental and other errors which are on the level of a few $0''.01$).

Method

The polar motion changes and other mentioned systematic variations with time are one or two orders bigger than the catalogue systematic errors of proper motions in declination (which I want to determine), and the first step of my method is to remove the polar motion variations and some systematic errors (local, instrumental, etc.). The polar motion coordinates (necessary for calculation of polar motion variations) are from Vondrak's file EOPOA00.dat which I received via private communication with Dr. Vondrak. The MJD (Modified Julian Date) = JD-2400000.5.

I used Kostinski's formula [11] to calculate the polar motion part of latitude variations. After that, I determined and removed the systematic (local, instrumental, etc.) errors [4, 5], and continued with residuals (averaged over sub-periods of about 1 year). These residuals contain mostly the systematic catalogue effects (of my interest, here). It means, for each star the input data were the set of mentioned averaged residuals (Fig. 2).

I used the Least Squares Method (LSM) with the linear model which contains two unknowns: a (free term) is the correction of declination of observed star, b (linear term) is the correction of proper motion in declination (both are done for the epoch 1991.25). The calculated procedure was star by star [2, 7, 8].

Some results (the linear trends) and the input residuals are presented on Fig. 2. As it is possible to see from the Fig. 2, the linear trends are very similar to each other. The input points (the Hipparcos one – triangle presented in the Fig.2 with the coordinates (1991.25, $0''0$), and the mentioned residuals) of LSM are with the suitable weights [4].

The described procedure is valid for PZT [12] and VZT observations, but for ZT [16] and FZT ones it is necessary to introduce few additional steps in order to calculate the values of two unknowns (a and b) by using the observations of star pairs [5, 6].

Results and conclusions

All results of my investigations (the proper motions in declination of 2347 common Hipparcos/ground-based stars) are presented in my PhD thesis [6]; the best results (better accuracy than the Hipparcos one) are for the stars which are with a long history of the ground-based observations (more than 10 years). By using the F-test [8], that interval is going to be near 20 years (and more than 20 years), because the F-test is stronger than a simple comparison of my standard errors (of proper motions in declination) and the suitable Hipparcos ones.

For example, my calculated value of the proper motion in declination of the star H15334 is -17.13 mas/yr with standard error 0.15 mas/yr; from EOC-2 it is -17.29 mas/yr (with st.error 0.12 mas/yr), and from Hipparcos it is -16.69 mas/yr (with st.error 0.62 mas/yr). In presented case it is evident that my result is in good agreement with the EOC-2 one, and both results are with better accuracy than the Hipparcos one. It is similar situation for the other stars [6] if the period of observations of star is near the mentioned limit.

It is evident that by using the latitude variations data (of 26 instruments situated at 19 observatories all over the world) it is possible to improve the proper motions in declination for stars which periods of observations are long enough. In this investigation there were 2347

common Hipparcos/ground-based stars. It was applied the original method which yields results similar to those given in the other catalogues as ARIHIP and EOC-2.

Acknowledgements

I performed my work as a part of the Project No 146004 ‘Dynamics of celestial bodies, systems and populations’, supported by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

References

1. *Damljanović, G.*: 1997, The analysis of the variation of Belgrade latitude for the period 1949-1985, MSc Thesis, University of Belgrade.
2. *Damljanović, G., Pejović, N.*: 2005, in the Proc. of the IAU Coll. **197** Dynamics of Populations of Planetary Systems, Cambridge University Press, Cambridge, 471.
3. *Damljanović, G.*: 2005, *Serb. Astron. J.*, **170**, 127.
4. *Damljanović, G., Pejović, N., Jovanović, B.*: 2006, *Serb. Astron. J.*, **172**, 41.
5. *Damljanović, G., Pejović, N.*: 2006, *Serb. Astron. J.*, **173**, 95.
6. *Damljanović, G.*: 2007, Improvement of accuracy of proper motions of Hipparcos Catalogue stars using optical latitude observations, PdD Thesis, University of Belgrade.
7. *Damljanović, G.*: 2008, *Planetary and Space Science*, **56**, 1896.
8. *Damljanović, G., Pejović, N.*: 2008, *Serb. Astron. J.*, **177**, 109.
9. *Eichhorn, H.*: 1974, *Astronomy of star positions*, Frederick Ungar Publishing Co., New York.
10. ESA: 1997, *The Hipparcos and Tycho Catalogues*, ESA SP-1200.
11. *Kulikov, A.K.*: 1962, *Izmenyaemost' sirot i dolgog*, Moskva.
12. *McCarthy, D.D.*: 1970, Reduction method and star positions for Washington and Richmond Photographic Zenith Tube, Master's Thesis, University of Virginia.
13. *Vondrak, J., Pešek, I., Ron, C., Čeppek, A.*: 1998, Earth orientation parameters 1899.7-1992.0 in the ICRS based on the HIPPARCOS reference frame, *Astron. Inst. of the Academy of Sciences of the Czech R.*, Publ. No. **87**.
14. *Vondrak, J.*: 2004, *Serb. Astron. J.*, **168**, 1.
15. *Wielen, R., Schwan, H., Dettbarn, C. et al.*: 2001, *Veroeff. Astron. Rechen – Inst. Heidelberg No. 40* (Karlsruhe: Kommissions – Verlag G.Braun).
16. *Yumi, S., Yokoyama, K.*: 1980, Results of the International Latitude Service in a homogeneous system 1899.9-1979.0, Central Bureau IPMS, Mizusawa.

IMPROVEMENT OF ACCURACY OF PROPER MOTIONS OF HIPPARCOS CATALOGUE STARS USING OPTICAL LATITUDE OBSERVATIONS

Damljanović G.

Astronomical Observatory, Belgrade, Serbia

As the input data, I used the latitude variations obtained from 26 classical astrometry instruments (14 ZT, 1 FZT, 1 VZT and 10 PZT) located at 19 observatories. There are 2347 common Hipparcos/ground-based stars. The polar motion variations and some systematic errors (local, instrumental, etc.) were calculated and removed from the input data, and I continued with residuals which were averaged for each star (one value per near one year). The procedure was star by star. The LSM was used with the linear model. The calculated value of the linear term b was my correction to the Hipparcos value of proper motion in declination (for each input star). Both, ground-based and Hipparcos data were used with the suitable weights. The procedure for PZT and VZT observations was done for ‘star’, but for ZT and FZT ones it was done for ‘star pair’ (and I introduced a few additional steps to solve the problem and get the corrections to Hipparcos proper motions in declination for both stars of star pair). As it was seen from this investigation, it is possible to satisfy the task of the modern astrometry and to improve the reference frame which is materialized via Hipparcos Catalogue data by using to-

gether Hipparcos and ground-based observations. And to improve the proper motions in declination of Hipparcos stars which were observed ground-based. My results are in good agreement with the ARHIP and EOC-2 ones. With about 20 years (and more) of ground-based observations, my results (the proper motions in declination) are more precise than the Hipparcos ones.

НАБЛЮДЕНИЯ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ НА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕЛЕСКОПАХ ЗА-320М И МТМ-500М

**Девяткин А.В., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Бехтева А.С., Алёшкина Е.Ю.,
Верещагина И.А., Соков Е.Н., Карашевич С.В., Найденов Я.В., Слесаренко В.Ю.**
Главная (Пулковская) астрономическая Обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

Описаны наблюдения, выполняемые на двух автоматизированных телескопах: ЗА-320М, расположенном в Пулковской обсерватории, и МТМ-500М, находящемся на Горной астрономической станции ГАО РАН на Северном Кавказе. Наблюдаются следующие объекты Солнечной системы: кометы и астероиды, включая АСЗ и двойные астероиды, большие планеты и их спутники. Для полученных наблюдений производится астрометрическая и фотометрическая обработка с помощью программных пакетов, разработанных в Пулковской обсерватории.

Введение

В настоящее время в Лаборатории наблюдательной астрометрии ГАО РАН выполняются наблюдения на двух автоматизированных телескопах: ЗА-320М и МТМ-500М. Оба телескопа автоматизированы по одинаковой схеме, позволяющей вести ПЗС-наблюдения как в удалённом режиме (связь между телескопом и компьютером наблюдателя осуществляется по локальной сети), так и в автоматическом режиме без участия наблюдателя.

Для управления процессом наблюдений в Лаборатории наблюдательной астрометрии написаны специальные программы [1]. Программа CameraControl осуществляет управление ПЗС-камерой и блоком фильтров (имеется возможность управлять несколькими различными типами камер). Программа TelescopeControl управляет работой телескопа и купола, а также осуществляет управление всем наблюдательным процессом в целом, включая выбор объекта для наблюдений из заданного списка в соответствии с текущими условиями наблюдений и приоритетом. Для вычисления эфемеридных координат объекта наблюдений используются блоки из программной системы ЭПОС, написанной в Секторе эфемеридного обеспечения ГАО РАН [2, 3].

Телескоп ЗА-320М (см. рис. 1) работает в Пулковской обсерватории с 1997 года [4]. До 2005 года проводилась его поэтапная модернизация и автоматизация [1, 5]. Телескоп ЗА-320М (зеркальный астрограф с диаметром главного зеркала 320 мм) имеет оптическую схему Кассегрена с фокусным расстоянием 3200 мм и масштабом в фокальной плоскости 66"/мм. В настоящее время он оборудован ПЗС-камерой FLI IMG 1001E, изготовленной на основе ПЗС-матрицы KAF 1001E фирмы KODAK. Она имеет 1024 × 1024 пикселей размером 24 × 24 мкм. Поле зрения ЗА-320М с этой камерой составляет около 28' × 28', масштаб — примерно 1"6 × 1"6 на пиксел. Кроме того, телескоп оборудован турелью со светофильтрами *B, V, R, I* (фотометрической системы Джонсона), изготовленной также фирмой FLI.

Телескоп МТМ-500М (см. рис. 2) установлен на Горной астрономической станции ГАО РАН, расположенной на Северном Кавказе близ города Кисловодск на высоте 2100 метров над уровнем моря. В 2005–2007 годах он прошёл модернизацию в мастерских Пулковской обсерватории и вновь был установлен в 2007 году. В настоящее время он представляет собой зеркально-линзовый телескоп системы Д.Д. Максудова с дополнительным линзовым корректором и имеет световой диаметр 500 мм, фокусное расстояние 4100 мм и масштаб 50"/мм. МТМ-500М оборудован ПЗС-камерой SBIG STL 1001E, также изготовленной на основе ПЗС-матрицы KAF 1001E. Поле зрения телескопа с ка-

мерой составляет около $21' \times 21'$, масштаб — примерно $1''2 \times 1''2$ на пиксел. ПЗС-камера имеет встроенную турель со светофильтрами также B, V, R, I международной фотометрической системы Джонсона.

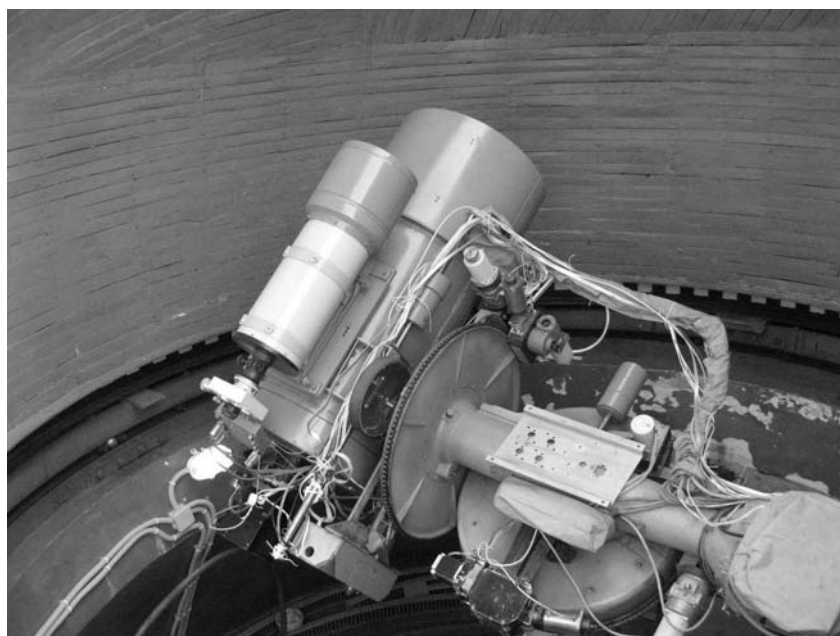


Рис. 1. Телескоп ЗА-320М.



Рис. 2. Телескоп МТМ-500М.

Обработка наблюдений, полученных на телескопах ЗА-320М и МТМ-500М, осуществляется с помощью программных пакетов АПЕКС-I и АПЕКС-II, разработанных в Лаборатории наблюдательной астрометрии ГАО РАН.

Программа АПЕКС-I [6, 7] позволяет выполнять полуавтоматическую астрометрическую и фотометрическую обработку ПЗС-кадров с опорой на выбранный каталог звёзд. Она визуализирует на экране компьютера область каталога, соответствующую обрабатываемому кадру, что позволяет оператору отождествить и отметить на кадре и в каталоге необходимые опорные звёзды и объекты.

Программный пакет АПЕКС-II [7] автоматически выполняет астрометрическую и фотометрическую обработку с опорой на несколько звёздных каталогов, а также отождествление находящихся на кадрах объектов Солнечной системы по соответствующим каталогам. Он производит контроль точности получаемых результатов (в смысле О–С) с помощью блоков из программной системы ЭПОС и выводит результаты в формате Международного центра малых планет (Minor Planet Center — MPC).

При обработке в качестве опорных используются каталоги звёзд USNO-A2.0, USNO-B1.0, UCAC-2, TYCHO-2. Для отождествления астероидов и комет используются каталоги нумерованных и нумерованных малых тел Солнечной системы, издаваемые в электронном виде (через Интернет) Боуэллом [8] и Марсденом [9].

Наблюдения тел Солнечной системы

Основной задачей телескопов ЗА-320М и МТМ-500М являются позиционные и фотометрические наблюдения тел Солнечной системы:

I. Астероиды:

- Астероиды, сближающиеся с Землей
- Астероиды, которые недавно открыты
- Астероиды из Critical List MPC
- Двойные и кратные астероиды
- Астероиды — бывшие кометы
- Тесные сближения астероидов
- Видимые сближения астероидов
- Астероиды, названные именами пулковских астрономов
- Астероиды, к которым летят космические зонды
- Покрытия звезд астероидами

II. Кометы

III. Спутники больших планет:

- Юпитер: Гималия, Элара, Пасифе
- Сатурн: Титан, Гиперион, Япет, Феба
- Взаимные явления в системах спутников Юпитера и Сатурна

IV. Большие планеты:

- Система Плутон – Харон
- Уран
- Нептун

В 2001–2009 гг. в Лаборатории наблюдательной астрометрии было выполнено более 25 000 наблюдений малых тел Солнечной системы. Из них — более 15 000 наблюдений для более 750 астероидов, сближающихся с Землёй (АСЗ) и около 3 000 наблюдений для 27 комет.

Точность позиционных наблюдений составила $0^{\prime\prime}.04$ – $0^{\prime\prime}.4$ и зависит от блеска, зенитного расстояния объекта, точности положений звезд опорного каталога.

Результаты наших наблюдений оперативно посылаются в Minor Planet Center.

В мировом рейтинге наблюдателей АСЗ телескоп ЗА-320М занимает 17-е место из 690 телескопов, в СНГ — 1-е место.

Результаты большей части вышеперечисленных наблюдений можно найти в публикациях MPC, в «Известиях ГАО РАН», в «Астрономическом Вестнике» (см., например, [10, 11]) и в других изданиях. Ниже описаны некоторые новые наблюдения и их предварительные результаты, ещё не опубликованные.

Таблица 1. Пример результатов наблюдений объектов, сближающихся с Землёй

| Объект | N | $(O-C)\alpha\cos\delta$ | $\sigma\alpha\cos\delta$ | $(O-C)\delta$ | $\sigma\delta$ | Δm |
|----------------|-----|-------------------------|--------------------------|---------------|----------------|------------|
| 9 Metis | 46 | +0".38 | $\pm 0".18$ | +0".22 | $\pm 0".24$ | 8.6–10.9 |
| 433 Eros | 65 | +0.14 | 0.25 | +0.33 | 0.28 | 11.4–12.6 |
| 1866 Sisyphus | 24 | 0.00 | 0.24 | +0.19 | 0.29 | 15.1–17.7 |
| 3122 Florence | 18 | -0.12 | 0.23 | +0.19 | 0.25 | 15.9–17.7 |
| 3199 Nefertiti | 27 | +0.14 | 0.40 | +0.18 | 0.35 | 15.5–17.9 |
| 3200 Phaethon | 18 | 0.00 | 0.40 | +0.03 | 0.37 | 16.3–18.4 |
| 4179 Toutatis | 10 | -0.17 | 0.32 | +0.31 | 0.24 | 14.8–16.8 |
| 2004 FX31 | 22 | +0.05 | 0.46 | -0.02 | 0.50 | 17.3–18.9 |
| 2004 JA | 33 | -0.01 | 0.21 | -0.09 | 0.17 | 15.6–16.8 |
| 2P Encke | 7 | +0.33 | 0.51 | +0.72 | 0.24 | 14.5–16.3 |
| 1036 Ganymed | 44 | -0.21 | 0.20 | +0.02 | 0.12 | 13.3–13.9 |
| 3800 Karayusuf | 41 | -0.35 | 0.12 | -0.31 | 0.08 | 16.0–17.0 |
| 423 Diotima | 70 | -0.10 | 0.16 | -0.06 | 0.10 | 11.1–12.9 |
| 5164 Mullo | 34 | -0.08 | 0.10 | -0.03 | 0.07 | 16.4–17.4 |
| 85709 | 45 | -0.28 | 0.12 | -0.27 | 0.07 | 15.5–16.6 |
| C 2003WT42 | 24 | +0.89 | 0.09 | -0.32 | 0.06 | 15.5–16.3 |

Астероид 2008 TC₃

В ночь с 6 на 7 октября 2008 года наблюдателями телескопа ЗА-320М было получено сообщение о том, что к Земле подлетает только что открытый небольшой астероид 2008 TC₃, который должен войти в её атмосферу [12]. Ими был выполнен длинный ряд наблюдений этого астероида во время его подлёта к Земле. Всего было получено 280 ПЗС-кадров в течение почти 4 часов. В последствии оказалось, что наблюдения астероида 2008 TC₃ на ЗА-320М составляют около трети всех его наблюдений, выполненных в мире. Результаты астрометрической обработки наших наблюдений были посланы в Minor Planet Center. Также их можно получить на странице сайта <http://neopage.pochta.ru/ENG/OBSERVS/2008tc3.txt>.

Взаимные явления в системах спутников больших планет

Важным источником данных для уточнения параметров движения спутников планет являются наблюдения взаимных явлений (затмений и покрытий) среди этих спутников. Периоды, когда такие явления можно наблюдать наступают у Юпитера раз в 6 лет, у Сатурна раз в 14 лет. На телескопе ЗА-320М выполнялись наблюдения взаимных явлений в системе галилеевых спутников Юпитера в 1997 и в 2002–2003 годах [13, 14].

В 2008–2010 годах наступил период взаимных явлений и у спутников Сатурна, и у спутников Юпитера. Наблюдения этих явлений выполняются на телескопах МТМ-500М и ЗА-320М. При наблюдениях строится плотная кривая блеска затмеваемого или покрываемого спутника, по форме которой затем определяются минимальное расстояние между центрами спутников (или спутника и тени) и момент наибольшего сближения. В качестве опорных объектов используются, как правило, другие спутники сравнимой яркости, не участвующие в явлении.

В случае если явление происходит на малом угловом расстоянии от яркой планеты, на телескопе МТМ-500М используется специальное устройство — «планетный коронограф». Оно позволяет закрыть изображение яркой планеты «искусственной Луной», а также удлинить фокус телескопа и, тем самым, увеличить расстояния между изображениями объектов в фокальной плоскости. На рис. 3 показан пример ПЗС-кадра, полученный при наблюдениях затмения в системе спутников Сатурна с использованием «коронографа». Затмеваемый спутник находился всего в $10''$ от края яркого кольца Сатурна, закрытого «Луной». Полученная кривая блеска данного явления изображена на рис. 4. Фотометрическая точность этой кривой составила $0^m.036$ (точность одной точки).

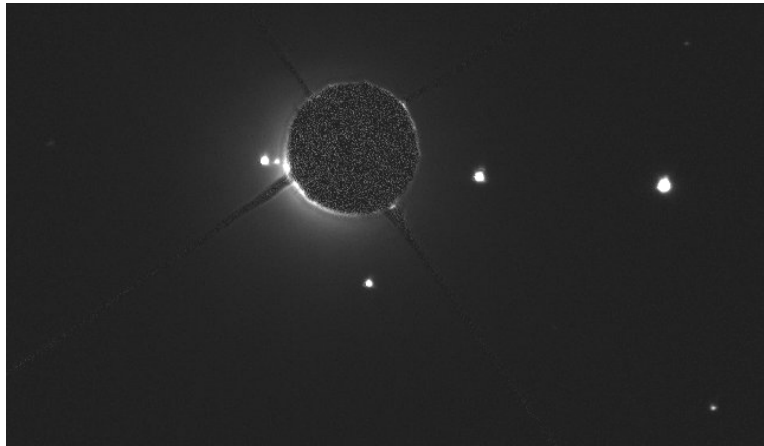


Рис. 3. ПЗС-кадр из серии наблюдений взаимного явления 1Е3 в системе спутников Сатурна (Мимас затмевает Тетию) 4 февраля 2009 года с использованием «планетного коронографа».

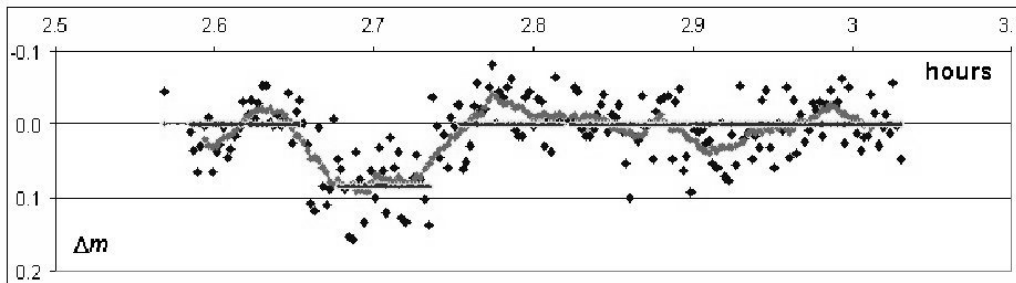


Рис. 4. Кривая блеска взаимного явления 1Е3 в системе спутников Сатурна 4 февраля 2009 года.

Литература

1. *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.
2. *Львов В.Н., Смехачева Р.И., Цекмейстер С.Д.* «ЭПОС. Программная система для решения эфемеридных задач, связанных с объектами Солнечной системы. Руководство пользователя» // СПб: ГАО РАН, 1999.
3. *О.П.Быков, А.В.Девяткин, В.Н.Львов, И.Р.Смехачева, С.С.Смирнов, С.Д.Цекмейстер* «Изучение объектов Солнечной системы с помощью программной системы ЭПОС» // Труды международной конференции «Околосолнечная астрономия-2007». Нальчик: Изд. М. и В. Котляровы, 2008, с. 321–226.
4. *Бекяшев Р.Х., Канаев И.И., Девяткин А.В., Горшанов Д.Л., Грицук А.Н., Кулиш А.П., Свиридович А.Г., Шумахер А.В.* «Зеркальный астрограф ЗА-320» // Изв. ГАО, 1998, № 213, с. 249–258.

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-320» // Изв. ГАО, 2002, № 216, с.128–156.
6. *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.
7. *Девяткин А.В., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Верещагина И.А.* «Программные пакеты «Апекс-I» и «Апекс-II» для обработки астрономических ПЗС-наблюдений» // *Астрономический вестник*, 2009, т. 43, № 6.
8. <ftp://ftp.lowell.edu/pub/elgb/astorb.html>
9. <http://www.cfa.harvard.edu/iau/Ephemerides/Unusual/index.html>
10. *Верещагина И.А., Горшанов Д.Л., Девяткин А.В., Панушев П.Г.* «Некоторые особенности кривых блеска астероидов (36) Летиция, (87) Сильвия, (90) Антиопа и 2006 VV2» // *Астрономический вестник*, 2009, т. 43, № 4, с. 1–10.
11. *Девяткин А.В., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Верещагина И.А., Бехтева А.С., Ибрагимов Ф.М.* «Астрометрические и фотометрические наблюдения тел Солнечной системы на автоматизированном астрографе ЗА-320М Пулковской обсерватории» // *Астрономический вестник*, 2009, т. 43, № 3.
12. *Jenniskens P., et al.* «The impact and recovery of asteroid 2008 TC₃» // *Nature*, 2009, vol. 458, p. 485–488.
13. *Девяткин А.В., Грицук А.Н., Свидунович А.Г.* «Наблюдения взаимных явлений в системе галилеевых спутников Юпитера на зеркальном астрографе ЗА-320 в 1997 г.» // Изв. ГАО, 1998, № 213, с. 108–121.
14. *Девяткин А.В., Горшанов Д.Л.* «Наблюдения взаимных явлений в системе галилеевых спутников Юпитера на зеркальном астрографе ЗА-320 в 2002–2003 гг.» // Изв. ГАО, 2004, № 217, с. 215–222.

**OBSERVATIONS OF SOLAR SYSTEM BODIES
WITH ZA-320M AND MTM-500M
AUTOMATED TELESCOPES**

**Devyatkin A.V., Gorshanov D.L., Kouprianov V.V., Bekhteva A.S., Aleshkina E.Yu.,
Verestchagina I.A., Sokov E.N., Karashevich S.V., Nayden Ya.V., Slesarenko V.Yu.**
Main (Pulkovo) Astronomical Observatory of RAS, Saint-Petersburg, Russia

The observations of two automated telescopes: ZA-320M situated at Pulkovo observatory and MTM-500M situated at Mountain astronomical station (at Northern Caucasus) are described. The following objects of Solar System are observed: comets and asteroids (including NEAs and binary asteroids), major planets and their satellites. The astrometric and photometric processing of the observations is made with software developed in Pulkovo observatory.

АСТРОМЕТРИЯ БЕЗ ОПОРНЫХ ЗВЕЗД: ВИДИМЫЕ ВЗАИМНЫЕ СБЛИЖЕНИЯ АСТЕРОИДОВ

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

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

При наблюдениях астероидов нередки случаи, когда два и более объектов в течение некоторого времени находятся в одном кадре. При этом отсутствует необходимое число опорных звезд для уверенного определения координат. Такая картина типична для наблюдений на ПЗС-камерах с малым полем зрения. Однако здесь можно за несколько часов получить множество кадров, отслеживающих изменение взаимного расположения объектов. Измерив прямоугольные координаты центра изображения каждого объекта и зная масштаб по обеим осям, можно получить величины углового расстояния между объектами, не прибегая к помощи опорных звезд.

Схема использования этой информации описана в [1]. Последние два автора разработали программу вычисления эфемерид видимых взаимных сближений астероидов. Программа использует данные из окружения ПС ЭПОС [2] – численные эфемериды Солнца и планет, а также каталоги элементов, на основании данных которых производится интегрирование уравнений возмущенного движения астероидов. Можно искать взаимные сближения объектов из одного или двух каталогов. В последнем случае имеется возможность подготовки наблюдений в одном кадре объектов разных групп и разной природы (например, астероиды главного пояса и транснептуновые объекты), что важно не только для астрометрических и динамических, но и для астрофизических целей. В программе задается:

- обсерватория,
- шкала времени,
- начальная дата и число суток, для которых вычисляется эфемерида,
- предельное угловое расстояние в секундах дуги,
- предельная звездная величина объектов,
- шаг по времени для вычисления опорных величин угловых расстояний.

Можно также указать на используемые сумерки для ночных наблюдений или на отсутствие всяких ограничений при круглосуточных наблюдениях.

Если величина углового расстояния между двумя объектами в какой-то из опорных моментов становится меньше заданной, то производится поиск ее минимума в ближайшей окрестности этого момента. По окончании работы программы образуется список пар астероидов, в котором указаны дата и время максимального сближения, величина углового расстояния в секундах дуги, а для каждого объекта – его номер в указанном каталоге, а также имя (или предварительное обозначение) и видимая звездная величина.

Говоря о точности, нужно принять во внимание следующие соображения. Даже если точность положения центра тяжести изображения астероида несколько ниже такой же величины для опорных звезд, все же включение в обработку только параметров определяемых объектов позволяет освободиться от влияния случайных и систематических ошибок звездного каталога. Остаются только ошибки, характеризующие метрологические свойства системы “Телескоп + ПЗС-камера”. К этим ошибкам относятся постоянные, обусловленные абберациями оптической системы телескопа (главным образом, дисторсией) [3] и переменные, отражающие геометрические и электронные параметры приемника излучения. Можно показать, что ориентация кадра не влияет на величину углового расстояния, полученного из разностей измеренных координат, а косо-

угольность осей координат приводит к умножению этой величины на коэффициент $1+k \sin \gamma$, где малый угол γ представляет отличие угла между осями координат от прямого, а величина k не превышает по модулю $1/2$. Следует также учесть влияние дифференциальной рефракции. Возможно, потребуется учет атмосферной дисперсии, если спектры объектов пары существенно отличаются друг от друга. Дополнительно необходимо изучить вопросы о влиянии на результат разницы блеска объектов во всем доступном диапазоне звездных величин, а также соотношения блеска и видимой угловой скорости взаимного сближения.

Еще раз подчеркнем, что здесь мы не имеем дела с позиционными углами. Требуется определить лишь угловые расстояния между двумя объектами для нескольких моментов времени. Всегда можно выбрать пары с видимым тесным ($10'' - 30''$) сближением и небольшой разницей видимых звездных величин. Тщательный учет ошибок в совокупности с работой вблизи оптического центра кадра позволит значительно увеличить точность результата.

Методику таких наблюдений планируется апробировать на телескопах ЗА-320М в Пулкове и МТМ-500М [4] на Горной станции ГАО.

Подобные наблюдения могут в известном смысле “привязать” определяемый астероид к “опорному”, орбита которого достаточно хорошо известна. Таким образом, в рамках наземных наблюдательных программ можно значительно ускорить уточнение орбит потенциально опасных объектов. В первую очередь это касается астероида 99942 Apophis, орбиту которого нужно знать как можно точнее для того, чтобы уверенно прогнозировать его движение после тесного сближения с Землей 13 апреля 2029 года.

Литература

1. *Львов В.Н.* Об улучшении орбит малых планет из наблюдений их видимых тесных сближений со звездами и между собой // Известия ГАО РАН, № 214, 2000, с. 169-172.
2. *Львов В.Н., Цекмейстер С.Д.* ЭПОС – эффективный инструмент для исследования и эфемеридной поддержки наблюдений объектов Солнечной системы // Материалы настоящей конференции.
3. *Киселев А.А.* Теоретические основания фотографической астрометрии. Москва “Наука”, 1989, 260 с.
4. *Девяткин А.В. и др.* Наблюдения тел Солнечной системы на автоматизированных телескопах ЗА-320М и МТМ-500М // Материалы настоящей конференции.

ASTROMETRY WITHOUT REFERENCE STARS: APPARENT MUTUAL APPROACHES OF ASTEROIDS

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

The observations of asteroids apparent mutual approaches and their ephemeris support are discussed. The metrological properties of this and classical methods are compared. The possibilities are estimated for use the correct values of angular distance between the objects in orbital improvement.

ВОЗМУЩАЮЩИЕ ЭФФЕКТЫ В СОБСТВЕННОМ ВРАЩЕНИИ ИСЗ И ИХ СВЯЗЬ С СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Епишев В.П., Мотрунич И.И., Исак И.И., Кудак В.И., Новак Э.И., Мацо А.М.
*Лаборатория космических исследований, Ужгородский национальный университет,
Ужгород, Украина*

На основании оценки возмущений в собственном вращении ИСЗ серии “Мидас” определено относительное изменение интегрального солнечного потока на интервале 5 лет 21-го цикла солнечной активности. Метод определения величины возмущений базируется на высокоточном определении периода собственного вращения неуправляемого космического аппарата (КА) и его ориентации. Полученные результаты согласуются с аналогичными данными у других исследователей.

На протяжении всей космической эры влияние возмущений на вращение ИСЗ оценивается по изменениям в элементах их орбит. В зависимости от высоты полёта спутника эти изменения можно обнаружить только через несколько дней, а то и недель. Разработанный и реализованный в Лаборатории космических исследований (ЛКИ) УжНУ нетрадиционный подход к определению величины возмущений на движение ИСЗ со стороны физических полей околоземного космического пространства базируется на высокоточном определении периода собственного вращения КА и его ориентации в пространстве. Исходными данными служат результаты фотометрических (кривые блеска) и позиционных наблюдений ИСЗ [1].

Известно, что кинетическая энергия собственного вращения космического объекта значительно меньше его орбитального движения. Её оценка позволяет обнаружить более тонкую природу возмущений во вращении, нежели по контролю за изменениями элементов орбиты. Поэтапная реализация метода представлена блок-схемой.



Математическим фундаментом решения задачи являются ряд разработанных в ЛКИ программ: “Период” – точность определения периода вращения космических аппаратов (КА) порядка 0.005 с., “Ориентация” – точность определения направления соответствующих осей до 0.1 градуса, “Орбита” – точность определения элементов орбиты порядка 10 дуговых секунд в положении КА на орбите. В программе “Период” реализован алгоритм поиска периодов скрытых процессов произвольной природы, который можно представить математически посредством функции в форме таблицы или графически. Представленные ниже результаты исследований в данном направлении, в некоторой степени, подтверждают их перспективу и уровень.

Фотометрические наблюдения за вращением четырёх высотных спутников серии “Мидас” ($H \sim 3600$ км) на протяжении 1970-х, 1980-х и 2008-09 гг. в Ужгороде, а также геостационарного спутника (ГСС) № 95009 в Одессе, показали, что их осевое вращение не только тормозится, но и ускоряется. При этом прослеживается корреляция между параметрами вращения и солнечной активностью.

На рис. 1 приведена вероятная ориентация на орбите ИСЗ серии “Мидас”, а на рис. 2, 3 – сопоставление изменения периода собственного вращения объекта “Мидас-4” с параметрами солнечной активности.

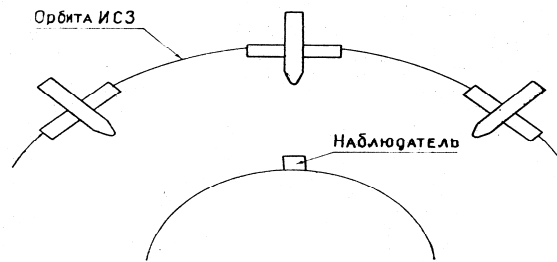


Рис. 1. Ориентация ИСЗ серии “Мидас” на орбите.

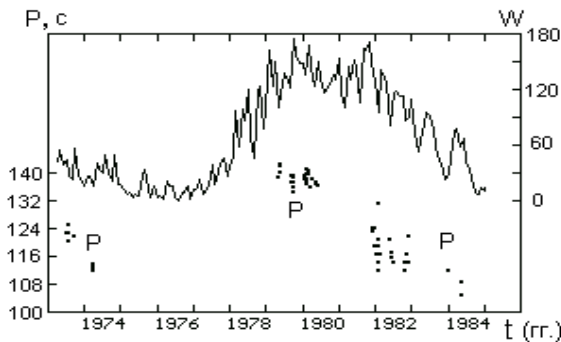


Рис. 2. Изменение периода собственного вращения (P) ИСЗ “Мидас-4” и чисел Вольфа (W) в 1973 -1984 гг.

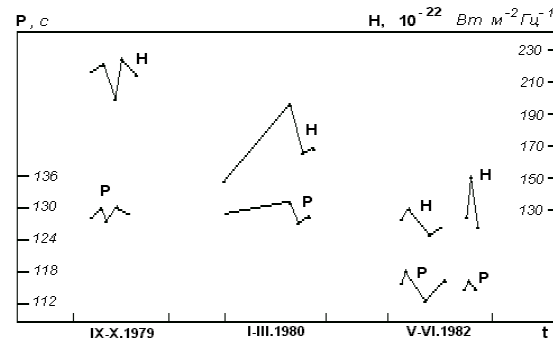


Рис. 3. Излучение Солнца на $\lambda = 10.7$ см (H) и периоды собственного вращения ИСЗ “Мидас-4” (P) на моменты наблюдений.

Количественная оценка величины возмущений со стороны солнечного излучения, действующих на вращение исследуемых ИСЗ, проводилась с учетом их формы и ориентации через вычисление соответствующих фазовых функций, описывающих характер отражения света от поверхности объекта. Результаты наведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты оценки определенных значений величины возмущающих моментов и периода собственного вращения ИСЗ серии “Мидас”

| № п/п | Название ИСЗ | H, км | $M_c, (H \cdot M) \cdot 10^{-5}$ | $M_z, (H \cdot M) \cdot 10^{-5}$ | $N_{\text{прох.}}$ | $\Delta P, c$ $P_{\text{min}} - P_{\text{max}}$ |
|-------|-------------------|-------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------|--|
| 1 | „Мидас-3” (61018) | 3350 – 3530 | 2.0–2.4 | 0.3 | 14 | 91.18 – 98.65 |
| 2 | „Мидас-4” (61028) | 3500 – 3750 | 1.7–2.5 | 0.2 | 90 | 104.67 – 140.96 |
| 3 | „Мидас-6” (63014) | 3600 – 3680 | 1.9–2.2 | 0.2 | 25 | 71.83 – 81.86 |
| 4 | „Мидас-7” (63030) | 3670 – 3720 | 1.9–2.2 | 0.2 | 121 | 104.60 – 130.67 |

Здесь: H – высота пребывания спутника на орбите, M_c и M_z – пределы величины возмущающих моментов со стороны прямого и отраженного от земной поверхности солнечного излучения, N – количество обработанных прохождений спутника, ΔP – пределы значений периода собственного вращения КА на всем интервале наблюдений.

Результаты определения периодов P собственного вращения квази-ГСС № 95099 Суховым П.П. в Одесской астрономической обсерватории и их сопоставление с параметрами солнечной активности на момент наблюдений приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сопоставление значений P с параметрами солнечного излучения для ГСС № 95099

| № | Дата | P, c | W | $F_{10.7} \cdot 10^{-22}$ |
|---|----------|--------|------|---------------------------|
| 1 | 28.07.04 | 32.87 | 51.0 | 118.5 |
| 2 | 16.08.04 | 32.61 | 40.9 | 110.1 |
| 3 | 14.09.04 | 32.22 | 27.7 | 103.1 |
| 4 | 03.10.04 | 31.95 | 48.4 | 105.7 |

Здесь: W – числа Вольфа, $F_{10.7}$ – поток солнечного излучения на $\lambda = 10.7$ см.

Для 3-х объектов серии “Мидас” проведен анализ корреляционной зависимости между значениями периода собственного вращения (P), величиной потока излучения Солнца на $\lambda=10.7$ см ($F_{10.7}$) и геомагнитным индексом (A_p) в ближайшие к наблюдению 4 дня, а также положением спутника на орбите относительно направлений на Солнце (γ_c) и Луну (γ_l) в момент наблюдений. Вычислялись параметры линейной регрессии и коэффициент корреляции. Результаты анализа представлены на рис.4-6.

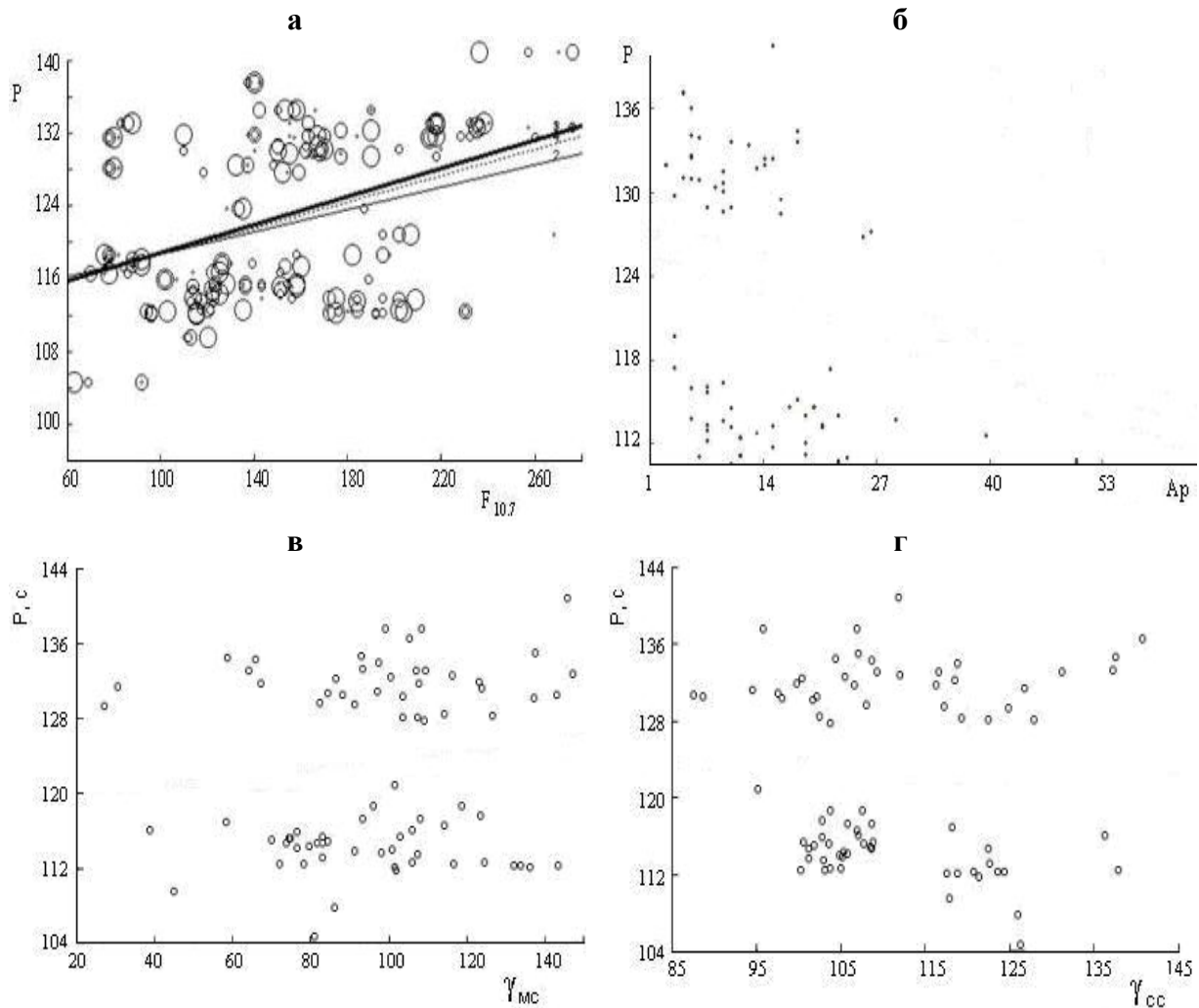


Рис. 4. Корреляционная зависимость между периодом P собственного вращения ИСЗ “Мидас-4” и а) излучением Солнца $F_{10.7}$ на $\lambda = 10.7$ см в ближайшие 4-ро суток относительно наблюдения спутника; б) геомагнитного индекса A_p в эти дни; в) положением КА на орбите относительно направления на Луну γ_{mc} ; г) положением КА на орбите относительно направления на Солнце γ_{cc} .

Зависимость между P и $F_{10.7}$, A_p отображена на рис. 4а, 5а, 6а для первого дня толстой линией регрессии, для второго – тонкой сплошной, для третьего – толстой пунктирной, для четвертого – мелкопунктирной.

Рассмотрим полученные результаты по каждому ИСЗ отдельно.

“Мидас-3”. В данном случае проводить корреляционный анализ не было смысла. Спутник наблюдался на коротких интервалах в дни спокойного Солнца. С 23 февраля по 24 марта 1982 г. значение периода его собственного вращения находилось в пределах 98.65с–96.10с., а с 25 февраля по 24 апреля 2009 г. – 92.48с–91.18с. Практически, в пределах сеанса наблюдений, он оставался одинаковым. А его расхождение ~ 5 с между сеансами наблюдений можно объяснить (как это будет показано на примере других КА) разными в это время фазами солнечной активности. В 1982 году солнечная активность после ее максимума начала убывать, а в начале 2009 года она только стала выходить из затянувшегося минимума.

“Мидас-6”. Данный объект наблюдался в основном в минимуме солнечной активности в 1973-74 гг. и 2008-09 гг., практически при идеально спокойном Солнце. Поэтому полученные результаты, стали неплохим индикатором корреляционной зависимости между периодом вращения КА и его положением на орбите относительно направлений на Луну и Солнце.

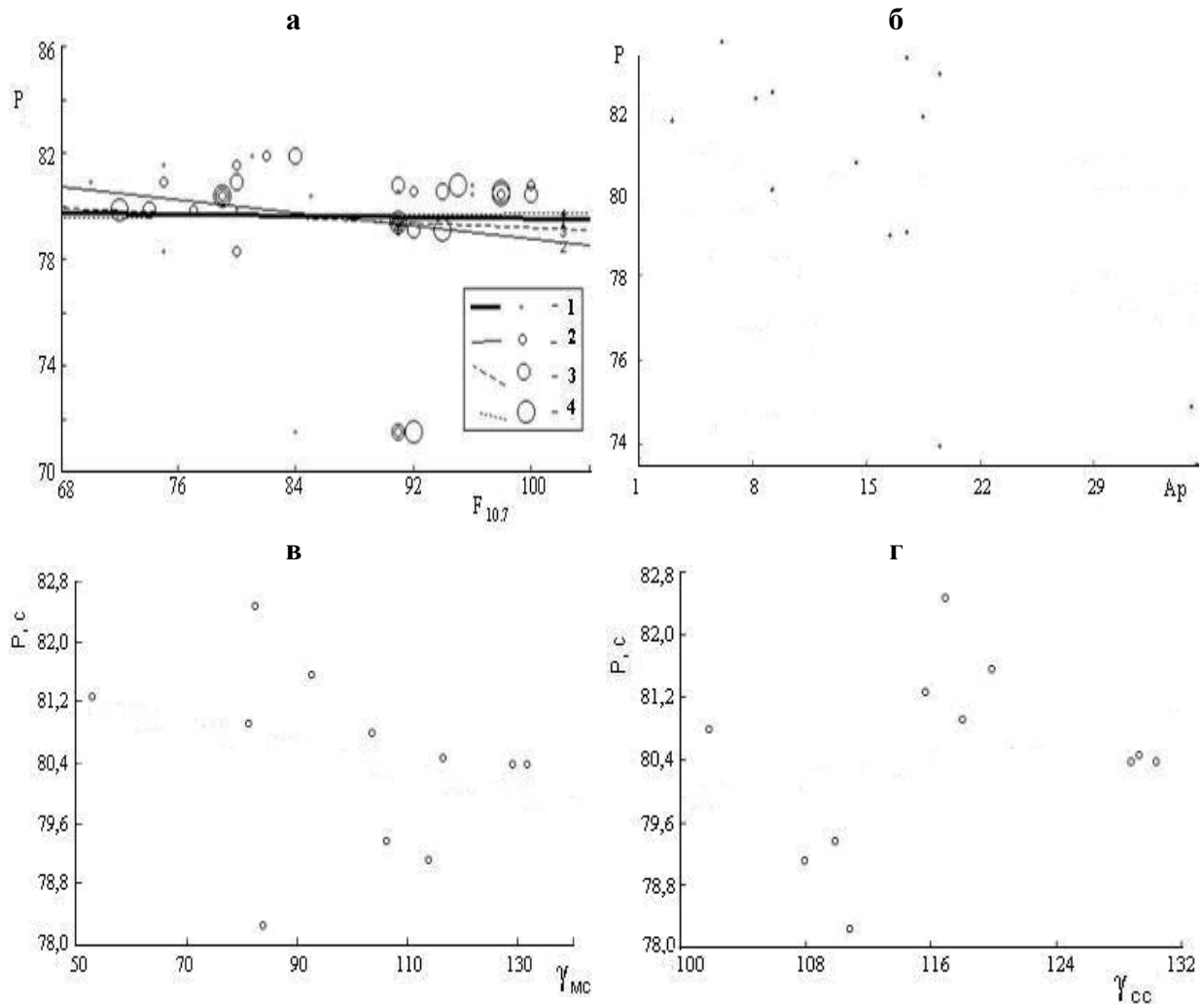


Рис. 5. Корреляционная зависимость между периодом P собственного вращения ИСЗ “Мидас-6” и а) излучением Солнца $F_{10.7}$ на $\lambda = 10.7$ см в ближайшие 4-ро суток относительно наблюдения спутника; б) геомагнитного индекса A_p в эти дни; в) положением КА на орбите относительно направления на Луну γ_{ms} ; г) положением КА на орбите относительно направления на Солнце γ_{ss} .

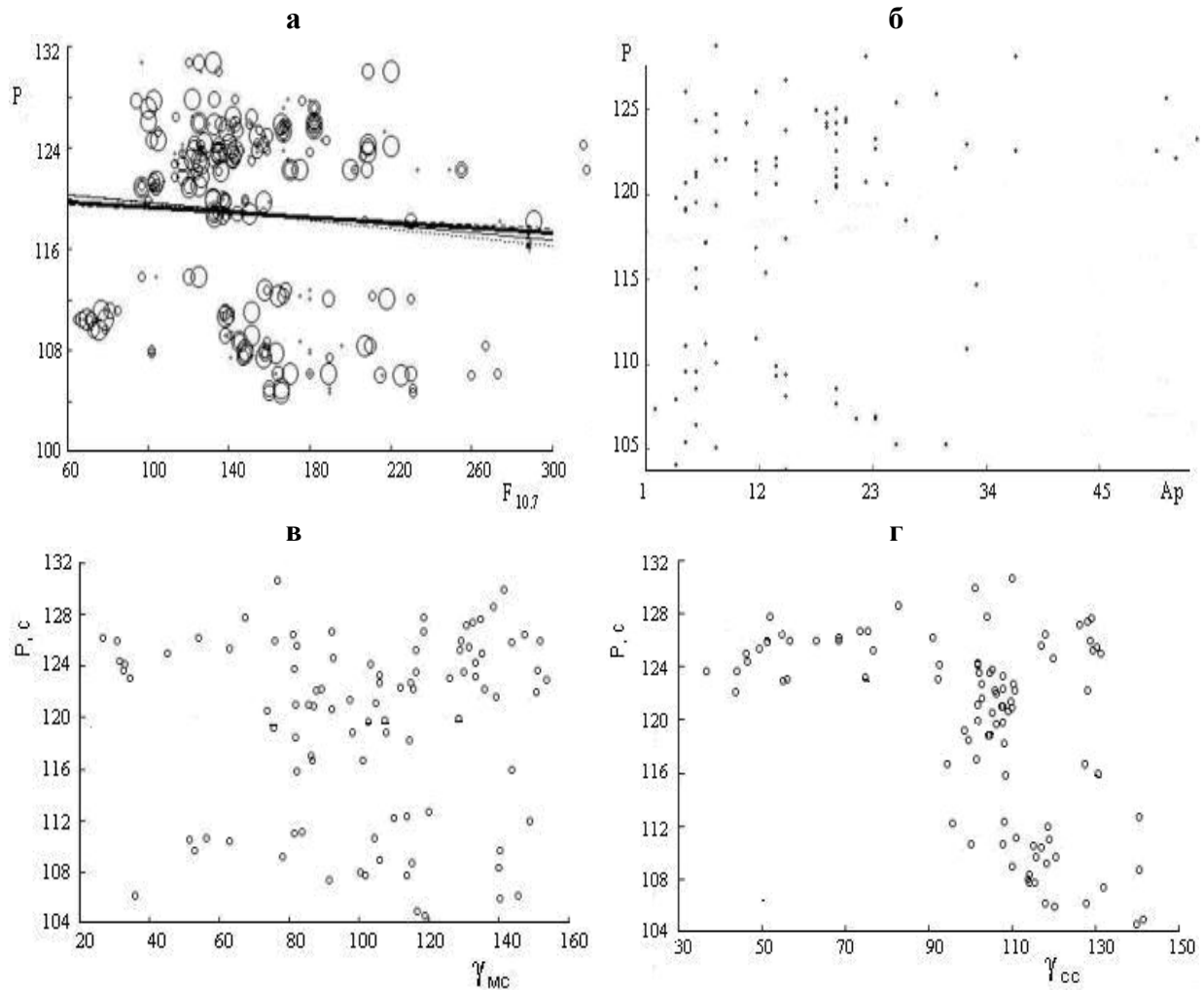


Рис. 6. Корреляционная зависимость между периодом P собственного вращения ИСЗ “Мидас-7” и а) излучением Солнца $F_{10.7}$ на $\lambda = 10.7\text{ см}$ в ближайшие 4-ро суток относительно наблюдения спутника; б) геомагнитного индекса A_p в эти дни; в) положением КА на орбите относительно направления на Луну $\gamma_{\text{мс}}$; г) положением КА на орбите относительно направления на Солнце $\gamma_{\text{сс}}$.

Из рис. 5 в,г видно, что с ростом угла с центра Земли на спутник, Луну и Солнце уменьшается период собственного вращения КА. И хотя этот фактор незначителен, все же можно говорить, что гравитационные поля Луны и Солнца тормозят собственное вращение этого ИСЗ.

В случае объектов “Мидас-4” и “Мидас-7” в процессе корреляционного анализа результаты разложились на две автономные группы, которые практически не пересекаются. Да, в пределах каждой из групп можно отметить незначительную корреляцию между периодом P , положением объектов на орбите и изменениями солнечной радиации от наблюдения к наблюдению. А вот образование двух групп имеет, на наш взгляд, иную причину. Так получилось, что основная масса наблюдений этих ИСЗ приходится на периоды максимума и минимума солнечной активности. По такому же принципу образовались и обе группы на рис. 4 и рис. 6. В верхней части рисунков сосредоточены результаты, полученные в период максимума, а в нижней – минимума солнечной активности. Отсюда вытекает основная причина образования этих двух групп. Она кроется в разнице величины “солнечной постоянной” в периоды максимумов и минимумов солнечной активности. То есть, на интервалах нескольких лет изменения “солнечной постоянной” вызывают большие по величине возмущения в собственном вращении

ИСЗ “Мидас”, нежели все другие перечисленные выше причины, что дает право отнести их к вековым возмущениям.

На основе полученных результатов была проведена оценка относительного изменения “солнечной постоянной” по наблюдениям ИСЗ “Мидас-4” на интервале 21-го цикла солнечной активности и по наблюдениям ГСС № 95099 на небольшом отрезке 23-го цикла.

| Название ИСЗ | $M_0 \cdot 10^{-5}$, н·м | $\delta M_0 \cdot 10^{-7}$, н·м | $\delta M_0 / M_0$ (%) | ΔT (г.) | № цикла |
|--------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------|---------|
| “Мидас-4” | 2.30 | (1.80±0.21) | (0.78 ±0.09) | 4.92 | 21 |
| ГСС 95099 | | (1.59±0.10) | | 0.18 | 23 |

Здесь: M_0 – среднее значение возмущающего момента, действующего на ИСЗ со стороны прямого солнечного излучения; δM_0 – его относительное изменение; $\delta M_0 / M_0$ – относительное процентное изменение суммарного солнечного излучения на указанном интервале ΔT рассматриваемого цикла.

Таким образом, по нашим оценкам, которые основываются на реализации выше изложенного метода, изменение “солнечной постоянной” на протяжении пяти лет на нисходящей ветви 21-го цикла солнечной активности составляло 0.78 %. Этот результат и по процентному значению, и по точности довольно хорошо согласуется с американскими данными, полученными с борта космического аппарата [2, 3].

Литература

1. *Епишев В.П., Исак И.И., Мотрунич И.И., Новак Э.И.* Метод определения величины и природы возмущений, оказывающих воздействие на вращение ИСЗ. // *Космічна наука і технологія.* – Т.10, №5/6. – К.: НКАУ НАНУ. – 2004. – С.152-155.
2. *Hickey J.R., Griffin F.J., Helleary D.T., Howell H.B.* Extraterrestrial solar irradiance measurements from the Nimbus satellite. // *Proceedings of the Joint Conference on Sharing the Sun.* Winnipeg, Manitoba, Canada, 1976.
3. *Волобуев Д.М.* Солнечная постоянная и избыток энергии солнечного излучения в циклах 21-23. // *РАН Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория. Труды XI пулковской междунар. конф. по физике Солнца “Физическая природа солнечной активности и прогнозирование её геофизических проявлений”* – Санкт-Петербург. – 2007. – С.97-98.

PERTURBING EFFECTS IN OWN ROTATION OF SATELLITE AND THEIR RELATIONSHIP WITH SOLAR ACTIVITY

Epishev V.P., Motrunich I.I., Isac I.I., Kudak V.I., Novak E.J., Matco A.M.

*Laboratory for Space Research, Uzhgorod National University,
Uzhgorod, Ukraine*

Based on the evaluation of perturbations in the proper rotation of the "Midas" series satellites is defined relative change in integrated solar flux in the range of 5 years of 21-th cycle of solar activity. Method of determining values of perturbation based on the accurate determination of the period of own rotation of uncontrolled spacecraft and its orientation. These results are consistent with similar data of other investigators.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ ВАРИАЦИИ ВИДИМОГО ПОЛОЖЕНИЯ КВАЗАРОВ

**Жаров В.Е., Сажин М.В., Семенцов В.Н., Куимов К.В.,
Сажина О.С., Ашимбаева Н.Т.**

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва

Координатные оси Международной небесной системы отсчета (ICRS) определяются относительно внегалактических радиоисточников. Поэтому, стабильность системы основана на гипотезе, что собственные движения этих источников пренебрежимо малы. Реализацией такого предположения является ICRF-1 – каталог, который в настоящее время насчитывает 717 источников [5-7]. Инерциальность небесной системы отсчета достигается наложением дополнительного условия «отсутствия глобального вращения» (No-Net-Rotation), которое (в ходе вычислений) применяется к поправкам к априорным координатам «определяющих» (defining) радиоисточников. Проблема выбора «определяющих», «стабильных», «наилучших» и т.д. источников является поэтому ключевой проблемой для улучшения стабильности ICRF.

В ходе подготовки новой реализации небесной системы отсчета (ICRF-2) Feissel-Vernier разработала детальную схему для выбора «стабильных» источников на основе временных рядов – поправок к априорным координатам источников на интервале 1979–2002 по вычислениям USNO. В ее результирующем списке содержатся 199 «стабильных» источников [4]. Этот список стабильных источников получен последовательным применением следующей схемы:

- отбор объектов, которые наблюдались часто и регулярно, дал список 362 источников;
- вычисление среднегодовых значений $\Delta\alpha \cos\delta$ и $\Delta\delta$ и оценка линейного тренда и дисперсии Аллена дали список 199 источников.

Источники с большим линейным трендом и (или) с большой дисперсией Аллена считаются нестабильным.

В нашем исследовании мы, прежде всего, пытались оценить значимость изменений координат радиоисточников. Ряды поправок к координатам, получаемые в ходе РСДБ-наблюдений, сглаживались полиномиальными функциями разного порядка. Оптимальная степень аппроксимирующего полинома определялась методом максимизации коэффициента множественной корреляции R , т.е. наилучшая линейная регрессионная модель:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \varepsilon_i$$

где β – регрессионные коэффициенты, а x – время. Оптимальная модель \hat{y} соответствует максимуму коэффициента множественной корреляции R^2 :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum \omega_i (y_i - \hat{y})^2}{\sum \omega_i (y_i - \bar{y})^2},$$

где \bar{y} — взвешенное среднее.

Оказалось, что многие радиоисточники показывают значимое собственное движение иногда весьма сложного характера [11]. В качестве примера рассмотрим квазар 1404+286 (OQ208), являющийся определяющим в «старом» ICRF (см. рис. 1).

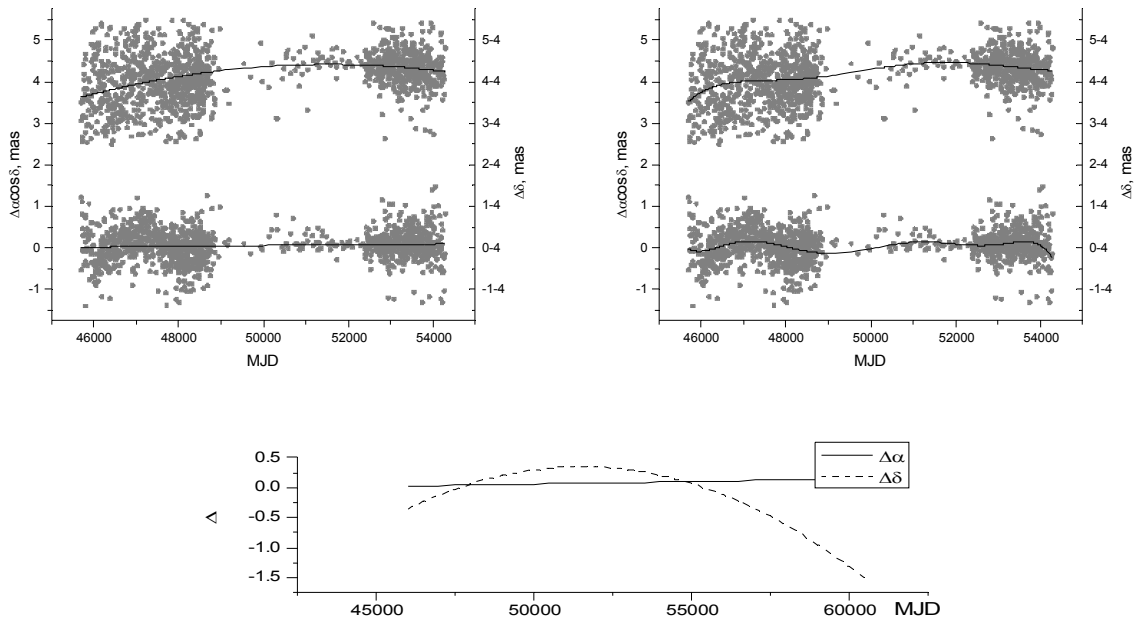


Рис. 1. Аппроксимация движения радиоизображения квазара 1404+286 полиномом минимальной значимой степени (слева сверху), максимальной (справа сверху), а также прогноз его положения на 25 лет вперед. Поправки координат даны в миллисекундах дуги (!).

Расчет видимых скоростей изменения координат квазаров при этом часто дает значения, превышающие скорость света. Так, квазар 1044+719 («defining»), обладающий красным смещением $z = 1.150$, показал прямолинейное собственное движение на уровне 42 ± 2 микросекунды дуги в год, что с учетом космологического углового масштаба 8.286 кпк/'' (см. [10]) дает скорость перемещения объекта в картинной плоскости $\sim 1.2c$.

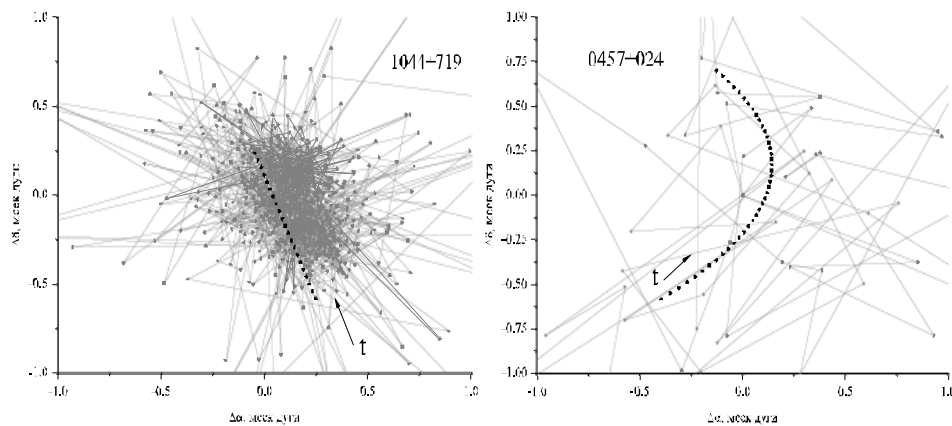


Рис. 2. Значимые перемещения определяющих радиоисточников по прямой — 1044+719 (слева) и по параболе — 0457+024 (справа). Оси оцифрованы в миллисекундах дуги.

В рамках модели излучения активных ядер галактик и квазаров, построенной Блендфордом и Рисом (см. [2, 3], а также рис. 3), такие сверхсветовые сложные движения центра радиояркости являются следствием реальных процессов: прецессии релятивистского джета и случайным попаданием в конус джета облаков межзвездной среды с их последующим ускорением до релятивистских скоростей и высвечиванием. Прецессия джета в первом приближении дает прямолинейное движение яркого пятна, а высвечивание облаков — нерегулярные перемещения.

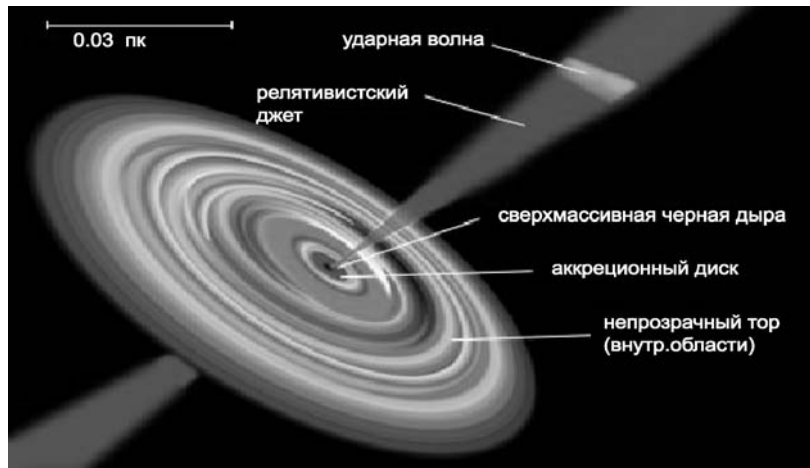


Рис. 3. Внутренняя структура активного ядра галактики.

Если от теоретической модели, которая широко известна специалистам по физике галактик, перейти к результатам нашего исследования положений радиоисточников ICRF, то окажется, что примерно треть объектов обладают значимым собственным движением. Статистика определяющих источников ICRF-1 приведена на рис. 4. Величина поправок к координатам говорит также о неизбежности локального ухудшения точности системы отсчета до уровня 0.2—0.5 миллисекунды дуги.

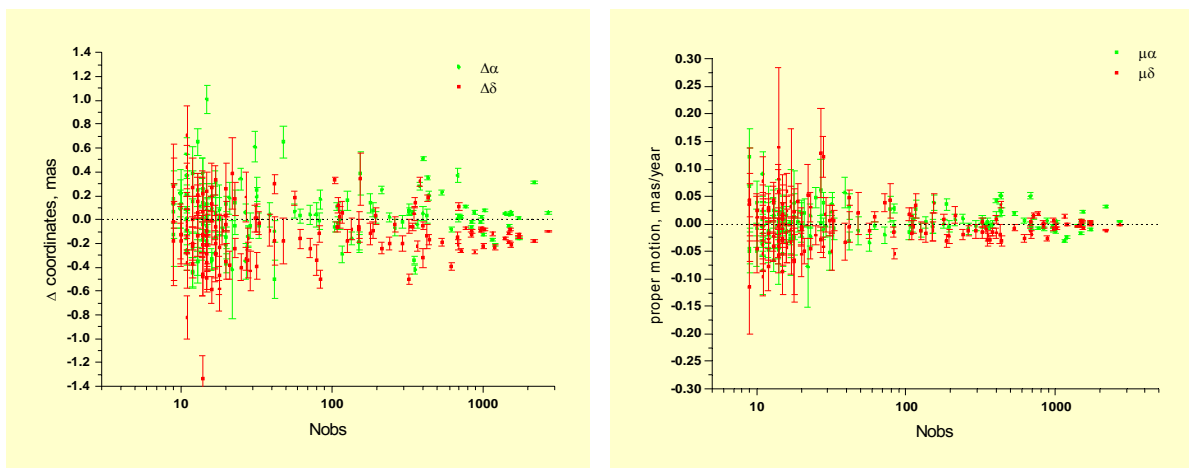


Рис. 4. Поведение поправок к координатам (слева) и значения собственных движений (справа) определяющих источников ICRF в зависимости от числа наблюдений каждого объекта.

Приведенный анализ показывает значимость теоретической модели для астрометрических радиоисточников и говорит о необходимости изменения методики обработки координат стандартов. Совершенно необходимым становится учет собственного движения внегалактических радиоисточников, а отбор в список опорных объектов, должен опираться не на формальную неподвижность квазара, а на предсказуемость его движения, что позволит сохранить систему координат на возможно большем промежутке времени.

В качестве дополнительного аргумента в обоснование предлагаемых методов приведем результат сравнения радио и оптических координат квазаров. Для 261 квазара из списка ICRF измерены красные смещения z (см. [9]). Воспользовавшись высокоточным каталогом оптических положений квазаров (см. [1]), где авторы признают наличие значимых различий), разности координат, оказавшиеся на уровне 10–40 миллисекунд дуги, можно перевести в абсолютные расстояния между оптическим и радиоисточниками.

Среднее расстояние для выборки оказалось на уровне 300–500 парсек. Это означает, что все радиоисточники (центры радиоизлучения в QSO) будут двигаться относительно своих оптических центров со скоростями на уровне 1—10 микросекунд дуги в год.

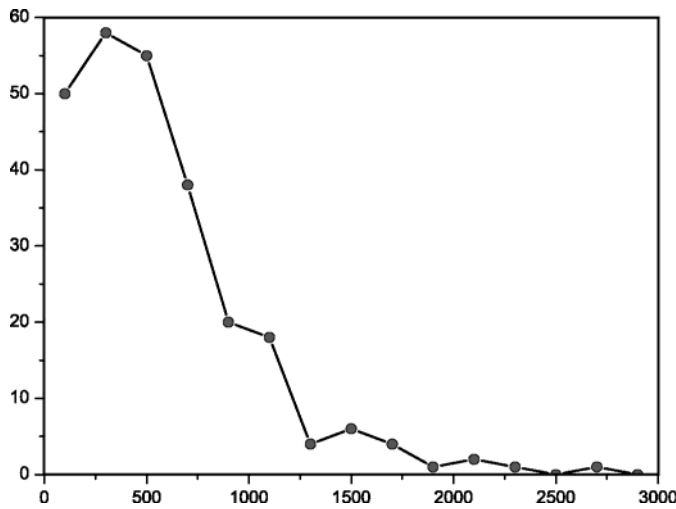


Рис. 5. Распределение физических расстояний между центрами радио и оптического излучения объектов ICRF с известными красными смещениями. По оси абсцисс — парсеки, по оси ординат — количество объектов.

Коль скоро разница между неизменным положением компактного объекта в видимом диапазоне и быстро перемещающимся пятном в радиодиапазоне реальна — становится актуальной задача отбора тех квазаров, для которых эта разница наименее вредна с точки зрения стабильности координат. Привлечем для этого понятие углового масштаба. Объект одного и того же физического размера будет иметь разный угловой размер на разных z . В общепринятой в настоящее время Стандартной космологической модели угловой масштаб — немонотонная функция, это вызвано конечностью скорости распространения света, поэтому с удалением от наблюдателя угловой размер объекта сначала уменьшается, а с ростом z мы фактически видим объект в более ранние моменты времени, когда Вселенная была заметно меньше — и размер начинает расти. Максимальный угловой масштаб будет при $z = 1.63$ (см. [10] и рис. 6а), при этом, заметим, объект размером 1 парсек будет виден под углом 118 микросекунд дуги (!).

На рис.6б приведено распределение по красному смещению 261 источника из ICRF с известными z (из них 137 источник с z в диапазоне 0.8 – 3.0). Не очень строгий рис. 6в тем не менее ясно показывает, что основной вклад в фиксацию осей системы отсчета дадут объекты с красными смещениями в окрестности оптимального $z=1.63$. При этом предполагается, что свойства внегалактических радиоисточников одинаковы в некотором интервале z . Из физических соображений верхняя граница z выбрана 3, чтобы обойти проблемы, связанные с повторной ионизацией гелия (см. [8]).

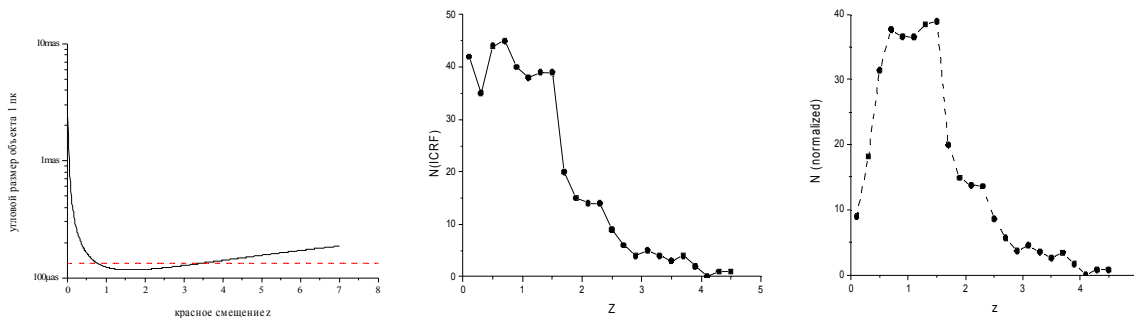


Рис. 6. (а) Угловой размер объекта 1 пк на разных красных смещениях; (б) распределение по z объектов ICRF; (в) распределение (б), нормированное на величину, обратно пропорциональную угловому размеру с рисунка (а).

В нашей работе в отличие от других авторов ряды $\Delta\alpha = \Delta\alpha(\tau)$ и $\Delta\delta = \Delta\delta(\tau)$ **зависят от времени**, поэтому стабильность системы отсчета полностью определяется выбором «стабильных» источников. (А мы показали выше, что все внегалактические источники в той или иной мере являются нестабильными.) Предложенный космологический критерий – это физический критерий для выбора подсистемы радиисточников, имеющих в **среднем** наименьшее расстояние максимума радиоизлучения от оптического центра и, соответственно, минимальное собственное движение.

Покажем теперь, как разные процедуры выбора определяющих радиисточников сказываются на вращении системы отсчета, связанной с ними. Поворот относительно положения в момент J2000 определяется тремя углами:

$$\vec{s}(t) = \begin{pmatrix} 1 & -\theta_3 & \theta_2 \\ \theta_3 & 1 & -\theta_1 \\ -\theta_2 & \theta_1 & 1 \end{pmatrix} \vec{s}(t_0),$$

Поведение углов Эйлера для трех выборок, рассчитанное до 2025 года, показано на рис. 7. Видно, что предложенный нами критерий обеспечивает систематически более предсказуемое поведение системы отсчета, чем другие критерии.

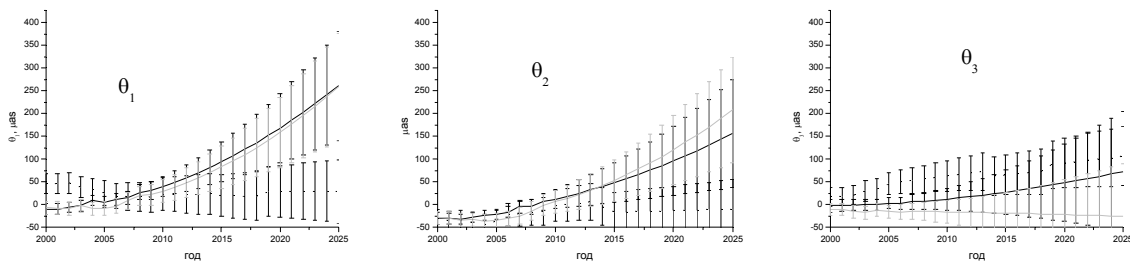


Рис. 7. Поворот со временем систем отсчета, задаваемых разными выборками радиисточников. (а), (б), (в) — три угла Эйлера. Черная линия — «определяющие» источники ICRF-1, серая — «стабильные» источники ICRF-2, пунктир — наша выборка по физическим критериям.

Кратко сформулируем **выводы**.

- Поскольку движение внегалактических радиисточников неявно уже общепризнано (иначе теряется сам смысл селекции «стабильных» источников), то каталог опорных радиисточников должен содержать как координаты, так и собственные движения.

- Само движение радиоизображения источников хорошо объясняется давно известной физической моделью: прецессией джета и движением облаков, попадающих в джет.

- Улучшение стабильности ICRF и повышение точности фиксации ее осей требует использования двух критериев селекции: «космологического» и «кинематического».

- 1) Выбор источников в определенном интервале красных смещений дает подсистему радиисточников, имеющих в среднем наименьшее расстояние от центра радиоизображения до оптического центра и, соответственно, минимальное собственное движение

- 2) Выбор только радиисточников с известным и хорошо предсказуемым собственным движением,

- Из-за случайных и непредсказуемых движений радиисточников, ICRF – неинерциальная система на микросекундном уровне точности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ: гранты 08-02-00971, 07-02-01034.

Литература

1. *Assafin M., Zacharias M., Rafferty T.J. et al.* (2003), *Astron.J.*, **125**, 2728
2. *Begelman M.C., Blandford R.D., Rees M.J.*, 1984, *Rev. Mod. Phys.*, **56**, 255
3. *Blandford R.D., Konigl A.*, 1979, *Astron. J.*, **232**, 34
4. *Feissel-Vernier, M.* 2003, *Astron. Astrophys.*, **403**, 105
5. *Fey A.L., Ma C., Arias E.F., Charlot P., Feissel-Vernier M., Gontier A.-M., Jacobs C.S., Li J., Macmillan D.S.* The second extension of the International Celestial Reference Frame: ICRF-EXT.1. *Astron. J.*, **127**, 3587-3608 (2004)
6. *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.*, 1997: IERS Technical Note No 23, C.Ma and M.Feissel (eds.), Observatoire de Paris.
7. *Ma C., Arias E.F., Eubanks T.M., et al.*, *Astron.J.*, **116**, 516, 1998.
8. *Madau, P., Haardt, F., & Rees, M.J.* 1999, *Astrophys. J.*, **514**, 648
9. *Veron-Cetty M.P., Veron P.*, *Quasars and Active Galactic Nuclei* (12th Ed.), *Astron. Astrophys.*, **455**, 773, 2006.
10. *Wright E.L.*, *PASP*, **118**, 1711-1715, 2006.
11. *Zharov V.E., Sazhin M.V., Sementsov V.N., Kuimov K.V., Sazhina O.S.*, *Astron. Rep.*, **53**, 579, 2009.

THE PHYSICAL REASONS OF A VARIATIONS OF APPARENT QSO' POSITIONS

Zharov V., Sazhin M., Sementsov V., Kuimov K., Sazhina O., Ashimbaeva N.

Sternberg State Astronomical Institute, Moscow

The report is devoted to two methods of increase the stability of ICRF. The first of them is based on the physical model of radiation sources and gives a way to choose those from them, which movement's characteristics are the most predicted. The second method uses a features of Standard Cosmological Model and allows to restrict the choice of radiation sources by redshift interval, so any changes in them will affect the stability of reference frame faintly. The offered approaches will improve the stability of celestial reference frame to a microsecond level.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ КОСМОГОНИЯ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭВОЛЮЦИИ ЗВЕЗДНЫХ СИСТЕМ

Захожай В.А.

ХНУ им. В.Н. Каразина (Украина)

Приведены объективные аргументы наличия условий (математический аппарат, алгоритмы записи эволюции, методология определения необходимых статистических функций и связей), позволяющие выделить в специальное направление исследования эволюции звездных систем статистическим путем. Предлагается название направления – «статистическая космогония» и определение круга задач, которые ею решаются.

Введение

Как известно, информация об эволюции звездных систем содержится в их пространственной структуре, кинематике, возрасте, элементном и химическом составе. Эта информация используется для изучения развития звездных систем. Выделяют следующие исследования [8]: 1) динамическая и 2) химическая эволюции; 3) история звездообразования и 4) эволюция звездного состава. Открытия субзвезд и планет, влекут за собой необходимость в редакции последнего пункта приведенного перечня: при исследовании звездных систем не следует ограничиваться исследованиями эволюции только звездного состава. Кроме указанного перечня исследований, проводимых с целью изучения эволюции звездных систем, в астрофизике и звездной астрономии широко используются различные статистические зависимости и функции распределения. К важнейшим из них, можно отнести диаграмму Герцшпрунга–Рессела, функции звездной плотности, светимости, масс и металличностей, зависимости масса – светимость и др. В таких исследованиях весьма плодотворным может оказаться применение методов теории графов, теории вероятности и математической статистики для дискретного описания эволюции звездных систем с учетом всего многообразия их компонентов [6]. Это свидетельствует о том, что статистические свойства широкого круга характеристик как компонентов звездных систем, так и их самих отражают разнообразие процессов, которые проходили в них в прошлом.

Статистические характеристики и функции распределения несут информацию о структуре звездных систем и процессах, которые происходили в период их формирования. Результат действия последовательности определенных физических процессов может проявляться в различных функциях распределения, наибольшее значение из которых имеют спектры масс звезд и субзвезд, находящихся на ключевых стадиях развития, и функции распределения момента количества движения (МКД) звездных систем. Выделение этих двух важнейших функций распределения связано с тем, что в природе выполняются законы сохранения массы (энергии) и МКД. Сохранение в замкнутой системе этих двух параметров позволяет строить представления о долевых содержаниях (вероятности появления) самих компонентов звездных систем и их характеристик, различных функциях распределения и т.д. Таким образом, вырисовывается целое направление исследований, в котором видится широкое использование возможностей теории вероятностей и математической статистики для построения представлений об звездных системах разного возраста. Можно предположить, что такие возможности позволяют строить эволюционные сценарии их развития, с учетом результатов полученных в работе автора [6, 24, 25].

Звездная статистика решает аналогичный круг проблем, за исключением того, что в круг её задач не входит построение космогонических гипотез. Целью данной работы

является проведение анализа возможностей звездной статистики и применения ее методов для построения эволюционных сценариев развития звездных систем.

Постановка задачи

В процессе развития звездных систем изменяется их структура, эволюционируют компоненты, изменяются статистические характеристики. Существенные трудности возникают при описании сложных звездных агрегатов, содержащих менее массивные структуры, состоящие из эволюционирующих звезд и субзвезд. В таких агрегатах могут повторяться звездообразования и возникать новые, не менее сложные по структуре, звездные подсистемы. Описание таких структур методами, которые применяются для исследования динамической и химической эволюции, истории звездообразования, эволюции звездного состава, сталкивается с большими трудностями. Это связано с тем, что эволюция таких звездных систем может быть не строго детерминирована и «отягощена» многими стохастическими процессами.

Для описания систем с большим числом компонентов, обычно, в физике и астрономии привлекают статистические методы. Возникает вопрос: можно ли сформулировать задачу таким образом, чтобы представить эволюцию звездных систем, различной структурной сложности, в виде статистического процесса? Какой набор статистических данных надо иметь, чтобы ответ на поставленный вопрос был положительным? Анализ показал, что это возможно при выполнении трех условий.

Первое – необходимо выбрать исходную систему такой, чтобы на начало эволюционного процесса она была изолированной. При статистическом описании эволюционного процесса это позволит обеспечить нормировку.

Второе – нужно иметь набор определенных функций распределения, с помощью которых можно было бы вычислять необходимые вероятности наступления таких событий, которые играют первостепенную, определяющую роль в эволюции звездных систем. Вслед за работами [6, 25], назовем наступления таких событий – ключевыми. В первую очередь, это функции распределения масс и МКД звездных систем и их компонентов, которые находятся на различных стадиях эволюционного развития.

Третье – необходимо иметь ряд базовых физических моделей, опираясь на которые, можно было бы статистическому процессу поставить в соответствие физическое описание эволюции звездных систем и их компонентов. Важнейшие из них: модель первичной фрагментации, которая описывается спектром масс неоднородностей; эволюционные модели звезд и субзвезд, позволяющие проследить, в зависимости от их начальной массы и элементного состава, дальнейшее эволюционное изменение массы, радиуса и светимости (или эффективной температуры) и других важных физических характеристик.

Если возможно выполнение всех перечисленных условий, то возникает необходимая база для описания эволюции звездных систем статистическими методами.

Обособленные звездные системы

Звездные системы в общем случае нельзя считать замкнутыми, т.к. являясь членами более высокого уровня иерархии, они взаимодействуют между собой. Необходимо выяснить, есть ли фазы эволюции звездных систем, на протяжении которых сохраняется их масса и пространственная обособленность, а взаимодействием с окружающей их «средой» можно пренебречь. В этот период изменение их структуры может определяться только общими параметрами звездной системы, обусловленными внутренними процессами. Будем называть такие фазы в эволюции звездных систем *обособленными*.

Для Местной группы, как физической системы, начиная с эпохи рекомбинации атомов водорода до настоящего времени, выполняются вышеотмеченные признаки обособленных систем. Об этом свидетельствуют многочисленные исследования об ин-

терпретации ее структуры и данные наблюдений о ее современных параметрах (в первую очередь: массе, размерах и возрасте) [1, 11-13, 15, 18-20, 22, 26]. Аргументом изолированности Местной группы (МГ) от внешних групп галактик, может служить зависимость «лучевая скорость – расстояние» для галактик Местной группы. Закон Хаббла выполняется за пределами МГ (см., например, [9, 16, 17]), в то время, как внутри она ведет себя, как пространственно-обособленная система.

В пределах ошибок, вычисленных свободных членов зависимости «лучевая скорость – расстояние» для галактик семейства Млечного Пути, $V_r = 0$ (рис.). Это может интерпретироваться тем, что галактики семейства Млечного Пути (MW) представляют собой на современном этапе эволюции обособленную физическую систему. Эта система не могла образоваться в эпоху рекомбинации атомов водорода, как это следует из значений джинсовской массы образовавшихся фрагментов при плотности Вселенной $\approx 1 \cdot 10^{-20}$ г/см³. Обнаружение «следов притоков» в Галактику межгалактического вещества и других галактик, допускает два принципиальных сценария эволюции семейства MW. Или масса выделившейся протогалактики, в эпоху реионизации Вселенной была равна современной массе семейства Галактики, или такую массу оно «набирало» в процессе структурного перераспределения вещества в МГ за время ее эволюции.

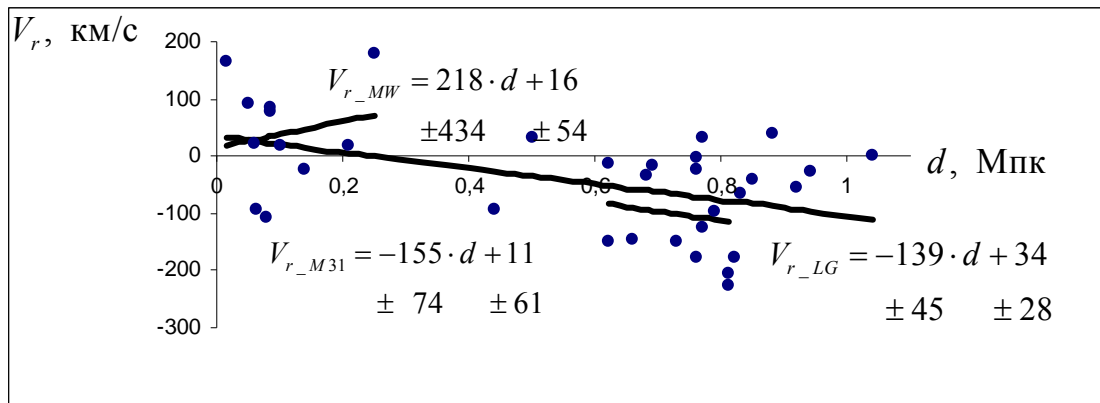


Рисунок. Зависимость «лучевая скорость – расстояние», относительно центра MW для галактик МГ, построенная по данным каталога [16] – точки. Аппроксимационные зависимости и их графики показаны линиями для семейств MW (V_{r_MW}) и M31 (V_{r_M31}) всех галактик МГ (V_{r_LG}).

У звездных скоплений можно выделить два периода, в течение которых выполняются признаки обособленных систем. Первый из них заканчивается после взрывов сверхновых первого поколения звездообразования. После этого звездными скоплениями теряется существенная их масса: оставшийся от образования звездных скоплений газ и оболочки сверхновых. С помощью выражения, связывающего общее число звезд и субзвезд в начальный момент времени N_0 с их числом N_t когда звездная система достигла возраста t , и временем полного распада скопления – t_d [7]

$$N_t = N_0 (1 - t/t_d)^{2/7},$$

не трудно убедиться, что на большей части времени существования звездных скоплений потери ими звездно-субзвездной составляющей незначительны. Этот этап в развитии звездных скоплений может быть также отнесен к фазе обособленных систем.

В кратных звездных системах, звездно-субзвездных и планетных системах, начальные массы звезд которых больше $3 m_\odot$ также ожидается две фазы эволюции, в течение которых системы могут считаться обособленными. Обособленность не выполняется когда происходит потеря протозвездой кокона и образуется звезда главной после-

довательности [4]. Кратные звездные системы, компоненты которых не содержат звезд с массами больше $3 m_{\odot}$, являются обособленными системами с момента начала фрагментации до образования звездных остатков. Кратные звездные системы, максимальные массы звезд которых меньше $0.23 m_{\odot}$, являются обособленными системами на протяжении всей их эволюции. Это следует из того, что звезды с массами меньше $0.23 m_{\odot}$ не проходят стадии гигантов [10].

В Местной звездной системе еще не потерян газ, участвовавший в формировании их первого поколения звездных систем. Следовательно, МЗС находится на стадии обособленной системы [5].

Таким образом, обособленные фазы в эволюции звездных систем являются закономерными этапами их развития. Первичная фрагментация во всех протосистемах происходит, когда они являются обособленными.

Функции распределения, определяющие ключевые события развития звездных систем

Во введении отмечалось, что функции распределения масс и МКД звездных систем и их компонентов, могут полностью определить звездную систему, находящуюся на определенной стадии эволюционного развития. Статистической теории, которая бы описывала развитие звездных систем с использованием плотности распределения МКД, ещё нет. Это можно объяснить, в первую очередь, недостаточным наблюдательным материалом.

Функции распределения масс космических объектов определяются уже более 50 лет, первая из которых была приведена в работе [21]. За это время накоплен большой опыт вычисления таких масс [2], позволивший поставить задачу о применении их для дискретного описания развития звездных систем [25]. При этом оказалось, что следует различать функции масс первичных фрагментов от спектра масс звезд нулевого возраста [5, 6]. В связи с открытием субзвезд, появилась необходимость их учета, поскольку механизм образования этих объектов ничем принципиальным не отличается от звездного. А учет необходим, поскольку содержание их среди звездно-субзвездного населения Галактики более 10%. Полученный совместный звездно-субзвездный спектр масс [27], дает оценку, по массе, для субзвезд в окрестностях Солнца – 13 %.

В отличие от расчета динамических моделей, статистический метод позволяет описывать эволюцию звездных систем дискретно, на момент времени, когда ключевое событие появляется с определенной вероятностью [6]. Последовательность ключевых событий оказалось удобным записывать в виде графов [25]. Для вычисления вероятностей, которые описывают такой статистический процесс эволюции в простой звездной системе необходимо изначально всего два спектра масс: первичных фрагментов и звезд и субзвезд нулевого возраста [6]. Дальнейшее описание развития таких звездных систем, как скопления и кратных систем, требует знания других спектров масс: гигантов, звездных остатков. Вычисление этих спектров масс легко получается из начального спектра масс звезд и субзвезд, зная статистические связи масс звезд нулевого возраста с начальными массами гигантов и звездных остатков. Для статистического описания эволюции, таких сложных звездных систем как галактики, необходимы еще спектры масс межзвездных облаков, скоплений звезд и ассоциаций. В литературе такие функции распределения приводились [14].

Таким образом, как видно из приведенного анализа, для описания эволюционного развития звездных систем, необходимо сравнительно небольшое число функций масс различных космических объектов, которые в настоящее время вполне доступны для определения. Функции распределения МКД космических объектов различного уровня иерархии ещё не доступны для определения, хотя и были попытки их получения [26].

Статистическое представление проявлений физических процессов, определяющих эволюцию звездных систем и их компонентов

Важнейшими процессами, определяющими возникновение и эволюцию звездных систем, являются: фрагментация, диссипация компонентов и движение во внешнем гравитационном поле. Важнейшие ключевые события, определяющие качественное и количественное развитие звездных систем и их компонентов, отражают связи между массами нулевого возраста: протоскоплений и скоплениями, протозвезд и звезд, звезд и гигантов, звезд и звездных остатков. Эволюционную шкалу развития звезд определяют связи: время горения водорода – начальная масса звезд, время жизни гигантов – их начальная масса.

Статистическое описание фрагментации сводится к получению спектров масс: на первом уровне эволюции – протоскоплений, на втором – протозвезд. Такие плотности распределения существенно зависят от характера неустойчивостей, возникающих в очагах звездообразования. Метод и результат расчета спектров масс первичных фрагментов, отражающий роли джинсовской фрагментации и ударных волн плотности представлены в работе [24]. Учет магнитных полей и других гидродинамических особенностей требуют дальнейшего развития теории.

Диссипация компонентов из звездных систем приводит к изменению со временем начальной их функции масс. Первый опыт в получении зависимости спектра масс звезд и субзвезд от возраста представлен в работе [3]. В этой работе, наряду с диссипацией компонентов, учитывалась также эволюция звездных компонентов.

Наибольшее влияние звездные системы более высокой иерархии оказывают на системы меньшей иерархии, которые находятся в их гравитационном поле. Кратные системы могут быть захвачены звездным скоплением. Звездные скопления испытывают динамическое трение за счет гравитационного поля галактики, вследствие чего теряют орбитальный МКД. Такие и другие процессы ведут к перераспределению массы в системах более высокой иерархии, к формированию различных подсистем. Этот сложный динамический процесс может изучаться и статистическими методами. Например, роль динамического трения в эволюции скоплений звезд учитывается в конструкции графа, записанного для описания структуры эволюционирующей галактики в работе [25].

Связь между массами нулевого возраста протоскоплений и скоплений определяет процесс диссипации газа из образующихся звездных систем [5]. Зависимость «масса протозвезд – масса звезд нулевого возраста» возникает вследствие разных времен: свободного падения газа к центру протозвезд и выхода звезд на главную последовательность [4]. Разность масс нулевого возраста: звезд главной последовательности и гигантов определяет темп звездного ветра [6]; звезд главной последовательности и звездных остатков – ещё и потеря оболочек [4]. Зависимость времени жизни звезд на главной последовательности от их начальной массы определяется многими параметрами: элементным составом, темпом горения водорода, условиями переноса энергии с центра наружу, темпом потери вещества (для самых массивных звезд с солнечным элементным составом) [5]. Перечисленные связи в той или иной мере получены, но требуют дальнейшего исследования.

Выводы

Выявление обособленной фазы в эволюции звездных систем дает возможность применять для их описания те статистические методы, в которых требуется учет нормировки анализируемой системы. Общим свойством для всех рассмотренных звездных систем является их эволюционная фаза протосистем, на протяжении которой они остаются обособленными. Проведенный анализ звездных систем Местной группы, территориально к которым принадлежит Солнце, показал, что имеются убедительные аргументы об их формировании на стадии обособленности.

Накоплен большой опыт вычисления функций масс звезд нулевого возраста, являющихся определяющими для вычисления различных вероятностей ключевых событий. Эти вероятности могут быть использованы для дискретного описания эволюции звездных систем, алгоритм которого представляется с использованием графов.

К настоящему времени разработана методология: 1) представления проявлений физических процессов, определяющих эволюцию звездных систем и их компонентов, посредством стандартных и специально вычисленных функций распределения; 2) выявления связей между массами всех объектов нулевого возраста, которые необходимы для вычисления вероятностей ключевых событий; 3) получения аналитического спектра масс компонентов, зависящего от возраста звездной системы.

Таким образом, имеются объективные основания наличия условий (математический аппарат, алгоритмы записи эволюции, методология определения необходимых статистических функций и связей) для выделения в специальное направление исследований эволюции звездных систем статистическим путем. Предлагается его назвать *статистической космогонией*, под которой будем понимать направление исследований, проводимые на стыке космогонии и звездной статистики, с целью описания структуры и развития звездных систем статистическими методами.

Литература

1. *Воронцов-Вельяминов Б.А.* Внегалактическая астрономия. – М.: Наука. – 1978. – 480 с.
2. *Захожай В.А.* // Кинем. и физ. неб. тел. – 2000. – Т. 16, № 2. – С. 153.
3. *Захожай В.А.* // Радиофиз. и радиоастрон. – 2001, июнь. – Т. 6, №2. – S97.
4. *Захожай В.А.* // Вісн. астрон. школи – 2002. – Т. 3, № 2. – С. 81.
5. *Захожай В.А.* // Диссертация докт.физ.-мат.наук. – Харьков: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2007. – 317 с.
6. *Захожай В.А.* // Изв. Крымской Астрофиз. Обс. – 2009. – Т. 104, № 6. – С. 80.
7. *Гуревич Л.Э., Чернин А.Д.* Введение в космогонию (Происхождение крупномасштабной структуры Вселенной). – М.: Наука. – 1978. – 384 с.
8. *Марочник Л.С., Сучков А.А.* Галактика. – М.: Наука. – 1984. – 392 с.
9. *Черепанчук А.М., Чернин А.Д.* Вселенная, жизнь, черные дыры. – Фрязино.: Век 2. – 2004. – 320 с.
10. *Adams F.C., Laughlin Gr.* // Rev. Mod. Phys. – 1997. – Vol. 69, № 2. – P. 337.
11. *Bullock J.S., Kravtsov A.V., Weinberg D.H.* // Astrophys. J. – 2001. – Vol. 548. – P. 33.
12. *Einasto J., Kaasik A., Saar E.* // Nature. – 1974. – Vol. 250, № 5464. – P. 309.
13. *Einasto J., Joeveer M., Kaasik A.* // Tartu Astron. Obs. Teated. – 1976. – Vol. 54. – P. 3.
14. *Heiles C.* // Ap. J. Suppl. – 1967. – Vol. 15. – P. 97.
15. *Kahn F., Woltjer L.* // Astrophys. J. – 1959. – Vol. 130, № 2. – P. 705.
16. *Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Huchtmeier W.K., Makarov D.I.* // Astron. J. – 2004. – Vol. 127. – P. 2031.
17. *Karachentsev I.D., Makarov D.I.* // Astrophysics. – 2001. – Vol. 44. – P. 5.
18. *Limber D.N.* // Astron. J. – 1961. – Vol. 66. – P. 572.
19. *Majewski S.R., Ostheimer J. C., Patterson R. J. et al.* // Astron. J. – 2000. – Vol. 119. – P. 760.
20. *Ostriker J.P., Peebles P.J.E., Yahil A.* // Astrophys. J. Lett. – 1974. – Vol. 193, №. 1 – L1.
21. *Salpeter E.E.* // Astrophys. J. – 1955. – Vol. 121. – P. 161.
22. *Wetterer C.J., McGraw J.T.* // Astron. J. – 1996. – Vol. 112. – P. 1046.
23. *Zakhozhaj V.A.* // Тези доповідей наукової конференції присвяченої 225-ій річниці заснування АО ЛУ (8-10 грудня 1994 року). – Львів. – 1994. – С. 41.
24. *Zakhozhaj V.A.* // Astron. Astrophys. Transact. – 1995. – Vol. 6. – P. 221.
25. *Zakhozhaj V.A.* // Astron. Astrophys. Transact. – 1996. – Vol. 10. – P. 321.
26. *Zakhozhaj V.A.* // In VI International Conference “Relativistic Astrophysics, Gravitation and Cosmology”, May 24-26 2006. – Kyiv, Ukraine. – 2006. – P. 9.
27. *Zakhozhaj V.A.* // Astrophys. Space Sci. – 2008. – Vol. 315, No. 1-4. – P. 13.

ВКЛАД ПУЛКОВСКОЙ И ХАРЬКОВСКОЙ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ШКОЛ В РАЗВИТИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОИСКА И СУЩЕСТВОВАНИЯ ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ В ГАЛАКТИКЕ

Захожай В.А.¹, Гнедин Ю.Н.², Шахт Н.А.²

¹*ХНУ им. В.Н. Каразина, Украина*

²*ГАО РАН, Россия*

Вступление

Между астрономами Пулковской обсерватории и Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина (НИИ астрономии и кафедры астрономии) с давних пор сложились дружеские и деловые отношения. На протяжении всей истории учреждений выполняются совместные астрометрические исследования. С конца 70-х гг. ведётся сотрудничество в решении проблемы поиска невидимых звездных, субзвездных и планетных компонентов звезд.

Астрометрические работы в Пулкове по обнаружению невидимых спутников у звезд проводятся с использованием длиннофокусных астрографов, с помощью которых ищутся гравитационные проявления в движениях таких объектов. В Харькове были предложены проекты инструментов и метод поиска маломассивных спутников звезд; разработаны физические модели субзвезд, проведены статистические исследования.

В настоящей статье мы хотим дать краткий обзор исследований, проводимых в наших двух учреждениях и относящихся к актуальным проблемам современной астрономии. Имеется в виду определение параметров движения и оценки масс звезд, а также поиски скрытой массы, наличие которой объясняется присутствием невидимых спутников звездной, субзвездной и планетной массы.

Поиск и исследование планетных систем у других звезд являются одной из центральных проблем современной астрофизики. Ожидается, что в ближайшем десятилетии это направление астрономических исследований будет лидирующим, о чем свидетельствует подготовка к изданию в 2010 г. международной «Белой Книги» по астрономии. К концу сентября 2009 г. было открыто 374 внесолнечных планет, причем большая часть из них имеет массы $M \leq 5 M_J$, где M_J – масса Юпитера [1].

В настоящее время в программе поиска и наблюдений внесолнечных планет планируется участие 62 наземных обсерваторий и 16 космических обсерваторий, причем большая часть из них уже действует. В рамках предполагаемой программы ожидается, что каждый год будет открыто примерно 30 планет. Это число ограничивается только чувствительностью используемых инструментов, а не числом самих внесолнечных планет. В поиске внесолнечных планет принимает участие и космическая обсерватория CoRoT, запущенная 27 декабря 2007 г. Главная задача данной обсерватории – мониторинг 12 тыс. звезд [2].

7 марта 2009 г. успешно запущена космическая обсерватория KEPLER, целью которой является определение количества планет типа нашей Земли [3]. Мишенями для поиска таких планет являются карликовые звезды спектральных классов F–M. Главная цель обсерватории – открытие транзитов, т.е. явлений, сопровождающих прохождение планеты по диску звезды. Характерное время такого прохождения (транзита), а также глубина формы транзита позволяет определить как радиус планеты, так и орбитальный период ее обращения вокруг звезды.

Метод прямого обнаружения явления «транзит» широко использовался в работе космического телескопа имени Спитцера [4]. Это позволило измерять непосредственно температуру и спектр излучения самой планеты. К сожалению, такая методика прямого

действия позволяет измерять параметры планеты не более чем у 5% звездных систем с планетами.

Другим мощным методом обнаружения планет является микролинзирование [5]. Это пока единственный метод, позволяющий измерять массы планет типа Марса: $M > 0.1 M_{\oplus}$. Именно микролинзирование позволило сделать ряд замечательных открытий: с его помощью к августу 2009 г. было открыто 9 планет [1]. Этой же методикой было сделано и первое открытие холодных планет типа Нептуна, а также первая внесолнечная система типа Солнце / Юпитер / Сатурн у звезды OGLE-06-109L [6].

Наиболее надежным, конечно, является прямой астрометрический метод обнаружения внесолнечных планет. Метод основан на возможности регистрации видимого движения самой звезды вокруг центра масс системы звезда – планета. Уравнения небесной механики позволяют получить для такой системы следующее соотношение:

$$\frac{M_S}{m_{pl}} = \frac{a_{pl}}{a_S}, \quad (1)$$

где M_S и m_{pl} – массы звезды и планеты и, соответственно, значения полуосей их орбит – a_S , a_{pl} . Из законов Ньютона, в случае $M_S \gg m_{pl}$, следует, что выражение для углового размера орбиты звезды вокруг центра масс двойной системы имеет вид:

$$\beta = \left[\frac{G}{4\pi^2} \right]^{1/3} \left[\frac{P}{M_S} \right]^{2/3} \frac{m_{pl}}{D}, \quad (2)$$

где β – угловой размер орбиты звезды в радианах, G – гравитационная константа, P – период движения звезды (или планеты) и D – расстояние от наблюдателя до звезды.

Если представить, что наша Солнечная система расположена на расстоянии 30 световых лет, то угловой размер орбиты Солнца вокруг центра масс системы Солнце – Юпитер составит $\beta = 5.5 \cdot 10^{-4} \cong 0.55 \text{ mas}$. Такая малая величина углового размера орбиты недоступна для многих действующих телескопов и требует применения интерферометрии. Решение этой задачи является основой новых планируемых земных и космических телескопов.

Ожидаемые в ближайшее время запуски космических спутников GAIA (Европейское Космическое Агентство) и американского Planet Quest (Национальное Космическое Агентство, США) будут иметь предельное угловое разрешение на уровне $\sim 1 \text{ microarcsec}$.

В настоящее время самым эффективным методом обнаружения планет у других звезд (экзопланет) является метод лучевых скоростей звезд, который широко используется астрономами при наблюдении двойных звездных систем. С помощью этого метода была открыта первая внесолнечная планета у звезды 51 Пегаса (Mayor, Quelos, 1995) [7]

Из обнаруженных ранее 329 внесолнечных планет большинство ($\sim 90\%$) было открыто классическим методом наблюдений кривых лучевых скоростей звезд вокруг общего центра масс [8]. Примерно 3% планет было открыто методом транзита, основанного на регистрации моментов прохождения планеты по диску звезды. 2% из всех обнаруженных планет было открыто методом гравитационного микролинзирования, 2% – на основе доплеровских сдвигов направленного излучения радиопульсаров, и только $\sim 2\%$ в результате получения прямого изображения [9].

Наиболее перспективным можно считать сочетание наблюдений лучевых скоростей V_r с методом транзита или с методами классической астрометрии, позволяющие определить угол наклона орбиты i , который не разделяется с орбитальной скоростью V при использовании одного доплеровского эффекта ($V_r = V \sin i$).

Программа Харьковского университета поиска экзопланет и субзвездных объектов

Создание в середине 70-х гг. в Астрономической обсерватории Харьковского университета Когерентного оптического вычислителя (КОВ), позволяющего осуществлять двумерное преобразование Фурье от распределения светового поля в плоскости входного зрачка (Дудинов, Цветкова, Кришталь и др., 1977) [10], открыло перспективу проводить спекл-интерферометрию на БТА САО АН СССР. Возможность поиска планет по их прохождению по диску звезды методом спекл-интерферометрии изучалась на КОВ (Захой, 1978, 1979) [11, 12], а также путем численного моделирования (Захой, 1981) [13] и с помощью специально построенной установки (Захой, 1983) [14], которая позволяла моделировать оптический тракт: объект – атмосфера – 6-м телескоп.

Использование метода спекл-интерферометрии (в равной мере, и других методов) для поиска экзопланет предполагало наличие звезд-кандидатов, у которых могли бы быть планеты. Была предпринята попытка поиска таких звезд-кандидатов в окрестностях 10 пк от Солнца. С этой целью начали создаваться каталоги ближайших звезд. Первая версия такого каталога была опубликована в конце 70-х гг. (Захой, 1979) [15]. Данные о параметрах этих ближайших звезд вошли в Астрономическую базу SIMBAD под номерами Zkh. Современная версия этого каталога содержит сведения примерно о 400 звездах и субзвездах. Установление закономерностей между астрофизическими параметрами звезд главной последовательности позволили оценить вероятные значения 226 масс и 156 радиусов ближайших звезд. Получены оценки и других важных астрофизических характеристик этих звезд (Захой, 2007) [16].

На рубеже 80-90-х гг. обсуждался проект создания звездного интерферометра, в котором активное участие принимали Н.С. Кардашев, В.А. Захой, А.А. Токовинин, С.Я. Брауде, Л.Н. Литвиненко. Одной из задач такого инструмента, предназначенного для работы в оптическом и ИК диапазонах волн был, именно, поиск планет у звезд. В середине 90-х – начале 2000-х гг. эта работа продолжилась в рамках сотрудничества харьковских, казанских и киевских астрономов (Захой, Федоров, Шорников, 1996) [17], (Захой, Федоров, Мызников, 2001) [18]. Предполагалось совместное создание оптического интерферометра, спроектированного О.Е. Шорниковым.

В 1979 г. состоялась встреча между Пулковскими и харьковскими астрономами, в которой участвовали также А.Н. Дейч и Н.А. Шахт (со стороны ГАО АН СССР) и В.А. Захой (АО ХГУ). Были обсуждены задачи, доступные для решения в Харькове и в Пулковской обсерватории по проблеме невидимых спутников звезд.

Так как организовать высокоточные астрометрические наблюдения в Харькове не представлялось возможным, из-за отсутствия длиннофокусного астрографа, наиболее перспективной оказалась постановка решения ряда теоретических задач в этой области. Так, в рамках этих задач Ю.В. Александровым и В.А. Захожаем в начале 80-х гг.:

- 1) сформулировано понятие «планета» (Александров и Захой, 1980) [19];
- 2) получена теоретическая формула для долевого содержания звезд с планетными системами (Александров и Захой, 1983а) [20];
- 3) выполнен обзор, отражающий состояние проблемы существования и поиска внесолнечных планет на начало 80-х гг. (Александров и Захой, 1983б) [21].

При определении понятия "планета" было обращено внимание на два существенных свойства планет: наличие гравитационной дифференциации планетарного вещества, которое находится в конденсированном состоянии (Александров и Захой, 1980) [19]. Это позволило оценить нижнюю границу масс силикатных планет – $\sim 10^{-10} m_{\odot}$. Дальнейшее развитие этих представлений получило в работе Слюты и Воропаева (1993) [22], которые определили минимальную массу ледяных планет – $\sim 10^{-11} m_{\odot}$. Приняв за основу эти свойства, современная редакция предложенного определения

может быть следующей: планеты – космические тела, образующиеся путем коагуляции, завершающейся вторичной аккрецией, находящиеся в конденсированном состоянии и эволюционирующие вследствие гравитационной дифференциации вещества.

Ю.В. Александровым и В.А. Захожаем была выведена формула для вероятности звезд обладающих планетными системами (Александров и Захожай, 1983) [20], учитывающая вероятность существования механизма образования планет у звезд с различной массой – p_m , долевое содержание звезд кратности l – q_l , вероятность наличия зоны неограниченного роста планетезималей у i -го компонента у этих систем – $p_{Gl}^{(i)}$ и такой же зоны при наличии у него субзвезды – $p_{Gs}^{(i)}$:

$$P_{ps} = p_m \sum_{l=1}^k q_l \left[\sum_{i=1}^l p_{Gl}^{(i)} - p_{ss} \left(\sum_{i=1}^l p_{Gl}^{(i)} - \sum_{i=1}^l p_{Gl}^{(i)} p_{Gs}^{(i)} \right) \right], \quad (3)$$

где: k – наибольшая кратность звездных систем, вносящая заметный вклад в вычисление долевого содержания планетных систем, p_{ss} – вероятность образования субзвезд в кратных системах.

Выполненные оценки вероятности существования планет в Галактике в целом и для ближайших звезд составили, соответственно, около 0.2–0.25. Эти оценки превышают в 2–3 раза наблюдаемое долевое содержание звезд с выявленными у них планетными системами методом лучевых скоростей (Fischer & Valenti, 2005) [23], т.е. у систем, имеющих преимущественный относительно Земли угол наклона планетных орбит.

Анализ верхней границы планетных масс, показал, что она не совпадает с минимальной массой звезд, $\sim 0.08 m_{\odot}$, если взять за основу кумаровское определение феномена звезды (Kumar, 1963) [24]. Поэтому, приблизительно в одно время Дж. Тартер (1975) [25] (это диссертация, которая в 70-е годы была неизвестна и недоступна советским астрономам) и Ю.В. Александровым и В.А. Захожаем (1980) [19] была выдвинута гипотеза о существовании во Вселенной отдельного класса космических тел кроме звезд и планет. Тартер назвала их коричневыми карликами, Александров и Захожай – субзвездами.

В 90-е гг. в Харькове была разработана новая эволюционная модель субзвезд, базирующаяся на зависимости уравнения состояния вещества от параметров вырождения электронов и степени ионизации атомов (Захожай, Писаренко, Яценко, 2004) [26], (Писаренко, Яценко, Захожай, 2007) [27]. Предсказан химический состав атмосфер субзвезд (Котелевский, Педаш, Захожай, Писаренко, 2004) [28], согласованный с наблюдаемыми данными и представлениями о внешних слоях водородно-гелиевых планет. Выявлены общие статистические закономерности между основными физическими параметрами субзвезд на стадии охлаждения (Захожай, 2007) [16]. Впервые был получен звездно-субзвездный спектр масс (Zakhozhay, 2008) [29], позволивший вычислить долевое содержание (по массе) субзвезд, среди звездно-субзвездной популяции окрестностей Солнца – 13%.

Совершенствование классификация планет привело к выдвигению аргументов о существовании во Вселенной четырех типов планет: водородно-гелиевых, ледяных, силикатных и металлических (Євсюков і Александров, 2000 [30], Александров и Евсюков, 2001 [31], Evsukov, Zakhozhay, Psaryov, 2001 [32]). Анализ природы субзвезд позволил выдвинуть гипотезу о существовании двух типов субзвезд. К одному из них должны принадлежать коричневые карлики, в недрах которых на определенном этапе эволюции горит дейтерий или литий. К другому типу относятся объекты, в которых ни на какой стадии развития нет ядерных источников энергии, и которым присуще только вечное их сжатие (Захожай, 2001, 2002) [33, 34].

Представления о числе планет в Галактике существенно поменялись после открытия пояса Койпера в Солнечной системе. Введенное понятие минимальной массы пла-

нет позволило провести оценку минимальных размеров различных типов планет и их блеска. На этом основании составлен каталог предполагаемых планетных тел в Солнечной системе (Zakhozhaj V., Zakhozhaj O., Krugly Y., 2006) [35]. Его анализ показал, что среди больших планет нашей Солнечной системы, их спутников, астероидов Главного пояса и пояса Койпера, число карликовых планет исходя из современной классификации и их определения как космических тел, прошедших дифференциацию, по видимому, не менее 100. Это может служить существенным аргументом в пользу того, что число планет в Галактике (но не планетных систем), согласно их общему определению может существенно превышать число звезд.

Пулковская программа двойных звезд и звезд с невидимыми спутниками.

Методика наблюдений и результаты

Пулковская программа звезд с невидимыми спутниками связана с работами А.Н. Дейча (1951, 1978) [36, 37] (см. также статью Шахт в наст. сб.), посвященными звезде 61 Лебеда, и созданию программы наблюдений двойных звезд и одиночных близких звезд, у которых были заподозрены планетоподобные спутники.

Большая часть наблюдений на нормальном астрографе, начиная с конца XIX, уже была проделана нашими предшественниками. Около полутора сотен точных положений этой двойной звезды с 1897 по 1938 год было получено основателем отдела фотографической астрометрии и звездной астрономии С.К. Костинским. Наблюдения на 26" рефракторе были начаты в конце 1950-х гг.

Используя довоенные и послевоенные снимки, сделанные на пулковском нормальном астрографе, а затем, присоединив к ним наблюдения на 26" рефракторе с 1958 по 1978 гг., А.Н. Дейч в результате тщательного исследования обнаружил периодические флуктуации в орбитальном движении звезды 61 Лебеда. В результате этого исследования он сделал предположение о наличии у нее спутников с периодами вращения 6.0 и 12.0 лет. Значение нижнего предела массы для первого предполагаемого спутника составило 4 массы Юпитера. А.Н. Дейч заложил основы программы звезд с невидимыми спутниками. Он включил в нее те звезды, о которых уже было известно, что у них есть косвенные данные о присутствии спутников, например, Lalande 21185, Gliese 623 и др., а также новые объекты, такие как ADS 15571, ADS 12815 и др.

У Gliese 623 периодические смещения под влияния невидимого спутника с массой $0.09 M_{\odot}$ были выявлены по астрометрическим данным в работе Lippincott, 1978 [38] затем на новом наблюдательном материале подтверждены в нашей работе (Shakht, 1995 [39, 40]). В 1996 г. фотография спутника в ИК – диапазоне была получена с помощью телескопа Хаббла. Было отмечено, что его можно причислить к субзвездным объектам спектрального класса L [41].

В дальнейшем наша практика показала, что обнаружение периодических смещений в движении звезды под влиянием спутника с планетной массой даже в несколько раз большей, чем масса Юпитера, является трудновыполнимой задачей. Поэтому с учетом реальных условий наше внимание было обращено на исследование двойных звезд с целью определения их орбит и оценки масс, а также выявление скрытой массы в этих системах с помощью динамических критериев [42]. В ряде случаев удалось с большей или меньшей вероятностью обнаружить влияние невидимых спутников с массой порядка несколько десятых солнечных масс. При наличии более продолжительного наблюдательного материала, был выявлен еще целый ряд спутников звездной массы в системах двойных звезд, причем с достаточно долгопериодическими орбитами.

Таким примером является звезда ADS 15571. Согласно исследованию Е.А. Грошевой, невидимый спутник которой с массой $0.6 M_{\odot}$ имеет период обращения 23 года [43]. Этот спутник остается невидимым в оптическом диапазоне, однако, вполне веро-

ятно, что он является объектом с сильным рентгеновским излучением, то есть, рентгеновским источником, находящимся на угловом расстоянии 2" от видимой звезды.

Для изучения динамических процессов и оценки масс звезд из пулковской программы на основе долговременных наблюдений в ГАО РАН имеется методика определения орбит и оценки масс компонентов двойных звезд. Основным методом для решения данной задачи является метод параметров видимого движения, разработанный А.А. Киселевым и др. [44].

Применяются также практические методы исследования этих объектов с привлечением контрольных звезд, которые параллельно наблюдаются в течение ряда лет. Контроль осуществляется также с помощью исследования параметров телескопа. Впервые по большим рядам двойных звезд Д.Л. Горшанову [45] удалось обнаружить изменение со временем геометрического масштаба 26" рефрактора с точностью до 0."0008/mm, при этом результат имеет самостоятельное практическое значение. В работе [46] он также подтвердил наличие периодических возмущений в движении 61 Лебеда по данным пулковского 26" рефрактора.

В настоящее время наблюдения продолжают на ПЗС-камере FLI Pro Line 09000 с размером поля 12 кв. мин. В рамках совместной работы Пулковской обсерватории с ХНУ им. В.Н. Каразина можно было бы исследовать несколько десятков двойных систем и одиночных звезд с предполагаемыми темными спутниками. Кроме того, в программу исследований могут войти также и некоторые известные звезды с невидимыми спутниками (61 Cyg, 51 Peg и др.). Проведение спектрофотометрии и поляриметрии звезд с темными компонентами возможно выполнить в результате совместной работы с помощью разработанной и изготовленной в ГАО НАН Украины новой спектральной и поляриметрической аппаратуры на 70-см телескопе ГАО НАНУ и 1-м телескопе на горе Кошка в Крыму, (Morozhenko A., Vid'machenko A., 2004) [47].

Выводы

1. Несмотря на финансовые трудности, возникшие в период перестройки и в последующие годы, харьковскими астрономами совместно с российскими коллегами был организован ряд совещаний, посвященных проблеме существования планетных систем у звезд и их поиска интерферометрическими методами.

2. В ХНУ им. В.Н. Каразина были: 1) создана установка для моделирования больших телескопов с целью отработки методики прохождения планеты по диску звезды и наблюдений затменных систем; 2) совместно с казанскими и киевскими астрономами разработан интерферометр (для наземного и космического базирования), предназначенный для обнаружения маломассивных спутников у звезд, уникальная конструкция которого основывалась на передовых технологиях и не потеряла своего значения до сих пор.

3. Были представлены аргументы в пользу существования во Вселенной четырех типов планет: водородно-гелиевых, ледяных, силикатных и металлических; а также двух типов субзвезд, одним из которых являются коричневые карлики.

4. Харьковскими астрономами впервые была получена новая эволюционная модель внутреннего строения субзвезд, базирующаяся на современных представлениях об уравнении состояния вещества их недр.

5. Впервые был вычислен звездно-субзвездный спектр масс, позволивший получить доленое содержание (по массе) субзвезд, среди звездно-субзвездной популяции окрестностей Солнца – 13%.

6. Был рассчитан химический состав атмосфер субзвезд, согласующийся с представлениями о внешних слоях водородно-гелиевых планет, атмосфер холодных звезд и

субзвезд. Выявлены общие статистические закономерности между основными физическими параметрами субзвезд на стадии охлаждения.

7. Результаты наблюдений двойных звезд в Пулкове опубликованы и находятся в двух пулковских каталогах [48, 49]. В ходе работы по программе поисков планетоподобных спутников у звезд фотографические наблюдения на 26" рефракторе показали возможность обнаружения спутников звездной и субзвездной массы с периодами обращения от 3.5 лет до нескольких десятков лет.

8. Разработанные в Пулкове астрометрические методы позволяют оценить массу значительно более массивных объектов. См., например, оценку массы черной дыры в центре нашей Галактики, (Kisselev, Gnedin, Grosheva, et al., 2006 [50]), а также черной дыры в центре шарового скопления М 15, (Киселев, Гнедин, Шахт и др., 2007 [51]).

9. Составлен список близких звезд с невидимыми спутниками звездной и субзвездной массы, для которых имеются длительные однородные наблюдения на 26" рефракторе. Большая часть из них обработана и исследована. Дополнительные наблюдения с помощью космических телескопов типа GAIA позволят уточнить орбиты и массы как видимых, так невидимых компонентов этих звезд. Это расширит информацию о родительских звездах в случае, если впоследствии у них будут найдены планетные компоненты.

10. Результаты наблюдений двойных звезд в Пулкове обсуждались на международных конференциях по проекту GAIA (2006, 2008) [52] и на конференции в Греции (2009) "Космические технологии" [53].

11. Имеющиеся фотографические и продолжающиеся на CCD наблюдения этих звезд можно использовать в качестве соответствующей наземной поддержки в будущих космических программах.

Данная работа поддерживалась грантами РФФИ: 07-02-00235; 09-02-00267 и грантом НШ No. 6110.2008.02

Литература

1. *Schneider J.* The Extrasolar Planets Encyclopaedia // <http://exoplanet.eu/> – Update: 26 September 2009.
2. *Baglin A. et al.* // 36th COSPAR Scientific Assembly. – 2006. – Vol. 36. – P. 3749.
3. *Borucki W.J., Koch D., Basri G. et al.* // A Decade of Extrasolar Planets around Normal Stars, (Ed. M.Livio), Cambridge University Press. – 2005.
4. <http://www.spitzer.caltech.edu/>
5. *Perryman M.A.C.* Extra-Solar Planets, Rep.Prog.Phys. – 2000. – Vol. 63. – P.1209.
6. *Gaudi S., Bennett D., Udalski A., et al.* // *Science*. – 2008. – Vol. 319. – P. 927.
7. *Mayor M., Quelos D.* // *Nature*. –1995. – Vol. 378. – P. 355.
8. *Pudritz R., Higgs P., Stone J. (editors)* // *Planetary Systems and the Origin of Life*, Cambridge Univ. Press. – 2007.
9. *Jones B.W.* // *The Search for Life Continued – Planets around Other Stars*, Springer-Praxis, Heidelberg, N.Y. – 2008.
10. *Дудинов В.Н., Цветкова В.С., Кришталь В.А., и др.* // Вестн. Харьк. ун-та. – 1977. – № 160: Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия. – С. 65.
11. *Захожай В.А.* // Вестн. Харьк. ун-та. – 1978. – № 176, вып.13, Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия. – Харьков. – С. 85.
12. *Захожай В.А.* // Астрометрия и астрофиз. – 1979. – № 37. – С. 85.
13. *Захожай В.А.* // Вестн. Харьк. ун-та. – 1981. – № 223, вып. 16: Методы обработки астрономических и космических изображений. – Харьков. – С. 60.
14. *Захожай В.А.* // Вестн. Харьк. ун-та. – 1983. – № 247, вып. 18: Астрометрия Солнечной системы. – Харьков. – С. 44.
15. *Захожай В.А.* // Вестн. Харьк. ун-та. – 1979. – № 190, вып. 14: Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия. – Харьков. – С. 52.

16. *Захожай В.А.* // Диссертация докт. физ.-мат. наук. – Харьков: ХНУ им. В.Н. Каразина. – 2007. – 317 с.
17. *Захожай В.А., Федоров П.Н., Шорников О.Е.* // Тези доповідей міжнародної наукової конференції "Роль наземної астрометрії в POST-HIPPARCOS період", присвяченої 175-річчю Миколаївської астрономічної обсерваторії (9-12 вересня 1996 р.). – Миколаїв: МАО. – 1996. – С. 13.
18. *Захожай В.А., Федоров П.Н., Мызников А.А.* // Первая украинская конференция по перспективным космическим исследованиям. Сб. тезисов. – Киев. – 2001. – С. 30.
19. *Александров Ю.В., Захожай В.А.* // Астрон. вестн. – 1980. – Т. 14, № 3. – С. 129.
20. *Александров Ю.В., Захожай В.А.* // Астрон. вестн. – 1983. – Т. 17, № 2. – С. 82.
21. *Александров Ю.В., Захожай В.А.* // Астрон. вестн. – 1983. – Т. 17, №3. – С. 131.
22. *Слюта Е.Н., Воропаев С.А.* // Астрон. вестн. – 1993. – Т. 27, № 1. – С. 71.
23. *Fischer D.A., Valenti J.* // *Astrophys. J.* – 2005. – Vol. 622. – P. 1102.
24. *Kumar S.S.* // *Astrophys. J.* – 1963. – Vol. 137, No. 4. – P. 1121.
25. *Tarter J.* – Ph.D. thesis. – Univ. Calif., Berkeley. – 1975. – 281 p.
26. *Захожай В.А., Писаренко А.И., Яценко А.А.* // Всероссийская астрон. конф. ВАК-2004 «Горизонты Вселенной». – Тезисы докладов. – М.: МГУ, ГАИШ. – 2004. – Т. 106. – С. 152.
27. *Писаренко А.И., Яценко А.А., Захожай В.А.* // Астрон. журн. – 2007. – Т. 84, № 8. – С. 675.
28. *Котелевський С.И., Педаш Ю.Ф., Захожай В.А., Писаренко А.И.* // Кинем. и физ. неб. тел. – 2004. – Т. 20, № 2. – С. 118.
29. *Zakhozhay V.A.* // *Astrophys. Space Sci.* – 2008. – Vol. 315, No. 1-4. – P. 13.
30. *Євсюков М.М., Александров Ю.В.* Хімія і геологія планет. – Харків.: Крок. – 2000. – 191 с.
31. *Александров Ю.В., Евсюков Н.Н.* // Вісник Астрон. школи. – 2001. – Т. 2, № 1. – С. 17.
32. *Evsukov N.N., Zakhozhay V.A., Psaryov V.A.* // *Odessa Astron. Publ.* – 2001. – Vol. 14. – P. 205.
33. *Захожай В.А.* // Вісн. астрон. Школи. – 2001. – Т. 2, № 1. – С. 34.
34. *Захожай В.А.* // Кинем. и физ. неб. тел. – 2002. – Т. 18, № 6. – С. 535.
35. *Zakhozhay O.V., Zakhozhay V.A., Krugly Yu.N.* // Proc. of 13th Open Young Scientists' Conf. on Astronomy and Space Physics. – April 25-29, 2006. – Kyiv. – 2006. – P. 122.
36. *Дейч А.Н.* // Изв. ГАО. – 1951. – Т. 146. – С. 1.
37. *Дейч А.Н.* // Письма в АЖ. – 1978. – Т.4. – С. 95.
38. *Lippincott S.L., Borgman E.R.* // *PASP.* – 1978. – Vol. 90, No. 534. – P. 226.
39. *Shakht N.A.* // Proc. Symp. 166 IAU. – 1995. – P. 359.
40. *Shakht N.A.* // *Astron. and Aph. Trans.* – 1997. – Vol. 13. – P. 327.
41. *Reid L.N., Kirkpatrick J.D., Liebert J., et al.* // *Aph. J.* – 1999. – Vol. 521. – P. 613.
42. *Киселев А.А. и др.*, настоящий сборник.
43. *Grosheva E.A.* // *Astrophysics.* – 2006. – Vol. 49. – P. 397.
44. *Киселев А.А., Романенко Л.Г.* // Астрон. журн. – 1996. – Т. 73, № 6. – С. 875.
45. *Горшанов Д.Л.* // Изв. ГАО РАН. – 2004. – № 217. – С. 485.
46. *Gorshanov D.L., Shakht N.A., Kiselev A.A.* // *Astrophysics.* – 2006. – Vol. 49, №3. – P.387.
47. *Morozhenko A., Vid'machenko A.* // *Photopolarimetry in Remote Sensing.* Edited by G. Videen, Ya. Yatskiv, M. Mishchenko. NATO Science Serie – 2004.
48. *Киселев А.А., Калиниченко О.А., Плюгин Г.А., и др.* – Каталог относительных положений 200 визуально-двойных звезд по наблюдения на 26" рефракторе с 1962 по 1987 гг. – Ленинград. – Наука. – 1988 – С.1-39.
49. *Киселев А.А., Калиниченко О.А., Кияева О.В. и др.* – Каталог относительных положений визуально - двойных звезд по наблюдениям на 26" рефракторе Пулковской обсерватории – Страсбург. – 2004. – I/297.
50. *Kisselev A.A., Gnedin Yu.N., Grosheva E.A., et al.* // *Astronomy Reports.* – 2007. – Vol. 51, No 2. – P. 100.
51. *Киселев А.А., Гнедин Ю.Н., Шахт Н.А., и др.* // Письма в АЖ. – 2008. – Т. 34. – С. 585.
52. *Shakht N.A., Kisselev A.A.* // *Planetary Space Sciences* No 2478. – 2008. – Vol. 56, issue 14. – P. 1903.
53. *Shakht N.A., Kisselev A.A., Chubey M.S. et al.* // Proc. of Intern. Conf. "Space Technology". – Thessaloniki, Greece, 24-26 Aug. 2009. – № 37. – 2009.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ СУБЗВЕЗД С ПЛОСКИМИ ДИСКАМИ БЕЗ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЩЕЛИ

Захожай В.А.¹, Захожай О.В.²

¹ХНУ им. В.Н. Каразина, Украина

²ГАО НАНУ, Украина

Обсуждаются кратко первые наблюдательные данные о наличии дисков у молодых звезд и субзвезд. Рассчитаны потоки излучения от субзвезд с дисками, сориентированными в картинной плоскости для масс субзвезд в интервале от $0.08 M_{\odot}$ до $0.01 M_{\odot}$ и для возрастов от 1 Мг до 30 Мг. Проанализированы влияния вариации радиуса и эффективной температуры субзвезд всех масс с возрастом 10 Мг на выполненные расчеты. Рассчитаны интервалы изменения максимумов излучения от систем и их составляющих, в зависимости от изменения их возраста и субзвездных масс.

Введение

С появлением первого двухмикронного обзора неба Нейгебауэра и Лейтона [25], появилась реальная основа для поиска у звезд околос звездных дисков по протяженным ИК- источникам и ИК- избыткам. Появились первые кандидаты, в основном, среди молодых звезд, у которых было заподозрено наличие оболочек или дисков с температурами 500–1000 К [5, 9, 16-20, 26]. Четырехцветный ИК- каталог небесных источников [27], позволил по ИК избыткам обнаружить кандидаты среди близких к Солнцу кратных звездных систем [3]. Такие исследования получили существенное развитие после запуска на околоземную орбиту космического телескопа IRAS [24]. С этого времени начались систематические исследования распределений энергии в спектрах звезд, включающие оптическую и ИК- области спектра (см., например, недавно опубликованный обзор [2]).

До конца прошлого века кандидаты ограничивались звездными объектами. В начале 2000-х годов появились первые сообщения об обнаружении ИК- избытков у субзвезд [21]. В этом ничего нет удивительного, поскольку субзвезды и звезды образуются по одному космогоническому сценарию. Поэтому, полученный наблюдательный материал начали обобщать и искать общие закономерности [10-15, 22, 23, 28].

Физические параметры этих объектов определяют из анализа распределения энергии в их спектрах излучения (от видимого до миллиметрового, а иногда и радиоизлучения), которые рассчитывают на основании различных физических моделей. По-сути, ищется решение обратной задачи, в которой закладываются определенные допущения и модели, исходя их геометрических моделей систем, физического состояния вещества диска, градиентов плотности и температуры газовой и пылевой составляющих и т.д.

Целью данной работы является проведение расчетов распределения энергии в спектрах субзвезд с дисками без центральной щели, угол наклона которых к наблюдателю равен нулю.

Постановка задачи

Разработка на протяжении 10 лет физической модели вещества недр субзвезд [4, 29], привела к созданию их новой эволюционной модели [6]. Эти модели описывают эволюцию субзвезд с массами от 0.01 до 0.08 солнечных масс и с возрастом 1 Мг – 10 Гг. Модели содержат ряд важных физических параметров субзвезд, которые можно

использовать для расчета распределения энергии в спектрах (РЭС) субзвезд и окружающих их дисках.

Алгоритм расчета РЭС таких систем принципиально ничем не отличается от расчетов РЭС молодых звезд с дисками [2, 14]. Особенностью их расчета является учет изменения радиуса и эффективной температуры субзвезд в период их ранней эволюции. Эти данные имеются в рассчитанных физических эволюционных моделях субзвезд [6], как функции их масс в пределах $M = (0.01-0.08) M_{\odot}$. Кроме этих параметров, для расчета РЭС субзвезд с дисками принимались следующие условия:

- плоский протопланетный диск расположен в картинной плоскости;
- субзвезда и диск излучают как чёрное тело;
- расстояние от Солнца до исследуемого объекта равно 10 пк;
- внутренний радиус диска равен радиусу субзвезды.

Алгоритм расчёта распределения энергии в спектрах систем

В предположении, что каждое кольцо в диске излучает чернотельно с локальной температурой, зависящей от удаления от центрального тела $T_d(r)$, а спектр излучения является суммой, потоки от дисков F_{λ} рассчитывались по формуле

$$F_{\lambda} = \Omega \frac{2hc^2}{\lambda^5} \int_{R_{in}}^{R_{out}} r B_{\lambda}(T_d(r)) dr, \quad (1)$$

где h – постоянная Планка, c – скорость света, λ – длина волны и Ω – параметр, определяющий телесный угол (и геометрию) диска

$$\Omega = \frac{2\pi}{d^2} \cos j, \quad (2)$$

d – расстояние до объекта (в наших расчётах оно принималось равным 10 пк)

j – угол между нормалью к диску и направлением к наблюдателю (для диска, видимого плашмя он равен нулю),

R_{in} и R_{out} – внутренний и внешний радиус диска, соответственно,

B_{λ} – функция Планка.

Размеры дисков рассчитывались по зависимости, полученной из анализа 107 наблюдаемых одиночных звезд главной последовательности и Т Тельца с дисками, полученной в работе [1]:

$$R_{out}(\text{а.а.}) = 150(M/M_{\odot})^{0.75}. \quad (3)$$

С учетом того, что в плоских дисках температура с увеличением расстояния изменяется по закону $\propto r^{-3/4}$ [7, 8, 14], из уравнения теплового баланса, между излучением, поступающим из субзвезды и внутренней стенкой диска, на которую падает субзвездная радиация, следует такая зависимость для температуры диска:

$$T_d(r) = T_{ef*} \left[\frac{(1-A) R_* R_{in}}{4 r^3} \right]^{1/4} = T_{ef*} \left(\frac{R_*^2}{4r^3} \right)^{1/4}, \quad (4)$$

где T_{ef*} и R_* – эффективная температура и радиус субзвезды,

A – сферическое альbedo внутреннего пояса диска, обращенного к субзвезде (в принятой модели оно равно нулю),

$R_{in} = R_*$ – внутренний радиус диска.

Результаты расчётов и их анализ

Формулы (1)-(4) были использованы для расчетов 57 распределений энергии в спектрах субзвезд с дисками, удаленных от земного наблюдателя на расстоянии 10 пк. Вычисления проводились для восьми масс субзвезд 0.01, 0.02, ..., 0.08 M_{\odot} . Для каждой

субзвезды с определенной массой рассчитывались распределения энергии в спектрах, соответствующие возрасту системы 1, 5, 10, 15, 20, 25 и 30 миллионов лет. Примеры потоков для максимальных и минимальных по массе субзвезд с возрастом в интервале 1–30 Мг приведены на рис. 1.

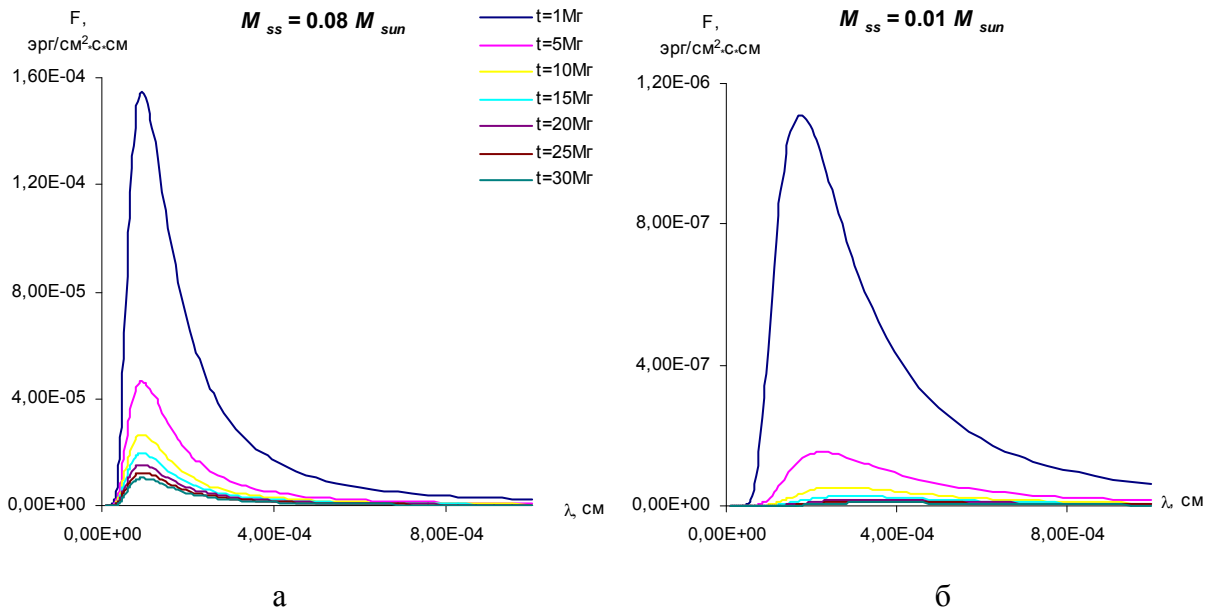


Рис. 1. Распределение энергии в спектре (потока излучения, как функции длины волны, с расстояния 10 пк) субзвезд с массами $0.08 M_{\odot}$ (а) и $0.01 M_{\odot}$ (б) и возрастом в пределах от 1 до 30 Мг (показаны различными цветами).

Каждый из рассчитанных РЭСов представляет собой сумму потоков от субзвезды и окружающего его диска. На рис. 2 приведен пример расчета избытка ИК-излучения в спектре субзвезды с массой $0.08 M_{\odot}$ и возрастом 1 Мг, вызванный наличием в системе диска. Как видно из рисунка, избыток максимален примерно в пределах от 1 до 3.5 мкм.

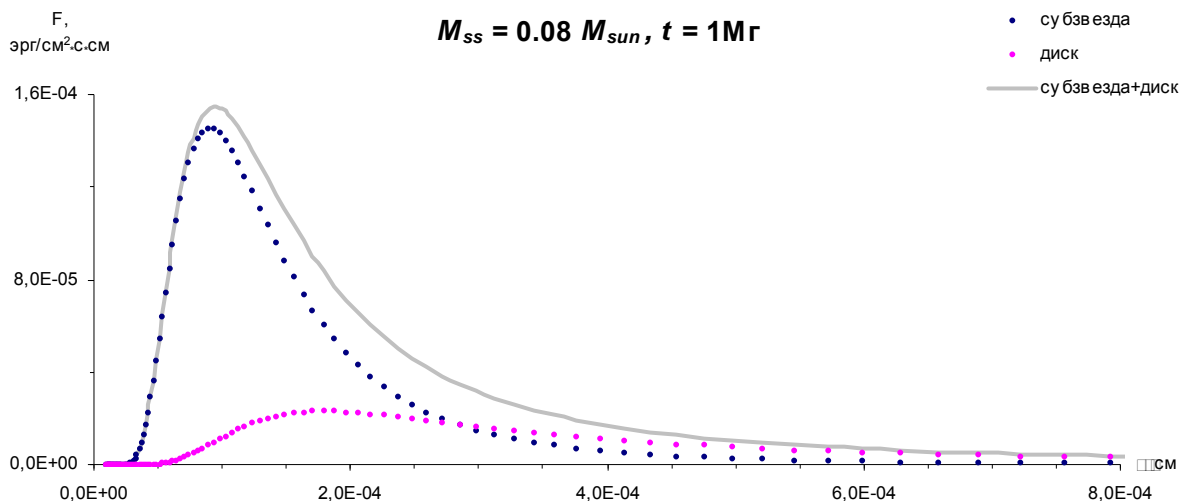


Рис. 2. Вклад излучений от субзвезды с массой $0.08 M_{\odot}$ (синие точки) и ее диска (розовые точки) в общее распределение энергии в спектре системы (показано сплошной линией).

Мы хорошо понимаем, что физические характеристики выбранных для использования моделей субзвезд [6], могут отличаться от реально существующих в природе па-

раметров. Чтобы проанализировать возможные отклонения от полученных в работе результатов расчетов РЭС, мы выполнили вычисления для небольших вариаций субзвёздных радиусов и их эффективных температур. На рис. 3 представлены примеры результатов таких расчётов для систем с субзвёздными массами $0.08 M_{\odot}$ (а, б) и $0.01 M_{\odot}$ (в, г), возраст которых 10 Мг. На рис. 3 а, в показано как будет изменяться суммарный поток (от субзвезды и диска) если радиус субзвезды будет в 2 раза больше либо в 2 раза меньше исходного. Правые рисунки демонстрируют как изменится суммарный поток, если температура центрального объекта будет изменяться в пределах $\pm 20\%$. На всех рисунках толстой красной линией обозначен суммарный поток который был получен без изменения начальных данных. Рис. 4 демонстрирует, как уменьшается максимум

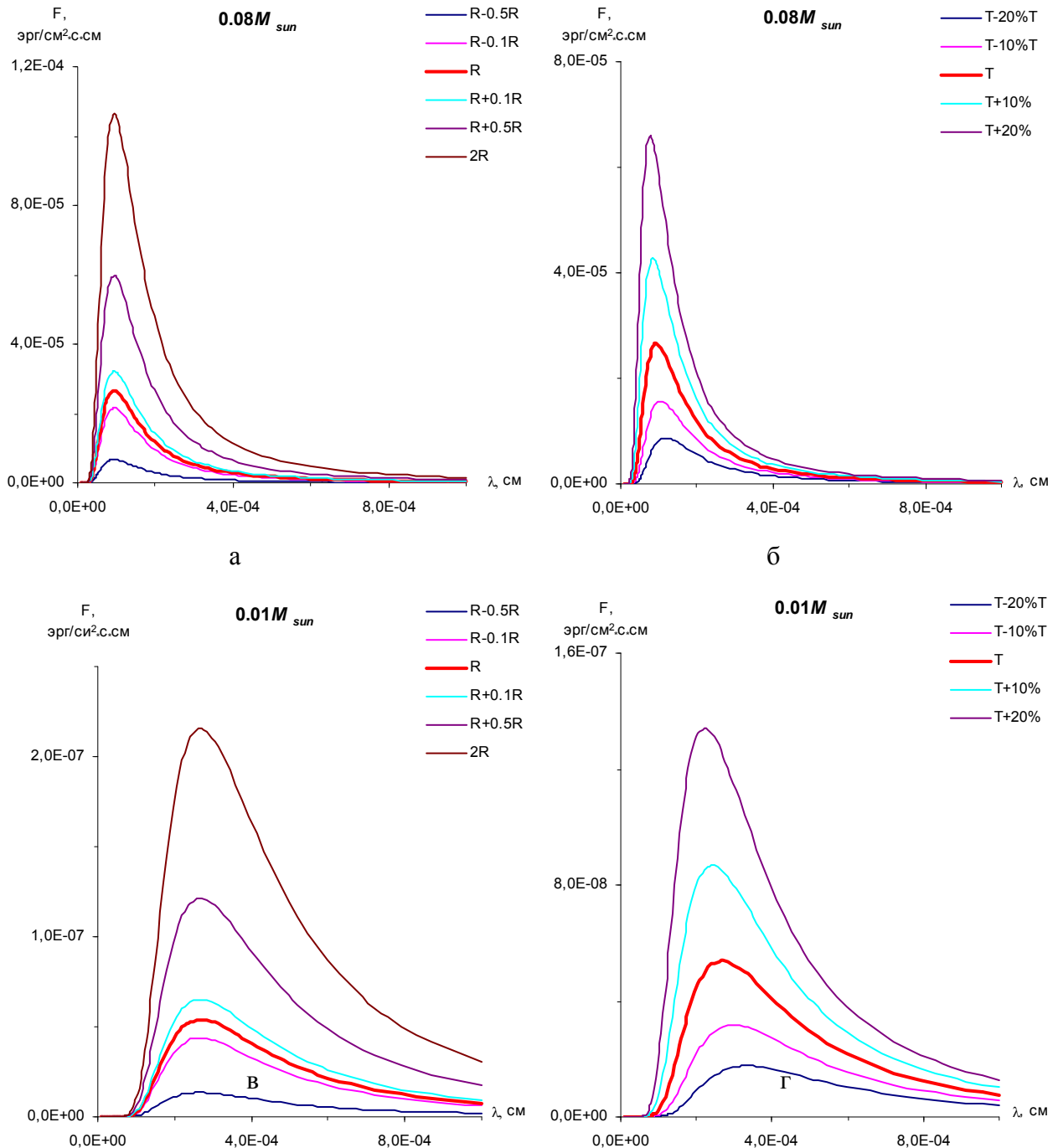


Рис. 3. Влияние вариаций радиуса и температуры на рассчитанные РЭСы систем субзвезда + диск, возраст которых 10 Мг.

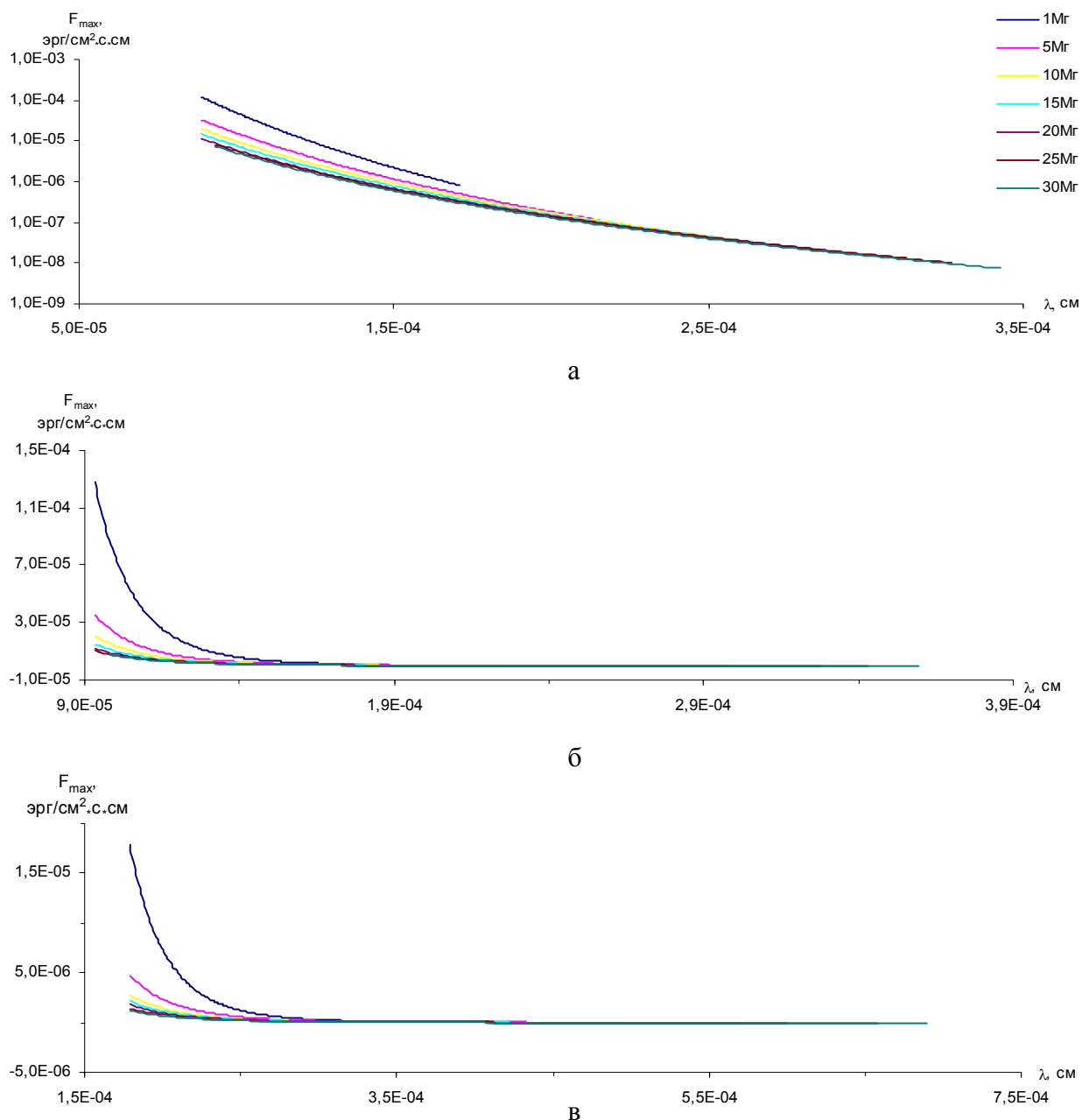


Рис. 4. Изменение максимумов потоков от систем с изменением длины волны наблюдения, возраста от 1 до 30 Мг и в зависимости от массы центральной субзвезды: а – у субзвезд, б – у суммарного потока от субзвезды и диска, в – у дисков. Подробности в тексте.

потока (в длинноволновую часть спектра) от анализируемых систем с возрастом и с уменьшением масс центральных субзвезд. Крайние левые точки всех графиков соответствуют потокам от систем с субзвездными массами центральных $0.08 M_{\odot}$, крайние правые точки – $0.01 M_{\odot}$.

Выводы

В работе получены следующие результаты:

- Рассчитаны потоки излучения от субзвезд с дисками, сориентированными в картинной плоскости. Все расчёты были выполнены для масс субзвезд от $0.08 M_{\odot}$ до $0.01 M_{\odot}$, для возрастов от 1 Мг до 30 Мг.

- Проанализированы влияния вариации радиуса и эффективной температуры субзвезд всех масс с возрастом 10 Мг на выполненные расчеты. Изменение радиуса субзвезд в 2 раза (больше и меньше) ведет к соответствующему изменению потока в 4 раза. Увеличение и уменьшение эффективных температур субзвезд на 20% ведет к увеличению потока в 3 раза и уменьшению его в 2.5 раза, соответственно.
- Рассчитаны интервалы изменения максимумов излучения от систем и их составляющих, в зависимости от изменения их возраста и субзвездных масс. Потоки изменяются в пределах:
 - для субзвезд от $9 \cdot 10^{-9}$ до $2 \cdot 10^{-4}$ эрг/см²·с·см;
 - для дисков от $1 \cdot 10^{-9}$ до $2 \cdot 10^{-5}$ эрг/см²·с·см;
 - для суммарных потоков системы субзвезда-диск от $9 \cdot 10^{-9}$ до $2 \cdot 10^{-4}$ эрг/см²·с·см;где максимальные потоки соответствуют системам с массами субзвезд $0.08 M_{\odot}$, минимальные – $0.01 M_{\odot}$.

Литература

1. *Захожай В.А.* // Вісник астроном. школи. – 2005. – Т. 4, № 2. – С. 55.
2. *Захожай В.А., Захожай О.В.* // Кинем. и физ. неб. тел. – 2010. – Т. 26, № 1. – С. 3.
3. *Захожай В.А., Рузмайкина Т.В.* // Астрон. вестн. – 1986. – Т. 20, № 2. – С. 128.
4. *Захожай В.А., Яценко А.А., Писаренко А.И.* // Кинем. и физ. неб. тел. – 1999. – Т. 15, № 3. – С. 206.
5. *Нейгебауэр Дж., Лейтон Р.* // Успехи физ. наук. – 1963. – Т. 98, вып. 2. – С. 351.
6. *Писаренко А.И., Яценко А.А., Захожай В.А.* // Астрон. журн. – 2007. – Т. 84, № 8. – С. 675.
7. *Сафронов В.С.* Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. – М.: Наука. – 1969. – 244 с.
8. *Уорд У.Р.* // В кн.: На переднем крае астрофизики. – М.: Мир. – 1979. – С. 9.
9. *Цесевич В.П.* // В кн.: Затменные переменные звезды. – М.: Наука. – 1971. – С. 209.
10. *Apai D., Luhman K., Liu M.C.* // arXiv:astro-ph/0702286v1 10 Feb 2007.
11. *Apai D., Pascucci I., Bouwman J., et al.* // Science. – 2005. – Vol. 310. – P. 834.
12. *Apai D., Pascucci I., Henning Th., et al.* // Astrophys. J. – 2002. – **573**. – L115.
13. *Apai D., Pascucci I., Sterzik M.F., et al.* // Astron. Astrophys. – 2004. – **426**. – L53.
14. *Armitage P.J.* // arXiv:astro-ph/0701485v1 16 Jan 2007.
15. *Cassen P.* // In: Extrasolar Planets. – Springer-Verlag. – Berlin, Heidelberg. – 2006. – P. 1.
16. *Gahm G.F.* // Forsch. och framsteg. – 1974, N 8. – S. 31.
17. *Gahm G.F. et al.* // Asttron. Astrophys. – 1979. – Vol. 73. – P. 4.
18. *Handbure M.J., Williams L.P.* // Astrophys. Space Sci. – 1976. – Vol. 45, No 2. – P. 439.
19. *Humphreys R.M., Strecker D.W., Ney E.P.* // Astrophys. J. – 1971. – Vol. 75, No. 5. – P. 602.
20. *Jondson H.L., Kow F.J., Steimetz D.* // Comm. LPL. – 1965. – Vol. 3, No 52-57. – P. 95.
21. *Liu M.C., Najita J., Tokunaga A.T.* // Astrophys. J. – 2003. – Vol. 585. – L372.
22. *Mohanty S., Jayawardhana R., Basri G.* // Astrophys. J. – 2005. – Vol. 626. – P. 498.
23. *Mohanty S., Jayawardhana R., Natta A., et al.* // Astrophys. J. – 2004. – Vol. 609. – L33.
24. *Neugebauer G., Habing, H. J., van Duinen, R., et al.* // Astrophys. J. – 1984. – Vol. 278. – L1.
25. *Neugebauer G., Leighton R.B.* Two-micron sky survey: A preliminary catalog. – Washington. – NASA SP - 3047. – 1969.
26. *Neugebauer G., Martz D.E., Leighton R.B.* // Astrophys. J. – 1965. – Vol. 142. – P. 399.
27. *Price S.D., Walker R.G.* // Air Force Geophysics Laboratory. – Hanscom AFB. – Massachusetts 01731.
28. *Scholz A., Jayawardhana R., Wood K.* // Astrophys J. – 2006. – Vol. 645. – P. 1498-1508.
29. *Zakhozaj V.A., Blokhina M.D., Pysarenko A.I., et al.* // Odessa Astron. Publ. – 1996. Vol. 9. – P. 173.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПУЛЬСАРНОЙ АСТРОМЕТРИИ

Илясов Ю.П., Пширков М.С.

Пуццинская Радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, Пуццино

1. Координаты

Пульсары, отождествленные с нейтронными звездами, интересны как для астрофизики, так и для астрометрии. Практически это точечные объекты, угловые размеры которых порядка 10^{-10} угл. сек. Их координаты измерены как в системе ICRF – по РСДБ – наблюдениям, так и в динамической систем – DE200 – методами хронометрирования (жаргонно – тайминг). При этом погрешности определения координат примерно одинаковые и составляют около 0,001 уг. сек. Это позволяет провести взаимную привязку двух небесных систем отсчета. Используя пульсары, координаты которых определены в РСДБ-наблюдениях, можно установить углы поворота ICRF относительно DE [1-5]. В Таблице 1 приведены эти углы поворота [1].

Таблица 1

| Углы поворота от системы DE200 к системе отсчета ICRF | | | |
|---|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Углы Эйлера | LLR&VLBI Finger, Folkner 1992 [2] | LLR&VLBI Finger et al. 1994 [3] | PSR&VLBI Rodin, Sekido 2001 [4] |
| A_x mas | $+ 1 \pm 3$ | $- 2 \pm 2$ | $- 2 \pm 2$ |
| A_y mas | $- 10 \pm 3$ | $- 12 \pm 3$ | $- 12 \pm 2$ |
| A_z mas | $- 4 \pm 5$ | $- 6 \pm 3$ | $- 17 \pm 6$ |

Наблюдения пульсаров средствами РСДБ позволило определить их собственные движения, составляющие несколько тыс. долей уг. сек. за год. [5] Хронометрирование пульсаров на годовых интервалах также выявило достаточно быстрые собственные движения некоторых нейтронных звезд – пульсаров.

Астрометрические наблюдения пульсаров имеют ряд важных астрофизических применений. Измерения собственных движений и параллаксов позволяют установить скорости пульсаров, что в свою очередь накладывает значительные ограничения на модели вспышек сверхновых, после которых осталась, как полагают, нейтронная звезда. Определения расстояний по параллаксам в сравнении с данными по мере дисперсии в межзвёздной среде позволяют получить крупномасштабную картину распределения межзвёздной плазмы в Галактике и карту магнитного поля.

2. Время

Пульсары как источники регулярных радиоимпульсов существуют миллионы лет. Различают два класса объектов. В первом находятся одиночные изолированные пульсары, как правило, период которых составляет от 0,2 до 8,7 с. Во второй класс входят быстровращающиеся пульсары, которые часто находятся в тесных звездных двойных системах. Эти, так называемые миллисекундные пульсары, имеют периоды от 1,39 до 200 мс. Сейчас их обнаружено более 200. Полагают, что такие пульсары сформировались в процессе эволюции в двойной системе, когда нейтронная звезда поглощала массу звезды-компаньона, и в процессе аккреции раскрутилась до больших угловых скоростей. При этом, поскольку первоначально пульсары были уже «на преклонном» возрасте, их магнитное поле уменьшилось на несколько порядков и составило примерно 10^4 Т (10^8 Гс).

Орбитальные периоды пульсаров в двойных системах находятся в пределах от нескольких часов до нескольких месяцев. По результатам хронометрирования их орбитальные параметры могут быть определены с высокой точностью.

Некоторые миллисекундные пульсары показывают нестабильность периода вращения менее 1 мкс за весь интервал наблюдений. Потери энергии из-за вращения у них пренебрежимо малы, поэтому изменения периода хорошо изучены и практически линейны во времени со скоростью изменения порядка 10^{-21} s/s [6].

Первые предложения рассматривать пульсары как высокостабильные опорные часы были сделаны в 1979 г [7] и опубликованы в 1984 [8].

Таким образом, пульсары могут рассматриваться как объекты в роли высокостабильных долго существующих часов, расположенных вне Солнечной системы. С их использованием могут быть построены шкалы времени как по вращательным периодам – РТ, так и по орбитальному периоду – динамическая шкала – ДРТ – (некоторая аналогия шкале Эфемеридного времени) [9].

Использование методов синхронного с периодом пульсара накопления сигналов на радиотелескопе дает возможность увеличить отношение сигнал/шум и вести уверенный прием слабых сигналов пульсаров. Как известно, сигналы пульсаров наблюдатель принимает в виде последовательности импульсов с высокостабильной периодичностью следования. Она определяется огромным запасом энергии вращения нейтронной звезды диаметром порядка 20 км и массой около 1,5 масс Солнца. К настоящему времени обнаружено около 2000 пульсаров с периодами от 1,39 мкс до 8,69 с. В двойной системе пульсар движется по орбите вокруг барицентра, общего со звездой-компаньоном, с периодами от нескольких часов (очень тесная система) до десятков суток. Оба этих движения хорошо измерены наземными методами и представляют интерес, как для фундаментальной метрологии времени, так и для тестирования эффектов ОТО.

Собственно пульсары иногда сравнивают с гигантскими «космическими маячками», периоды вращения которых определены до 12–13 знака после запятой. Международным Союзом Электросвязи (МСЭ-Р) в 2007 г. по представлению России было рекомендовано использовать реперные миллисекундные пульсары для формирования новой астрономической шкалы времени, равномерность которой на длительных интервалах от года и более превышает стабильность международной атомной шкалы времени.[10].

Как было сказано выше, высокая стабильность периода вращения пульсаров обеспечивает большую точность вычисления Момент Прихода Импульса (МПИ) в барицентр Солнечной системы (БЦ) [11]. Импульс номером N , который появится в БЦ в момент времени t , отсчитанный от t_0 , когда был импульс номером N_0 , т.е. через $\Delta t = t - t_0$

$$N = N_0 + f \times \Delta t + 1/2 f' \times \Delta t^2 + 1/6 f'' \times \Delta t^3 + O(\Delta t^4). \quad (1)$$

Здесь: f , f' и f'' – частота вращения пульсара и ее производные.

Измерения МПИ ведутся на радиотелескопе и системе регистрации накопленного интегрального импульса с отнесением его на местную шкалу времени UTC, т.е. фактически в шкале атомного времени TAI. Не вдаваясь в тонкости, можно отнести время МПИ к геоцентру Земли и шкале земного времени:

$$TT = TAI + 32,^s 184 + O(c^{-4}). \quad (2)$$

Барицентрическое время t в (1) связано [12] с наблюдаемым моментом t_s соотношением:

$$t = t_s + (\underline{k} \cdot \underline{r}_{\text{ТТ}})/c - D/f^2 + \Delta t_r \quad (3)$$

Здесь: $(\underline{k} \cdot \underline{r}_{\text{тц}})/c$ – поправка Ремера, D – мера дисперсии, Δt_r – релятивистская поправка [12] (см. Рис. 1).

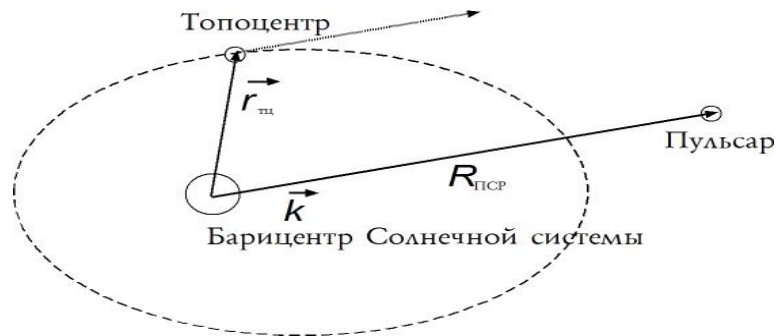


Рис. 1. Направление на пульсар в Барицентрической системе координат – БСК задаётся единичным вектором \vec{k} , положение наблюдателя – вектором $\vec{r}_{\text{тц}}$.

Сопоставляя вычисленные МПИ по (1),(2) и(3) с измеренными значениями находят Остаточные Уклонения (ОУ), которые определяются как метрологическими факторами (флуктуационные шумы, неравномерность местной шкалы времени, неточности эфемерид Солнечной системы и др.), так и собственно вариациями вращения пульсаров, а также вариациями условий распространения радиоволн от пульсара к наблюдателю. Эти временные ряды данных и представляют основную базу для анализа.

3. Ансамбль пульсаров для групповой шкалы времени

Быстро вращающиеся сильно намагниченные нейтронные звезды – пульсары – являются хранителями Пульсарного времени. Они находятся вне Солнечной системы и существуют миллионы лет. Обладая высокой стабильностью периода вращения, сравнимой или даже превосходящей стабильность лучших атомных стандартов, они, тем не менее, не могут претендовать на роль абсолютного эталона временного интервала при их вековом уменьшении угловой скорости вращения из-за потерь на излучение. Все-таки вращающийся пульсар представляет собой механическую систему. Поэтому Пульсарное время может быть комплементарным к Атомному. В настоящее время на основе Пульсарного времени поставлена задача выявить долговременные вариации метрики пространства – времени в широком смысле слова. В частности, например, попытаться оценить влияния стохастического фона гравитационных волн сверхнизких частот на МПИ пульсаров.

На Рис. 2 приведены графики дисперсии σ_z как меры стабильности пульсаров B1855+09, B1937+21 и J0437-4715 за 10 лет [13]. Как видно из Рис. 2, пульсар J0437-4715, в частности, почти на порядок более стабилен, чем атомные часы.

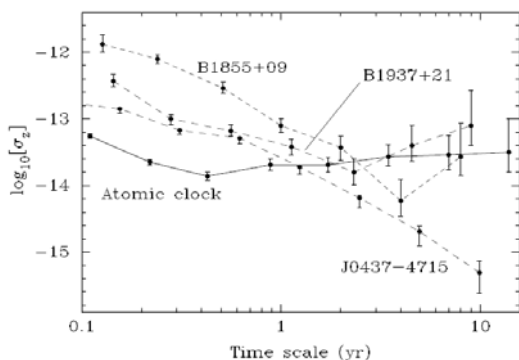


Рис. 2. Трёх выборочная вариация σ_z как мера стабильности пульсаров B1855+09, B1937+21 и J0437-4715 в сравнении со стабильностью атомных часов за 10 лет [13].

Как отмечалось в [7-8], значительное улучшение равномерности шкалы Пульсарного времени можно получить, если вести «Групповую шкалу» на основе нескольких наиболее стабильных по вращению пульсаров. Собственно Международная шкала Атомного времени (TAI) формируется также на основе ансамбля достаточно большого числа независимых квантовых хранителей времени.

В настоящее время хронометрирование ансамблей миллисекундных реперных пульсаров регулярно ведется в основных центрах мира. (сеть пульсаров – РТА) В **России** (Калязин) мониторинг 8 пульсаров (**КРТА**) ведется с **1995** г (с 2008 г – на двух частотах). В **Австралии** (Паркс) с **2005** г ведутся наблюдения «сети» из 20 реперных пульсаров (**РРТА**) на 3-х частотах (по Гранту Правительства Австралии). В **Европе** (Дж. Бэнк, Вестерборк, Эффельсберг, Нансе и Сардиния) наблюдения 15 пульсаров (**ЕРТА**) ведутся с **2004** г. на 2-3-х частотах. Важно отметить, что в национальные реперные пульсарные сети включены, в основном, общие пульсары (в Австралийской сети есть несколько пульсаров из Южного неба).

Наиболее полные результаты получены в Парксе (Австралия). Они опубликованы в [14]. Важной характеристикой временных рядов Остаточных уклонений (ОУ МПИ) очевидно является среднеквадратичное отклонение (СКО) ряда. По данным [14] видно, что оно заметно зависит от плотности потока пульсара. Корреляция СКО с другими параметрами реперной сети (мера дисперсии, меры вращения поляризации, расстояния, формы импульса и др.) достаточно слабая, если не отсутствующая вовсе. Безусловно, на «качество» временного ряда ОУ сказываются погрешности измерения Моменты прихода импульсов (МПИ) пульсара. Они зависят от плотности потока пульсара и чувствительности радиотелескопа как [15]

СКО измерения МПИ

$$\sigma_{\text{toa}} = \frac{W S_{\text{sys}}}{\langle S \rangle \sqrt{2BT}} \sqrt{W/P}. \quad (4)$$

Здесь: $\langle S \rangle$ – спектральная плотность потока пульсара (Ян)

W – полоса частот приема (Гц)

T – полное время накопления сигнала (с)

P – период пульсара (с)

W – ширина импульса пульсара по уровню 0,5 (в каталоге W50 (с))

И флуктуационная чувствительность радиотелескопа с эффективной площадью $A_{\text{эф}}$ и температурой шумов системы T_{sys} $S_{\text{sys}} = \frac{2kT_{\text{sys}}}{A_{\text{эф}}}$ – плотность потока в Ян.

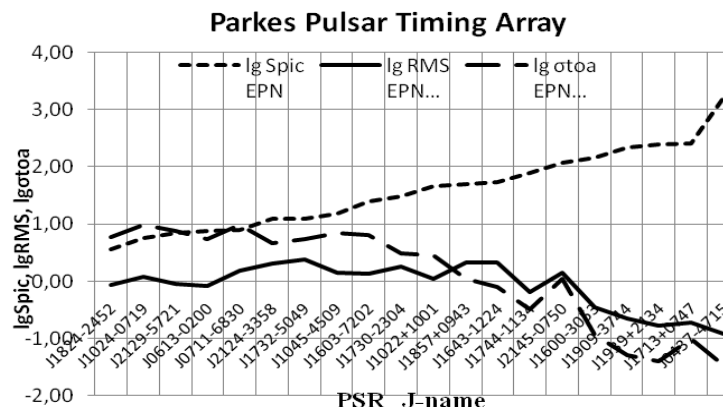


Рис. 3. Пульсары Австралийской сети – РРТА, (по оси X они расположены по номеру в порядке возрастания пиковой плотности потока – Spic. Пунктирная кривая – их пиковая плотность потока в логарифмическом масштабе).

Хорошая корреляция, как видно, наблюдается между СКО ОУ (сплошная кривая) и погрешностью $\sigma_{\text{тоа}}$ из (4) (пунктирная кривая). Как видно из Рис. 3, достигнутые СКО ОУ) пульсаров ансамбля РРТА обусловлены, прежде всего, погрешностями измерения МПИ, определяемыми, главным образом, флуктуационными шумами радиотелескопа.

Как показано в [16], формирование Групповой шкалы на основе ансамбля реперных пульсаров и оптимального алгоритма позволяет надеяться, что ее равномерность окажется на порядок лучше самого стабильного пульсара в ансамбле.

4. Заключение

В настоящее время программы по хронометрированию пульсаров ведутся во всех крупных радиоастрономических обсерваториях мира: Паркс (Австралия), Джодрел Бэнк, Вестерборк, Нансе, Эффельсберг и Сардиния (Европа), Калязин (Россия). Пульсарная астрометрия является новой ветвью радиоастрометрии. Основными задачами пульсарной астрометрии на этом этапе можно считать:

- установление связи между системами координат ICRF и DE.
- уточнение эфемерид планет солнечной системы, в особенности внешних
- создание пульсарной шкалы времени, дополнительной к существующей атомной и превосходящей её в стабильности на интервалах в несколько лет.

В заключение можно привести цитату из обращения Комиссии 31 МАС «Время» к XXVII Генеральной Ассамблее в Рио-де-Жанейро (август 2009): «Новые исследования по хронометрированию пульсаров, объединенных в реперную сеть ("Pulsar Timing Arrays") большого числа миллисекундных пульсаров, создают принципиальные основы для создания новой шкалы времени, стабильность которой превосходит лучшие шкалы Атомного времени на длительных отрезках времени и, следовательно, создает основы для проверки стабильности таких шкал. Они также чувствительны к ошибкам в эфемеридах и определению вращения Земли и, следовательно, дают новые возможности для изучения этих вопросов. Самое главное, они дают надежду на прямые измерения гравитационных волн от астрономических объектов. Это откроет следующую страницу в изучении Вселенной, и получить ограничения на разброс в теориях формирования ранней Вселенной и эволюции галактик».

Авторы выражают свою признательность В.Е. Жарову, В.А. Потапову, В.В. Орешко за плодотворные обсуждения и помощь в работе. Авторы благодарят Н.Ю. Короткову, которая провела анализ Групповой шкалы на различных моделях ансамблей реперных пульсаров.

Работы выполнялись при поддержке РФФИ: гранты 04-02-16384, 06-02-16816, а также Госконтракта с Агентством Роснауки – ГК 02.452.11.7055 и Ростехрегулирования (ВНИИФТРИ) – договор №08-2007.

Литература

1. Rodin A.E., Sekido M. Link of Reference Frames by Pulsar Timing and VLBI // Chuo Univ., Tokyo, AP-RASC Conf.Digest 2001, p.43.
2. Finger, Folkner LLR & VLBI // TDA Progr. Report JPL, CA.1992, 42–109, p. 279–289.
3. Folkner et al., LLR & VLBI // Astron&Astrophys., 1994, v.287, p.234-239.
4. Bartel N., Chandler J.P., Ratner M.I., et al. Towards a Frame-tie via Millisecond Pulsar VLBI // Astron Journ. 1996, v.112, pp.1690-1696.
5. Bartel N., Ratner M.I., Shapiro I.I et al. Pulsar Astrometry via VLBI // Astron Journ. 1985, v.90, pp. 2535–2539.
6. ITU Handbook Radio Astronomy, Second Edition// RADIOCOMMUNICATION BUREAU, GENEVA, 2003, p.123.

7. Ильин В.Г., Илясов Ю.П., Иванова Ю.Д. и др. Способ создания и хранения временных интервалов:// Авторское свидетельство № 995062 от 8.10.1982 с приоритетом 17.09.1979. (Опублик. 7.02.1983. Бюллетень № 5).
8. Ильин В.Г., Илясов Ю.П., Кузьмин А.Д. и др. Шкала пульсарного времени // Доклады АН СССР, 1984, т.275, № 4, с. 835-838.
9. Илясов Ю.П., Конейкин С.М., Родин А.Е. Астрономическая шкала времени, основанная на орбитальном движении пульсара в двойной системе. // Письма в Астрономический журнал. 1998, т. 24, № 4, с. 275-284.
10. REPORT ITU-R RA.2099. Radio observations of pulsars for precision timekeeping (Question ITU-R 205/7) // Geneva ITU-R, SG7, 2007, pp. 123.
11. Дорошенко О.В., Конейкин С.М. Алгоритм высокоточного фазового анализа наблюдений одиночных пульсаров // Астрон. журн. 1990, т. 67, с. 986-996.
12. Манчестер Р., Тейлор Дж. Пульсары // М., «Мир» 1980, с.292.
13. Lorimer D.R. Binary and Millisecond Pulsars// 2005, arXiv:astro-ph0511258v1 9Nov
14. Manchester R.N. The Parks Pulsar Timing Array Project // 2007, arXiv:astro-ph07105026v2 12 Nov
15. Cordes J.M., Kramer M., Lazio T.J.W. et al. Pulsars as tools for fundamental physics// New Astronomy Review. 2004, v.48, 1413-1438.
16. Короткова Н.Ю. Моделирование групповой шкалы пульсарного времени – в этом выпуске.

PULSAR ASTROMETRY – MODERN STATE OF THE ART

Ilyasov Yu.P., Pshirkov M.S.

Pushchino Radio Astronomical Observatory of the ASC of Lebedev Physical Inst. RAS

Pulsar astrometry is powerful tool in various areas of astronomy. Angular positions of the pulsars can be estimated both by VLBI- and Timing technique simultaneously on sub-mas level. Thus, one can tie together ICRF and DE reference frames with this level of accuracy. Precision timing of millisecond pulsars can be used in a creation of the ensemble pulsar time scale, which rivals the atomic one in stability on the long time intervals. So, pulsar time scale can be applied to estimate of a quality of atomic time scales. It is shown, that present-day level of timing noises of most reference pulsars is caused by noise level of radio telescope and receiving systems but not by pulsars itself.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЗИЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ АСТЕРОИДОВ В АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Кайзер Г.Т.

Астрономическая обсерватория Уральского государственного университета

В 2004-2006 годах в Коуровской астрономической обсерватории была проведена модернизации камеры СБГ ($F = 780$ мм, $D = 420$ мм), на которой более 30 лет проводились фотографические наблюдения, преимущественно ИСЗ. В качестве приемника излучения в прямом фокусе телескопа была установлена ПЗС-камера Alta U32 фирмы Arcee (матрица КАФ-3200 ME с полем 2184×1472 элементов, размер пиксела - 6.8 мкм). Поле зрения телескопа после модернизации составляет $61.2' \times 42.5'$.

При установке ПЗС-камеры в оптической системе телескопа была демонтирована полеспрямляющая линза и переустановлена коррекционная пластина. В дальнейшем необходимо было определить основные астрометрические параметры системы, исследовать качество формирования изображений и получить оценки точности определения положений различных объектов. Для этого были получены снимки звездного скопления М67 и обработаны с помощью программы IZMCCD, созданной в ГАО [1]. Астрометрическая редукция выполнялась методом Тернера с 6 постоянными, сферические координаты и собственные движения опорных звезд выбирались из каталогов UCAC 2, USNO и TYCHO-2.

В результате были определены фокусное расстояние телескопа – 798.7 мм (температура -13°C), масштаб снимка $1.760''/\text{px}$, экваториальные координаты 520 звезд, расположенных по всему полю снимка. По результатам сравнения полученных из наблюдений координат звезд с их каталожными значениями построены графики зависимости разностей $(O-C)_{\alpha \cos \delta}$, $(O-C)_{\delta}$ от положения определяемого объекта на снимке и звездной величины [2]. Полученные результаты показали, что при 10-секундных экспозициях на телескопе уверенно наблюдаются звезды до 17^m . Для 85% звезд точность определения экваториальных координат не хуже $0.1''-0.3''$, средние значения $(O-C)$ по обеим координатам для звезд на краю снимка примерно на $0.2''$ превышают соответствующие значения для звезд, расположенных в его середине. Ошибки определения положений слабых звезд в отдельных случаях достигают $0.5''-0.6''$. У ярких звезд также отмечается тенденция роста ошибки с увеличением яркости объекта.

Сравнение результатов редукции, полученных с различными опорными каталогами, показало, что ошибки определения положений звезд по ПЗС-снимкам телескопа СБГ обусловлены, в основном, качеством изображений и кривизной поля кадра или обобщенной дисторсией, влияние опорного каталога менее значимо.

Исследована зависимость ошибок определения положений объектов на ПЗС-снимке от модели редукции: использовались модели в виде полиномов 1, 2 и 3 степени и модель с 8-ю постоянными пластинки. Обрабатывались снимки 18 астероидов (12^m-15^m). Опорные звезды выбирались по всему полю снимка и локально, а их координаты – из каталогов UCAC2 и TYCHO2.

Результаты показывают, что ошибки определения положений астероидов по наблюдениям на телескопе СБГ в случае выбора опорных звезд по всему полю снимка почти не зависят от используемых при астрометрической обработке моделей редукции. Их средние значения примерно равны $0.15''$ по обеим координатам.

В 2007-2008 годах на СБГ проводились позиционные наблюдения астероидов с целью исследования возможностей модернизированного наблюдательного комплекса

(СБГ, ПЗС-камера, GPS-приемник) для астрометрических наблюдений астероидов, сближающихся с Землей, видимых сближений астероидов со звездами и между собой.

В результате наблюдений получены экваториальные координаты 14 астероидов, сближающихся с Землей, 16 астероидов, имеющих тесные сближения между собой, и более 20 других нумерованных и ненумерованных астероидов, имеющих блеск от 11.5^m до 18.0^m . Всего определено около 560 положений астероидов. Астрометрическая обработка наблюдений выполнялась с помощью программы IZMCCD. Эфемериды для наблюдений астероидов и разности координат типа (O-C) для оценки точности наблюдений вычислялись с помощью ПО ЭПОС [3, 4]. В таблице 1 приведены результаты обработки наблюдений. Обозначение столбцов следующее: Объект – название астероида, N – число наблюдений, $\overline{(O-C)}_{\alpha} \cos \delta$ – среднее значение разностей (O-C) по прямому восхождению, $\sigma_{\alpha}'' \cos \delta$ – ср.кв. ошибка одной разности (O-C) по прямому восхождению, $\overline{(O-C)}_{\delta}$ – среднее значение разностей (O-C) по склонению, σ_{δ}'' – ср.кв. ошибка одной разности (O-C) по склонению, Δm – диапазон наблюдаемого блеска астероида в звездных величинах.

Наблюдения показали, что при экспозиции 60 секунд на снимках получаются малые планеты до 18.0^m . Точность вычисленных по наблюдениям положений оценивалась по сходимости величин (O-C), представляющих разности координат, полученных из наблюдений, и их эфемеридных значений. На рис. 1 показано, что среднеквадратические ошибки одного наблюдения для координат малых планет, имеющих блеск $11.5^m - 15.5^m$, составляют $0.1''-0.3''$: для астероидов, имеющих блеск $16.5^m - 18.0^m$ эти ошибки, в основном, не превышают $0.5''$, в отдельных случаях они могут достигать $0.7''-1.0''$.

Таблица 1. Результаты обработки наблюдений малых планет

| Объект | N | $\overline{(O-C)}_{\alpha} \cos \delta$ | $\sigma_{\alpha}'' \cos \delta$ | $\overline{(O-C)}_{\delta}$ | σ_{δ}'' | Δm |
|----------------------------------|----|---|---------------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------|
| Нумерованные астероиды | | | | | | |
| 1866 Sisyphus | 6 | 0.01'' | 0.23'' | -0.19'' | 0.43'' | 17.0 ^m |
| 2212 Hephaistos | 11 | 0.02 | 0.13 | -0.29 | 0.10 | 14.2-14.3 |
| 3103 Eger | 20 | -0.24 | 0.32 | -0.09 | 0.24 | 15.1-15.7 |
| 4544 Xanthus | 6 | 0.07 | 0.24 | -0.47 | 0.24 | 17.5-18.3 |
| 5656 Oldfield | 14 | -0.38 | 0.17 | -0.06 | 0.23 | 15.8-16.5 |
| 41 Germania | 16 | -0.08 | 0.05 | -0.09 | 0.04 | 11.6-11.9 |
| 30 Urania | 10 | 0.02 | 0.08 | 0.00 | 0.08 | 11.2-11.6 |
| 371 Bohemia | 15 | 0.17 | 0.14 | -0.18 | 0.10 | 12.6-13.1 |
| 1734 Zhongolovich | 15 | -0.03 | 0.14 | 0.06 | 0.11 | 14.5-15.2 |
| 1154 Astronomia | 14 | -0.03 | 0.52 | 0.10 | 0.48 | 15.5-16.5 |
| 17981 1999 JZ56 | 13 | 0.11 | 0.26 | 0.01 | 0.29 | 17.4-17.9 |
| 14624 Prymachenko | 11 | -0.60 | 0.35 | -0.26 | 0.36 | 17.7-18.2 |
| 14743 2016 P-L | 13 | 0.27 | 0.33 | -0.16 | 0.39 | 17.6-18.0 |
| 4964 Kourovka | 8 | -0.22 | 0.16 | 0.28 | 0.51 | 17.1-17.6 |
| 66251 1999 GJ2 | 17 | 0.24 | 0.40 | 0.15 | 0.50 | 17.5-18.5 |
| 401 Ottilia | 8 | 0.01 | 0.10 | -0.11 | 0.06 | 14.3 |
| 9870 Maehata | 7 | 0.11 | 0.52 | -0.30 | 0.44 | 17.7-18.1 |
| 2948 Amosov | 13 | -0.20 | 0.25 | -0.17 | 0.25 | 16.5-17.1 |
| Астероиды, сближающиеся с Землей | | | | | | |
| 153591 2001 SN263 | 14 | 0.22 | 0.16 | 0.47 | 0.22 | 15.7-16.5 |
| 89830 2002 CE | 9 | 0.13 | 0.48 | 0.02 | 0.25 | 17.3-18.0 |

| | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------|----|-------|------|-------|------|-----------|
| 15498 | 1999 EQ4 | 11 | -0.06 | 0.38 | 0.37 | 0.15 | 16.7-17.1 |
| 143678 | 2003 SA224 | 10 | 0.16 | 0.42 | -0.15 | 0.22 | 17.4 |
| 35107 | 1991 VH | 18 | -0.67 | 0.08 | 0.29 | 0.13 | 16.6-17.2 |
| 137170 | 1999 HF1 | 24 | -0.10 | 0.32 | -0.29 | 0.31 | 15.5 |
| 8567 | 1996 HW1 | 46 | -0.23 | 0.08 | -0.56 | 0.09 | 13.1-13.8 |
| 188452 | 2004 HE62 | 14 | -0.57 | 0.12 | -0.36 | 0.26 | 15.7-17.4 |
| 189700 | 2001 TA45 | 7 | 0.13 | 0.21 | 0.98 | 0.18 | 17.9-18.1 |
| 6980 | Кусакamoto | 12 | -1.01 | 0.07 | -1.34 | 0.08 | 16.0-16.5 |
| 1620 | Geographos | 5 | -0.07 | 0.15 | 0.07 | 0.38 | 16.0-16.4 |
| Видимые тесные сближения астероидов | | | | | | | |
| 8076 | 1985 RV4* | 8 | -0.39 | 0.30 | 0.08 | 0.42 | 16.3-16.8 |
| 63826 | 2001 RD71 | 6 | 0.39 | 1.04 | -0.86 | 0.84 | 17.3-17.8 |
| 32986 | 1996 XQ6* | 6 | -0.32 | 0.60 | -0.22 | 0.42 | 16.7-17.1 |
| 50229 | 2000 AQ242 | 4 | 0.82 | 0.44 | 0.14 | 0.73 | 17.4-17.7 |
| 14343 | 1984 SM5* | 36 | 0.18 | 0.39 | -0.12 | 0.53 | 17.3-18.5 |
| 46580 | 1992 WP1 | 40 | -0.08 | 0.38 | 0.12 | 0.32 | 17.1-18.0 |
| 377 | Campania * | 36 | -0.05 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 12.4-12.7 |
| 9867 | 1991 VM | 21 | -0.04 | 0.12 | 0.00 | 0.14 | 16.8-17.3 |
| 844 | Leontina* | 22 | -0.01 | 0.15 | -0.25 | 0.09 | 14.3-14.7 |
| 36468 | 2000 QA23 | 7 | -0.11 | 0.36 | -0.46 | 0.28 | 17.3-18.7 |
| 11195 | Woomera* | 31 | -0.05 | 0.14 | -0.16 | 0.23 | 16.7-17.7 |
| 11978 | Makotomasako | 27 | 0.12 | 0.14 | 0.13 | 0.15 | 16.2-16.9 |

Примечание: В табл. 1 (*) обозначен первый объект из пары сближающихся между собой астероидов.

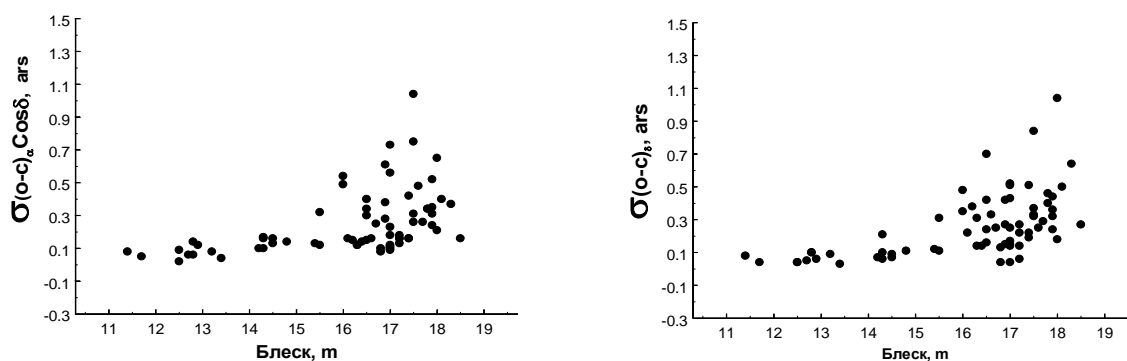


Рис. 1. Среднеквадратические ошибки (O–C) в зависимости от блеска астероидов.

Полученный опыт работы показывает, что на телескопе СБГ Коуровской астрономической обсерватории могут успешно проводиться наблюдения малых планет до 18.0^m для решения ряда задач современной астрономии.

Благодарю сотрудников Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН В.Н. Львова, И.С. Измайлова и О.П. Быкова за оказанную помощь при выполнении данной работы.

Литература

1. <http://izmccd.puldb.ru/izmccdru>
2. Г.Т. Кайзер, Д.В. Гламазда. "Позиционные наблюдения геостационарных спутников на телескопе СБГ Коуровской астрономической обсерватории Уральского госуниверситета" // «Актуальные проблемы российской космонавтики. Труды XXXI академических чтений по космонавтике: Москва, 30 января – 1 февраля 2007». С.104-105.

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

THE RESULTS OF POSITIONAL OBSERVATIONS OF ASTEROIDS IN ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF THE URAL STATE UNIVERSITY

Kaiser G.T.

In Kourovskaya astronomical observatory of the Ural state university the observations of Solar system small bodies are renewed from the end of 2006. For this purpose the telescope SBG (Shmidt, F = 798 mm, D = 420 mm) with the Apogee Alta U32 CCD-device with 2184×1472 matrix is used. The field of view of system is 40'×60'.

During the seasons of 2007–2008 about 560 equatorial positions of asteroids were determined. The error of one position of asteroids in magnitude interval 11.5–15.5^m is equal to 0.15" rising to 0.7–1.0" for fainter asteroids of 16–18^m. The catalogues UCAC-2 and TYCHO-2 were used for reference stars. The astrometric treatment of observations was executed with the help of IZMCCD program. The differences of coordinates (O–C) for an estimation of accuracy of observations of asteroids were calculated with the help of EPOS software.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОКИХ ПАР ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД В ОКРЕСТНОСТЯХ СОЛНЦА

**Киселев А.А., Романенко Л.Г., Шахт Н.А.,
Княева О.В., Грошева Е.А., Измайлов И.С.**

Главная астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

В послевоенное время (в 1960 г.) профессор А.Н. Дейч возобновил традиционную для Пулковской обсерватории со времен В.Я. Струве тему – наблюдения визуально-двойных звезд (ВДЗ). Эти наблюдения начались на только что установленном 26-дюймовом рефракторе Цейсса ($D/F = 65/1041$) фотографическим методом [1].

Первоначально наблюдалось около пятидесяти близких двойных звезд с целью определения или уточнения их орбит и близкие одиночные и двойные звезды с заподозренными невидимыми спутниками. Позднее, к началу 1980-х годов, когда мы убедились, что фотографические наблюдения на нашем рефракторе могут обеспечивать ряды высокоточных (5-10 mas) относительных положений компонент двойных звезд, удовлетворяющих условиям:

$$\rho \geq 4'', \quad (m_B - m_A) < 2mag, \quad m < 10mag,$$

по инициативе А.А. Киселева программа наблюдений была расширена за счет широких, преимущественно близких двойных звезд с целью определения их параллакс, орбит и масс.

Фотографические наблюдения на 26" рефракторе продолжались до 2007 г., в итоге были накоплены однородные ряды 420 визуально-двойных звезд (ВДЗ) программы, что составляет около 12 000 пластинок. С 1996 г. начались наблюдения с помощью ПЗС-матрицы, в программу исследований ВДЗ были добавлены более тесные и слабые пары.

В основу исследований звезд нашей программы был положен метод параметров видимого движения (метод ПВД [2, 3]), позволяющий определить орбиту двойной звезды на основе позиционных наблюдений короткой дуги порядка 5-10 градусов, если позиционные наблюдения двойной звезды дополнить определением относительной лучевой скорости ее компонент на некоторый средний момент и если известен параллакс этой звезды.

Метод ПВД стал теоретической основой многих наших исследований двойных звезд [4-11], остановимся на нем подробнее.

Метод ПВД для определения орбиты двойной звезды

Параметрами видимого движения мы называем следующие величины, характеризующие видимое орбитальное движение компонент двойной звезды, определенные на некоторый средний момент T_0 :

ρ и θ – видимое расстояние и позиционный угол компоненты В относительно А.

μ и ψ – скорость видимого движения В относительно А и ее направление.

$d\psi/d\sigma = c = 1/\rho_c$ – кривизна наблюдаемой дуги орбиты σ (ρ_c – радиус кривизны).

Дополнительно необходимо знать (или определить) лучевую скорость В относительно А ($\Delta V_r = Vr(B) - Vr(A)$) и параллакс звезды π , а также задать сумму масс компонент пары $M_A + M_B$.

По этим данным определяются вектора положения rR и скорости vV компоненты В относительно А на момент T_0 :

$$R = \{\sin\theta\cos\beta, \cos\theta\cos\beta, \pm\sin\beta\}, \quad V = \{\sin\psi\cos\gamma, \cos\psi\cos\gamma, \sin\gamma\}$$

$$r^3 = k^2(\rho\rho_c/\mu^2) |\sin(\psi-\theta)|, \quad v^2 = (\mu/\pi_i)^2 + (\Delta V_r/4.74)^2$$

$$\cos\beta = \rho/\pi_r, \quad \sin\beta = \pm (1-\cos^2\beta)^{1/2}, \quad \operatorname{tg}\gamma = (\Delta V_r/4.74)/(\mu/\pi_i)$$

где $k^2 = 4\pi^2(M_A+M_B)$ – динамическая постоянная астрочентрического движения, выраженная в (а.е.)³(год)⁻², массы компонент – M_A и M_B – выражены в массах Солнца, ΔV_r , выражена в км/с.

Здесь углы наклона векторов R и V к картинной плоскости определяются по-разному: угол β (через $\cos\beta$) – двужначен, угол γ – однозначен. Иногда, если имеются удаленные относительно T_0 наблюдения, знак угла β удается прояснить: «+», если спутник за картинной плоскостью, «-», если спутник ближе к наблюдателю.

Метод ПВД позволяет получить оценку минимальной суммы масс в системе двойной звезды, допускающей наблюдаемое движение компонент:

$$M_A + M_B \geq (\rho\mu)^2 / (4\pi^2 \rho_c \pi_i^3 |\sin(\psi-\theta)|) = M_1$$

или, если трудно определяемый параметр ρ_c неизвестен, то

$$M_A + M_B > \rho\mu^2 / (8\pi^2 \pi_i^3) = M_2$$

Эти оценки, сопоставленные с оценками, полученными согласно зависимости «масса-светимость», позволяют выявить звездные пары, обладающие заметным избытком масс в системе, иногда даже превышающем 2 массы Солнца. Среди звезд нашей программы таких звезд выявлено по крайней мере 7: ADS 497* [9], 3593 [9], 8242 [5], 10329 [6], 11061*[4], 14878 [9] и 15600*[11]. У отмеченных звезд, как оказалось, одна из компонент – спектроскопическая двойная, у остальных избыток масс выявлен уверенно. Эти звезды требуют дополнительных исследований.

Исследование орбит широких пар двойных звезд согласно наблюдениям в Пулкове.

Широкие пары визуально-двойных звезд наблюдались нами на 26" рефракторе регулярно в течение 20-40 лет. К настоящему времени орбиты получены для 44 пар двойных и кратных звездных систем, среди них для 34 звезд – впервые. Среди исследованных звезд нашей программы:

1) двойные звезды с невидимыми спутниками: ADS 5983 (δ Gem), 7251, 11632 и 14636.

2) две тройные иерархические системы : ADS 48 AB-F и ADS 10288 AB-C.

3) ВДЗ околополярной зоны неба : ADS 8100 AC, 8682, 9696 (π UMi), 10759 (ψ Dra), 11061 (41&40 Dra), 15229, 15571 и 16407.

В табл. 1 мы приводим: номер звезды по каталогу Айткена и WDS на эпоху 2000.0, визуальные звездные величины, спектральные классы компонент, угловое разделение между ними, собственное движение и лучевую скорость каждой компоненты отдельно. В скобках дана средняя скорость спектрально-двойных компонент наших визуально-двойных звезд. В примечаниях даны также названия ярких звезд и пометка о спектральной двойственности. Как видим, в основном, исследуемые звезды - карлики поздних спектральных классов от F до M. Собственные движения и лучевые скорости компонент свидетельствуют об их физической связи.

В табл. 2 даны элементы полученных ПВД-орбит (a , P и e), M – динамические массы компонент в единицах массы Солнца, π_i – тригонометрические параллаксы Гиппакоса (кроме динамических, отмеченных звездочкой), (l_0, b_0) – галактические координаты полюса орбиты, I_{II} – галактическая долгота периастра, W – вес орбиты. Если орбита определяется однозначно, ее вес – 2. Если определяются два решения, то каждый вариант ($\beta > 0$ и $\beta < 0$) имеет вес 1. Орбиты с весом 2 и периодом до 2000 лет определены наиболее уверенно.

Таблица 1. Общие данные об исследуемых визуально-двойных и кратных звездах.

| ADS | WDS | m_v | Sp | M_{Sp} | ρ | μ_x | μ_y | Vr | Notes |
|--------|------------|-------|--------|----------|--------|---------|---------|---------|--------------|
| 48A | 00057+4549 | 8.3 | K6V | 0.63 | | +877 | -127 | +0.8 | |
| B | | 8.3 | M0V | 0.47 | 6.0 | +877 | -189 | -2.2 | |
| F | | 9.5 | M2V | 0.39 | 327. | +860 | -140 | -1.0 | |
| 497A | 00360+3000 | 7.9 | G4V+ | 0.96 | | +186 | -408 | (-60.9) | сп.дв. |
| B | | 8.7 | G7V | 0.83 | 6.1 | +181 | -399 | -60.0 | |
| 2427A | 03161+5810 | 9.5 | M2V | 0.39 | | +431 | -325 | +21.2 | |
| B | | 9.8 | M2V | 0.39 | 4.8 | +431 | -325 | +21.6 | |
| 2757A | 03469+4129 | 8.2 | K1V | 0.77 | | +599 | -1267 | +50.2 | |
| B | | 8.7 | K2V | 0.73 | 7.5 | +599 | -1267 | (+50.8) | сп.дв. |
| 3593A | 05013+5015 | 8.7 | G5 | (0.9) | | +017 | -016 | -7.3 | |
| B | | 8.7 | G | (0.9) | 4.2 | -008 | -025 | -7.0 | |
| 5436A | 06483+5543 | 6.0 | F6V | 1.24 | | +059 | -105 | +5.7 | |
| B | | 6.0 | F5V | 1.3+ | 4.6 | +059 | -105 | (+7.9) | сп.дв. |
| 5983A | 07202+2159 | 3.2 | F0IV | (1.0) | | -019 | -008 | +2.6 | δ Gem |
| B | | 8.2 | K6V | 0.63 | 6.0 | --- | --- | +2.2 | |
| 6646A | 08165+7930 | 7.6 | F4V | 1.90 | | -052 | -068 | (-6.7) | сп.дв. |
| B | | 7.9 | F7V | 1.20 | 20.8 | -052 | -068 | -6.6 | |
| 6783A | 08243+4457 | 7.2 | G0V | 1.10 | | -067 | -179 | +7.9 | |
| B | | 8.7 | K0V | 0.78 | 29.2 | -070 | -174 | +7.8 | |
| 7251A | 09144+5241 | 7.4 | M0V | 0.47 | | -1534 | -563 | +10.5 | |
| B | | 7.4 | M0V | 0.47 | 17.6 | -1551 | -656 | +11.9 | |
| 8002A | 10596+2527 | 8.5 | K0 | (0.8) | | -187 | -070 | -3.0 | |
| B | | 8.9 | --- | (0.5) | 5.2 | --- | --- | -3.3 | |
| 8100A | 11152+7329 | 7.0 | K5 | (0.7) | | -404 | +112 | +8.4 | |
| C | | 11. | M0 | (0.5) | 6.6 | -400 | +111 | --- | |
| 8236A | 11366+5609 | 7.3 | G3V | 0.98 | | -176 | -100 | -16.9 | |
| B | | 7.8 | G7V+ | 1.50 | 6.1 | -176 | -088 | (-13.9) | сп.дв. |
| 8242A | 11373+4728 | 9.5 | K4V | 0.72 | | +100 | -020 | --- | сп.дв. |
| B | | 9.8 | M0V | 0.47 | 1.4 | --- | --- | --- | |
| 8250A | 11387+4507 | 5.9 | G0V | 1.10 | | -594 | +015 | -17.3 | |
| B | | 8.0 | --- | (0.5) | 9.2 | -571 | -001 | (-18.9) | сп.дв. |
| 8682A | 12492+8325 | 4.9 | AIIIsh | (2.5) | | -028 | +018 | +2.3 | |
| B | | 5.4 | A0V+ | 3.2+ | 21.5 | -022 | +016 | (+1.0) | сп.дв. |
| 8861A | 13195+3508 | 9.0 | M1V | 0.43 | | +388 | -779 | (-8.1) | сп.дв. |
| B | | 10. | M3V | 0.32 | 17.7 | +380 | -783 | -4.6 | |
| 9031A | 13491+2659 | 7.2 | K4V | 0.71 | | -427 | -090 | -19.3 | |
| B | | 7.5 | K6V | 0.63 | 3.5 | -470 | -092 | --- | |
| 9090A | 14025+4620 | 9.0 | M3 | (0.4) | | +554 | -050 | -41.6 | |
| B | | 9.0 | M3 | (0.4) | 3.6 | --- | --- | -41.3 | |
| 9167A | 14131+5520 | 8.2 | K2V+ | 1.53 | | -338 | -006 | (-20.5) | сп.дв. |
| B | | 8.5 | K2V | 0.82 | 2.6 | -350 | -018 | -22.7 | |
| 9173A | 14135+5147 | 5.1 | A7V | 2.0 | | +061 | -011 | -23.0 | κ Boo |
| B | | 7.2 | F1V | 1.6 | 13.6 | +065 | -004 | -21.5 | |
| 9346A | 14410+5757 | 7.0 | K0IV | 1.3 | | +139 | -162 | -14.6 | |
| B | | 8.0 | G5IV | 1.2 | 7.5 | +144 | -167 | -13.9 | |
| 9559A | 15155+3319 | 3.2 | G8III | 2.63 | | +85 | -111 | -12.6 | δ Boo |
| B | | 7.4 | G0V | 1.1 | 105. | +84 | -110 | -12.3 | |
| 9696A | 15292+8027 | 6.1 | G0IV | >1.5 | | -225 | +108 | -16.6 | π UMi |
| B | | 7.0 | G5 | (0.9) | 31.4 | -217 | +108 | -16.2 | |
| 9701A | 15348+1032 | 3.0 | F0IV | >1.7 | | -073 | +003 | --- | δ Ser |
| B | | 4.0 | F0s | (1.7) | 4.0 | -073 | +003 | --- | |
| 10044A | 16242+3702 | 7.8 | K0IV | >0.8 | | -104 | +011 | (-51.5) | сп.дв. |

| | | | | | | | | | |
|--------|------------|-----|-------|-------|------|-------|-------|---------|--------------|
| B | | 8.0 | G6IV | >1.5 | 8.3 | -104 | +011 | -51.8 | |
| 10288A | 16579+4722 | 8.0 | K0V | 0.80 | | -147 | +272 | -7.1 | |
| B | | 11. | --- | (0.4) | 4.9 | -147 | +272 | -8.0 | |
| C | | 7.9 | K0V | 0.80 | 113. | -139 | +262 | -7.6 | |
| 10329A | 17033+5935 | 8.0 | K4V | 0.72 | | -357 | +241 | -72.0 | |
| B | | 9.2 | M0 | (0.5) | 12.0 | -365 | +253 | -71.1 | |
| 10345A | 17054+5427 | 5.0 | F7V | 1.2 | | -066 | +074 | -14.7 | μ Dra |
| B | | 5.1 | F5 | (1.3) | 2.2 | -104 | +107 | -15.7 | |
| 10386A | 17101+5429 | 8.0 | K8V | 0.51 | | +086 | -105 | +2.7 | |
| B | | 8.3 | K8V | 0.51 | 22.2 | +088 | -105 | +1.7 | |
| 10759A | 17419+7209 | 4.0 | F5IV | 1.78 | | +027 | -270 | -12.9 | ψ Dra |
| B | | 5.2 | F8V | 1.15 | 30.1 | +035 | -274 | -11.2 | |
| 11061A | 18002+8000 | 5.4 | F5V | 1.28 | | +047 | +124 | (+5.8) | сп.дв. |
| B | | 6.1 | F5V | 1.28 | 19.1 | +054 | +130 | (+5.8) | сп.дв. |
| 11632A | 18433+5933 | 8.2 | M4V | 0.26 | | -1327 | +1802 | -2.0 | |
| B | | 8.7 | M5V | 0.21 | 14.1 | -1393 | +1845 | +0.7 | |
| 12169A | 19121+4951 | 6.0 | G5V | 0.93 | | -205 | +624 | -41.3 | |
| B | | 6.5 | G5V | 0.93 | 8.0 | -181 | +631 | -41.7 | |
| 12815A | 19418+5032 | 5.1 | G2V | 1.00 | | -148 | -159 | -27.8 | 16Cyg |
| B | | 5.3 | G5V | 0.93 | 39.3 | -135 | -164 | -28.2 | |
| 14636A | 21069+3845 | 5.2 | K5V | 0.69 | | +4155 | +3258 | -66.5 | 61Cyg |
| B | | 6.0 | K7V | 0.56 | 28.2 | +4107 | +3144 | -65.3 | |
| 14878A | 21200+5259 | 7.1 | G5V | 0.93 | | -025 | +082 | +31.0 | |
| B | | 7.1 | G5V | 0.93 | 6.3 | -032 | +046 | +29.0 | |
| 15229A | 21370+8255 | 8.5 | G5 | (0.9) | | -007 | -058 | -61.6 | |
| B | | 9.0 | --- | | 3.0 | -008 | -068 | -59.0 | |
| 15571A | 21582+8252 | 6.2 | F6IV | 1.7 | | -129 | -074 | -22.2 | |
| B | | 7.0 | F5+F6 | 1.3+ | 13.7 | -132 | -040 | (-15.5) | сп.дв. |
| 15600A | 22038+6438 | 4.6 | A3m | 2.5 | | +215 | +089 | --- | ζ Ceph |
| B | | 6.5 | F8s | 1.1 | 7.0 | +202 | +086 | --- | |
| 16407A | 22567+7830 | 7.3 | G8IV | 1.3 | | -130 | -031 | -22.3 | |
| B | | 8.5 | F8 | (1.2) | 5.2 | -131 | -046 | -24.6 | |
| 16558A | 23100+3651 | 6.5 | K4III | 2.3 | | +015 | -003 | +9.1 | |
| B | | 7.0 | K2 | (0.8) | 67.1 | +003 | -001 | +8.2 | |

Таблица 2. Элементы ПВД-орбит исследуемых звездных пар и их ориентация в галактической системе координат (распределение по периодам).

| N | ADS | β^0 | a, а.е. | P, лет | e | M | π_t'' | l_0^0 | b_0^0 | l_{π}^0 | W |
|----|-------|-----------|---------|--------|-----|-----|-----------|---------|---------|-------------|---|
| 1 | 9031 | 0 | 33 | 158. | .44 | 1.4 | .075 | 242 | -33 | 142 | 2 |
| 2 | 8242 | 47 | 68 | 280. | .41 | 4.0 | .028 | 14 | -25 | 275 | 2 |
| 3 | 9090 | -64 | 47 | 330. | .98 | 1.0 | .089 | 310 | -6 | 352 | 1 |
| 3 | " | 64 | 47 | 330. | .98 | 1.0 | .089 | 146 | -40 | 283 | 1 |
| 4 | 10288 | 19 | 50 | 340. | .83 | 1.1 | .056 | 198 | -3 | 286 | 2 |
| 5 | 48 | 26° | 71 | 510. | .22 | 1.4 | .087 | 245 | -9 | 331 | 2 |
| 6 | 15229 | -52 | 82 | 530. | .74 | 2.0 | .040 | 205 | 72 | 122 | 2 |
| 7 | 2427 | -44 | 61 | 540. | .49 | 0.8 | .074 | 148 | 47 | 51 | 1 |
| 7 | " | 44 | 61 | 540. | .57 | 0.8 | .074 | 154 | -42 | 280 | 1 |
| 8 | 5983 | -54 | 95 | 590. | .73 | 2.5 | .061 | 358 | 42 | 170 | 2 |
| 9 | 14636 | -26 | 79 | 620. | .50 | 1.3 | .286 | 305 | 33 | 135 | 2 |
| 10 | 10345 | -35 | 110 | 690. | .46 | 2.8 | .037 | 118 | 20 | 72 | 2 |
| 11 | 8002 | -39 | 84 | 740. | .36 | 1.1 | .061 | 147 | -69 | 170 | 1 |
| 11 | " | 39 | 84 | 730. | .32 | 1.1 | .061 | 24 | -25 | 171 | 1 |
| 12 | 9701 | 20 | 144 | 830. | .54 | 4.3 | *020 | 262 | 70 | 189 | 2 |
| 13 | 15600 | 15 | 144 | 860. | .89 | 4.0 | .032 | 129 | 3 | 218 | 2 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|----------|-----|-------|--------|-----|-----|------|-----|-----|-----|---|
| 14 | 9167 | 46 | 138 | 1300. | .24 | 2.0 | .026 | 51 | -59 | 332 | 2 |
| 15 | 2757 | -3 | 126 | 1090. | .89 | 1.7 | .041 | 313 | 1 | 325 | 1 |
| 15 | " | 3 | 126 | 1090. | .87 | 1.7 | .041 | 304 | 4 | 334 | 1 |
| 16 | 11632 | 52 | 97 | 1100. | .43 | .68 | .282 | 323 | 28 | 319 | 2 |
| 17 | 10329 | 0 | 178 | 1200. | .71 | 4.5 | .040 | 63 | 19 | 317 | 2 |
| 18 | 7251 | -30 | 166 | 2000. | .25 | 1.1 | .162 | 297 | -62 | 258 | 2 |
| 19 | 8236 | 0 | 198 | 1800. | .38 | 2.5 | .023 | 206 | 8 | 125 | 2 |
| 20 | 497 | 0 | 237 | 1900. | .53 | 3.5 | .019 | 148 | -41 | 162 | 2 |
| 21 | 9346 | 0 | 217 | 2000. | .46 | 2.5 | *024 | 309 | -48 | 284 | 2 |
| 22 | 5436 | -38 | 233 | 2200. | .89 | 2.6 | .021 | 86 | -1 | 174 | 1 |
| 22 | " | 38 | 233 | 2200. | .30 | 2.6 | .021 | 73 | 11 | 344 | 1 |
| 23 | 8100ac | -63 | 242 | 3800. | .54 | 1.0 | .068 | 331 | 18 | 63 | 1 |
| 23 | " | 63 | 242 | 3800. | .42 | 1.0 | .068 | 94 | -70 | 229 | 1 |
| 24 | 8861 | -42 | 314 | 3900. | .33 | 2.0 | .076 | 228 | -30 | 278 | 1 |
| 24 | " | 42 | 314 | 3900. | .50 | 2.0 | .076 | 315 | -35 | 96 | 1 |
| 25 | 9696 | -15 | 398 | 4100. | .90 | 3.6 | .045 | 345 | 19 | 234 | 1 |
| 25 | " | 15 | 398 | 4100. | .97 | 3.6 | .045 | 341 | -4 | 253 | 1 |
| 26 | 12169 | -38 | 317 | 4200. | .55 | 1.8 | .042 | 43 | -19 | 185 | 1 |
| 26 | " | 38 | 317 | 4200. | .65 | 1.8 | .042 | 129 | 36 | 132 | 1 |
| 27 | 8250 | -7 | 333 | 4800. | .48 | 1.6 | .043 | 139 | 31 | 266 | 1 |
| 27 | " | 7 | 333 | 4800. | .38 | 1.6 | .043 | 126 | 31 | 246 | 1 |
| 28 | 9173 | -22 | 538 | 6100. | .40 | 4.2 | .021 | 172 | 2 | 83 | 2 |
| 29 | 10759 | 0 | 689 | 10000. | .28 | 3.4 | .045 | 356 | -70 | 82 | 2 |
| 30 | 10386 | -38 | 616 | 15000. | .38 | 1.0 | .049 | 92 | -20 | 21 | 1 |
| 30 | " | 38 | 616 | 15000. | .56 | 1.0 | .049 | 136 | 15 | 204 | 1 |
| 31 | 6783 | -38 | 793 | 16000. | .87 | 1.9 | .027 | 286 | 18 | 78 | 1 |
| 31 | " | 38 | 793 | 16000. | .94 | 1.9 | .027 | 95 | -29 | 17 | 1 |
| 32 | 14878 | -38 | 2000 | 18000. | .97 | 25. | *006 | 32 | -34 | 39 | 1 |
| 32 | " | 38 | 2000 | 18000. | .54 | 25. | *006 | 179 | 24 | 76 | 1 |
| 33 | 15571 | -32 | 1100 | 19000. | .53 | 3.4 | .025 | 128 | -25 | 203 | 1 |
| 33 | " | 32 | 1100 | 19000. | .53 | 3.4 | .025 | 82 | -11 | 194 | 1 |
| 34 | 6646 | 0 | 1071 | 20000. | .48 | 3.2 | .014 | 314 | -27 | 236 | 2 |
| 35 | 16407 | -38 | 1027 | 20000. | .68 | 2.6 | .011 | 17 | 28 | 136 | 1 |
| 35 | " | 38 | 1027 | 20000. | .70 | 2.6 | .011 | 16 | 29 | 285 | 1 |
| 36 | 3593 | -46 | 4810 | 49000. | .88 | 46. | .010 | 22 | 3 | 293 | 1 |
| 36 | " | 46 | 4810 | 49000. | .88 | 46. | .010 | 292 | -12 | 201 | 1 |
| 37 | 10044 | -38 | 1850 | 50000. | .48 | 2.5 | .010 | 136 | 68 | 232 | 1 |
| 37 | " | 38 | 1850 | 50000. | .59 | 2.5 | .010 | 27 | 16 | 271 | 1 |
| 38 | 8682 | -38 | 2850 | 56000. | .11 | 7.5 | .011 | 253 | 26 | 193 | 1 |
| 38 | " | 38 | 2850 | 56000. | .92 | 7.5 | .011 | 244 | -21 | 338 | 1 |
| 39 | 10288abc | -28 | 1982 | 64000. | .33 | 1.9 | .056 | 14 | 43 | 33 | 1 |
| 39 | " | 28 | 1982 | 64000. | .64 | 1.9 | .056 | 72 | 10 | 357 | 1 |
| 40 | 9559 | -38 | 2768 | 76000. | .99 | 3.7 | .028 | 312 | -12 | 263 | 1 |
| 40 | " | 38 | 2768 | 76000. | .73 | 3.7 | .028 | 333 | -10 | 241 | 1 |
| 41 | 16558 | 0 | 3317 | 110000 | .75 | 3.1 | *041 | 44 | -26 | 141 | 2 |
| 42 | 12815 | -38 | 3277 | 130000 | .97 | 2.0 | .047 | 69 | -22 | 32 | 1 |
| 42 | " | 38 | 3277 | 130000 | .70 | 2.0 | .047 | 156 | 1 | 66 | 1 |
| 43 | 48 ab-f | -38 | 3218 | 133000 | .49 | 1.9 | .087 | 269 | -63 | 172 | 1 |
| 43 | " | 38 | 3218 | 133000 | .98 | 1.9 | .087 | 324 | -26 | 244 | 1 |
| 44 | 11061 | -31 | 10000 | 450000 | .94 | 5.0 | .019 | 347 | -64 | 232 | 1 |
| 44 | " | 31 | 10000 | 450000 | .95 | 5.0 | .019 | 273 | 15 | 180 | 1 |

Как видим, многие из приведенных орбит имеют периоды обращения 2000 лет (и более) при неопределенном знаке угла β . Однако статистика ориентации полюсов ор-

бит в системе галактических координат выявляет неслучайное распределение b_Q – широты полюсов орбит – для широких пар. В первом столбце табл.3 в скобках приводится число пар, во втором и третьем дан суммарный вес доли выборки, в скобках - проценты.

Таблица 3. Распределение галактической широты полюсов ПВД-орбит.

| Выборка | $ b_Q < 30^\circ$ | $ b_Q > 30^\circ$ |
|---|--------------------|--------------------|
| | вес | вес |
| Тесные пары (19) : $a < 200$ а.е., $P < 2000$ лет | 20 (53%) | 18 (47%) |
| Широкие пары (25) : $a > 200$ а.е., $P > 2000$ лет | 34 (68%) | 16 (32%) |
| Все исследованные пары (44) | 54 (61%) | 34 (39%) |

Обращаем внимание на то, по-видимому, неслучайное обстоятельство, что орбиты большинства широких пар круто наклонены ($|b_Q| \leq 30^\circ$) к галактической плоскости, что подтверждает вывод, сделанный в нашем предыдущем исследовании [12].

Авторы надеются продолжить исследование широких пар двойных звезд, привлекая результаты наблюдений более слабых и тесных пар, полученных с помощью ПЗС-матрицы.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 09-02-00267-а и 09-02-00419-а.

Литература

1. *А.Н. Дейч, А.А. Киселев, Г.А. Плюгин, В.А. Соколова.* // Изв. ГАО №176, с.124-137 (1965).
2. *А.А. Киселев, О.В. Кияева.* // Астрон. ж., т.57, с.1227-1241 (1980).
3. *А.А. Киселев.* Теоретические основания фотографической астрометрии. / Москва, Наука, 262 с. (1989).
4. *А.А. Киселев, Л.Г. Романенко.* // Астрон. ж., т.73, №6, с.875-882 (1996).
5. *А.А. Киселев, Л.Г. Романенко, И.С. Измайлов, Е.А. Грошева.* // Изв. ГАО в Пулкове №214, с.239-254 (2000).
6. *А.А. Киселев, О.В. Кияева.* // Письма в Астрон.ж., т.29, с.46-49 (2003).
7. *А.А. Киселев, Е.А. Грошева.* // Труды ГАИШ, т.LXXVIII, с.64 (2005).
8. *D.L. Gorshanov, N.A. Shakht, A.A. Kisselev.* // Astrophysics, v.49, p.386-396 (2006).
9. *А.А. Киселев, Л.Г. Романенко, О.А. Калиниченко.* // Астрон. ж., т.86, №2, с.148-157 (2009).
10. *О.В. Кияева, Н.А. Горыня, И.С. Измайлов.* // Письма в Астрон. ж., 2010, в печати.
11. *О.В. Кияева, И.С. Измайлов.* // Известия ГАО в Пулкове, №216, с.191-201 (2002).
12. *А.А. Kisselev, L.G. Romanenko.* // Astron. Soc. Pacific, Conf. Ser., v.316, p.250-254 (2004).

A DYNAMICAL STUDY OF WIDE BINARY STARS IN THE NEIGHBOURHOOD OF THE SUN

Kisselev A.A., Romanenko L.G., Shakht N.A., Kiyayeva O.V., Grosheva E.A., Izmailov I.S.
The Central Astronomical Observatory of RAS, St.-Petersburg

We present our astrometric and dynamical studies of the relative motions of the components of 42 wide ($\rho > 5''$) binary and multiple stars. The analysis is based on the series of photographic observations made with the 26-inch refractor at Pulkovo in 1960–2007, supplemented by the data from the WDS Catalog, radial velocities and HIPPARCOS parallaxes. We used the method of apparent motion parameters (AMP), which makes it possible to derive the orbit and mass of a binary from observations made within a short ($5\text{--}10^\circ$) orbital arc. As a result, we obtained orbital elements and mass estimates for all 42 stars, including 25 binaries with revolution periods reaching 2000–400 000 years. The mass excess of two solar masses or higher has been found for 7 binaries. We have calculated the orientation of the orbits in the galactic reference frame and found that most of the wide binary orbits are steeply inclined to the plane of the Galaxy.

ВОЗМОЖНЫЕ НЕВИДИМЫЕ СПУТНИКИ В СИСТЕМАХ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД ADS 7446 И ADS 9701

Княева О.В.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

Предположение о том, что данные звезды могут иметь невидимые спутники, возникло у нас в результате обработки наблюдений, выполненных на пулковском 26-дюймовом рефракторе. Данные о спектрах, светимости и параллаксах согласно каталогу Гиппаркос и Тихо представлены в таблице 1.

Таблица 1. Данные о звездах.

| ADS | WDS | Hip | SP | mBT [mag] | mVT [mag] | ρ_{Hip} ["] |
|-------------|------------|-------|---------------|--------------|--------------|----------------------------|
| 7446 A B | 09379+7305 | 47260 | F1 IV F2 V | 7.39 7.61 | 7.04 7.23 | 0.0144 ± 0.0011 |
| 9701 A B | 15348+1032 | 76276 | F0 IV F0 | 4.43 5.44 | 4.15 5.16 | 0.0155 ± 0.0008 |

Визуально-двойная звезда **ADS 7446** наблюдается с 1833 года, в каталоге WDS имеется 78 положений, но разнородные наблюдения, выполненные на разных телескопах, образуют ряд, отягощенный систематическими ошибками этих телескопов и дающий разброс относительных положений более 0.3".

В Пулковской обсерватории фотографические наблюдения данной звезды проводились с 1962 по 1999 год, получено 94 относительных положения. Средние ошибки среднегодового положения по внутренней сходимости внутри одного сезона: $\varepsilon_{1\rho} = 0.007''$, $\varepsilon_{1\theta} = 0.05^\circ$ (0.005"), ошибки одного среднегодового положения по внешней сходимости (при выравнивании всего ряда): $\sigma_{1\rho} = 0.014''$, $\sigma_{1\theta} = 0.15^\circ$ (0.013"). Обращаем внимание на то, что отношение ошибок по внешней и внутренней сходимости равно соответственно 2 и 3, что дает основание думать о возможном возмущении в движении звезды. На рис. 1 представлен ряд относительных положений, полученный на 26-дюймовом рефракторе, в зависимости от времени – расстояния между компонентами ρ (рис. 1а) и позиционные углы θ (рис. 1б). Равномерное орбитальное движение звезды на этом участке представляется следующими параметрами видимого движения в средний момент времени наблюдений $t_0 = 1985.0$:

$$\begin{aligned} \rho &= 4.940 \pm 0.002 \text{ ["} \\ \theta &= 127.16 \pm 0.02 \text{ [}^\circ\text{]} \\ \mu &= 0.0063 \pm 0.0002 \text{ ["/год]} \\ \psi &= 43.2 \pm 2.0 \text{ [}^\circ\text{]} \end{aligned}$$

Здесь μ – относительная скорость, ψ – позиционный угол направления движения [1].

На рис. 1б заметно возмущение в позиционном угле. Мы определили период этих возмущений, равный 7.9 года, и по невязкам относительно равномерного орбитального движения определили вероятные орбиты фотоцентра с заданными значениями эксцентриситета, которые представлены в таблице 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. Алгоритм определения орбиты фотоцентра в случае, когда возмущения определяются только в одном направлении, описан в работе [2].

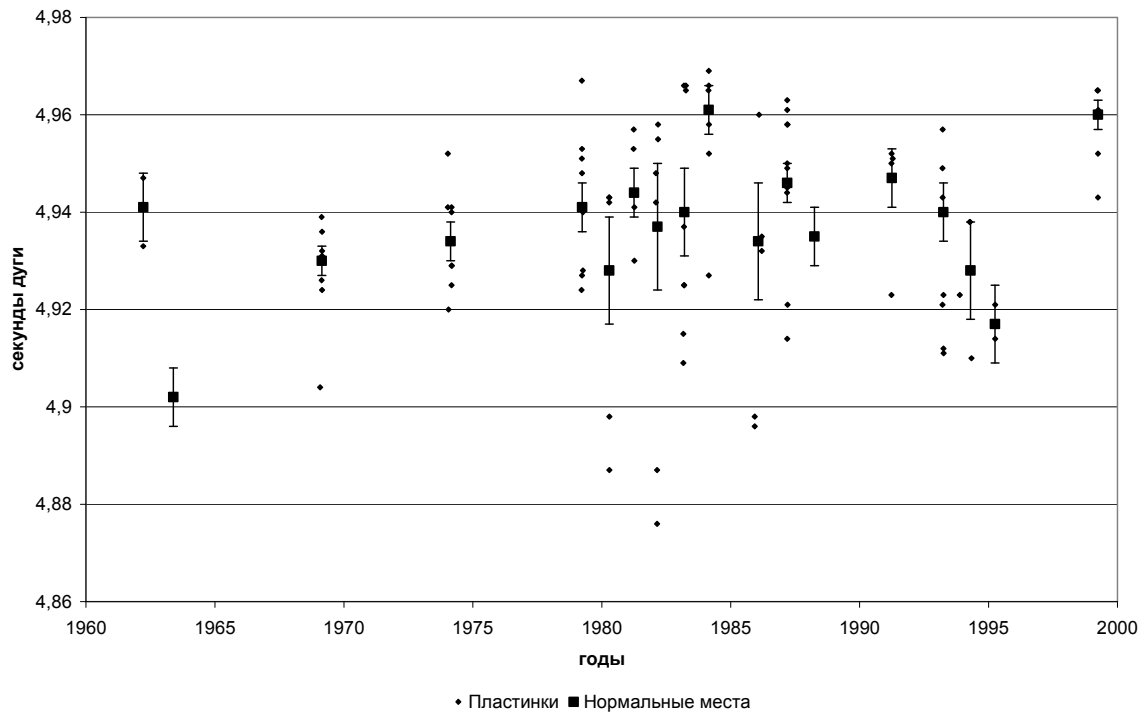


Рис. 1а. ADS 7446. Наблюдения на 26-дюймовом рефракторе: $\rho(t)$.

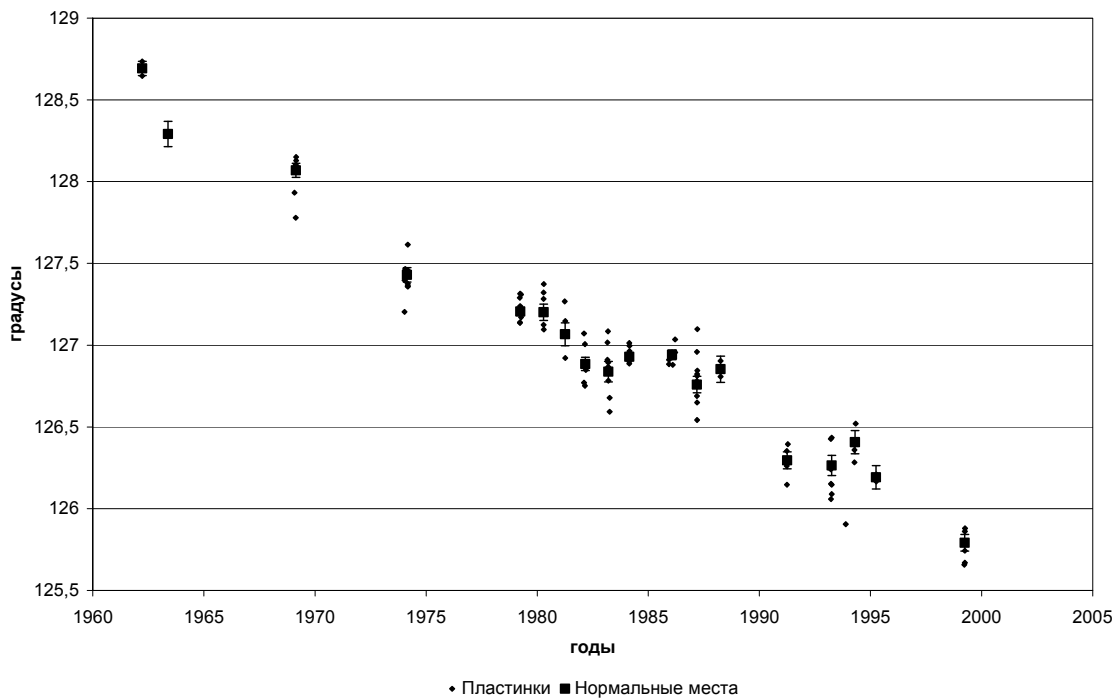


Рис. 1б. ADS 7446. Наблюдения на 26-дюймовом рефракторе: $\theta(t)$.

В отличие от ADS 7446, визуально-двойная звезда **ADS 9701** имеет небольшой ряд наблюдений на пулковском 26-дюймовом рефракторе: 15 фотографических положений с 1981 по 1997 год, причем с 1988 по 1997 год наблюдений не было, а в 1997 го-

ду получена только 1 пластинка. Обработаны также ПЗС наблюдения 2004-2007 гг.[3] – получено 21 положение. Однако эта звезда активно наблюдалась с 1822г, в каталоге WDS имеется более 400 положений. По всем имеющимся наблюдениям в 2004 г. Б.Д. Мейсон определил орбиту [4]. Мы также определили 2 варианта орбит методом параметров видимого движения [5]. Орбитальные элементы представлены в таблице 3. На рис. 2 показано, что все три орбиты одинаково хорошо удовлетворяют короткой дуге имеющихся наблюдений.

Таблица 2. Орбиты фотоцентра при заданных значениях эксцентриситета.

| e | P [год] | T _p [год] | a [mas] | i [°] | ω [°] | Ω [°] | μ ₂ [μ _☉] |
|-----|------------|-------------------------|------------|----------|----------|----------|-------------------------------------|
| 0 | 7.9 | - | 13.2 | 62.3 | - | 54.7 | 0.35 |
| 0.5 | 7.9 | 1980.0 | 14.0 | 62.4 | 81.1 | 55.0 | 0.37 |
| 0.8 | 7.9 | 1981.6 | 18.4 | 66.2 | 132.0 | 62.5 | 0.51 |

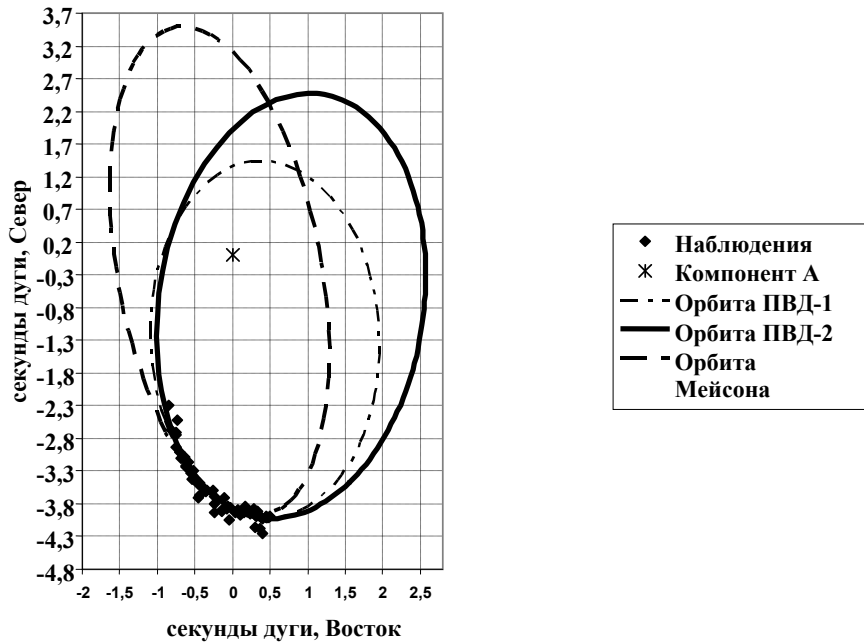


Рис. 2. Сравнение орбит ADS 9701 с наблюдениями

Таблица 3. Элементы орбит ADS 9701AB.

| Орбита | Сумма масс [Солнце] | Параллакс ["] | a ["] | P [год] | e | i [°] | ω [°] | Ω [°] | T [год] |
|--------|------------------------|------------------|---------------|--------------|--------------|-----------|------------|------------|-------------|
| ПВД-1 | 4.3 | 0.020 ±0.001 | 2.87 ±0.51 | 829 ±229 | 0.54 ±.18 | 127 ±6 | 218 ±31 | 186 ±17 | 1695 ±39 |
| ПВД-2 | 5.0 | 0.020 ±0.001 | 3.77 ±1.00 | 1157 ±481 | 0.53 ±.19 | 119 ±4 | 252 ±22 | 191 ±10 | 1724 ±40 |
| Мейсон | 6.5 | 0.020 | 3.83 | 1038 | 0.16 | 111 | 110 | 171 | 2290 |

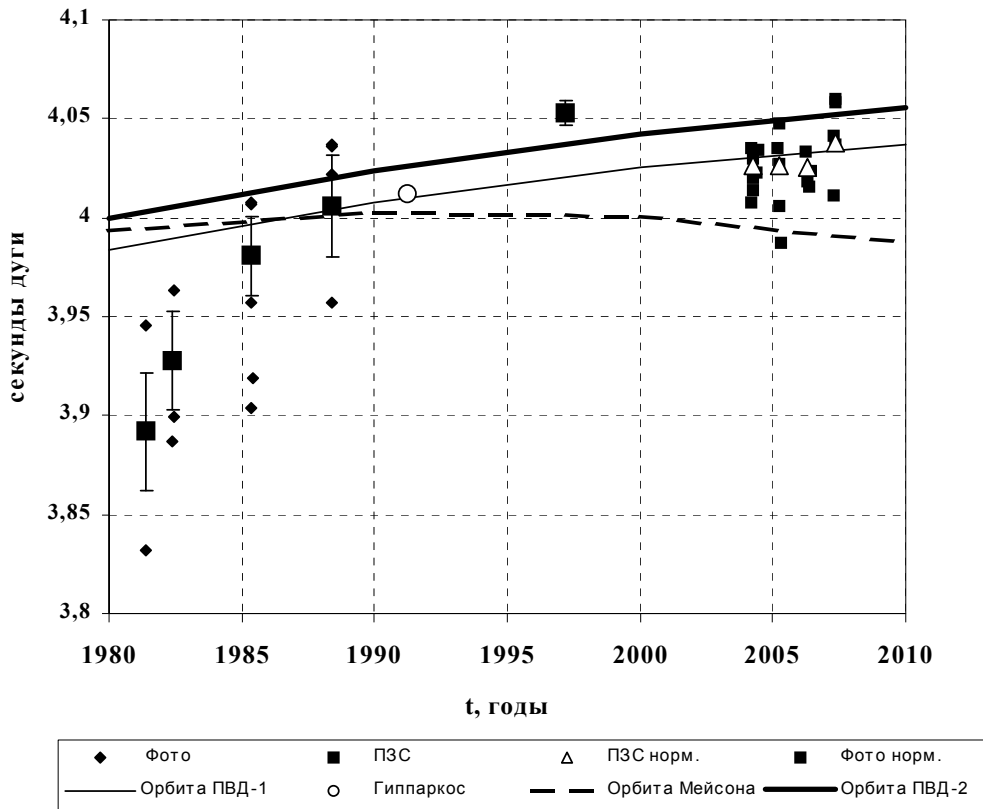


Рис. 3а. ADS 9701. Наблюдения на 26-дюймовом рефракторе: $\rho(t)$.

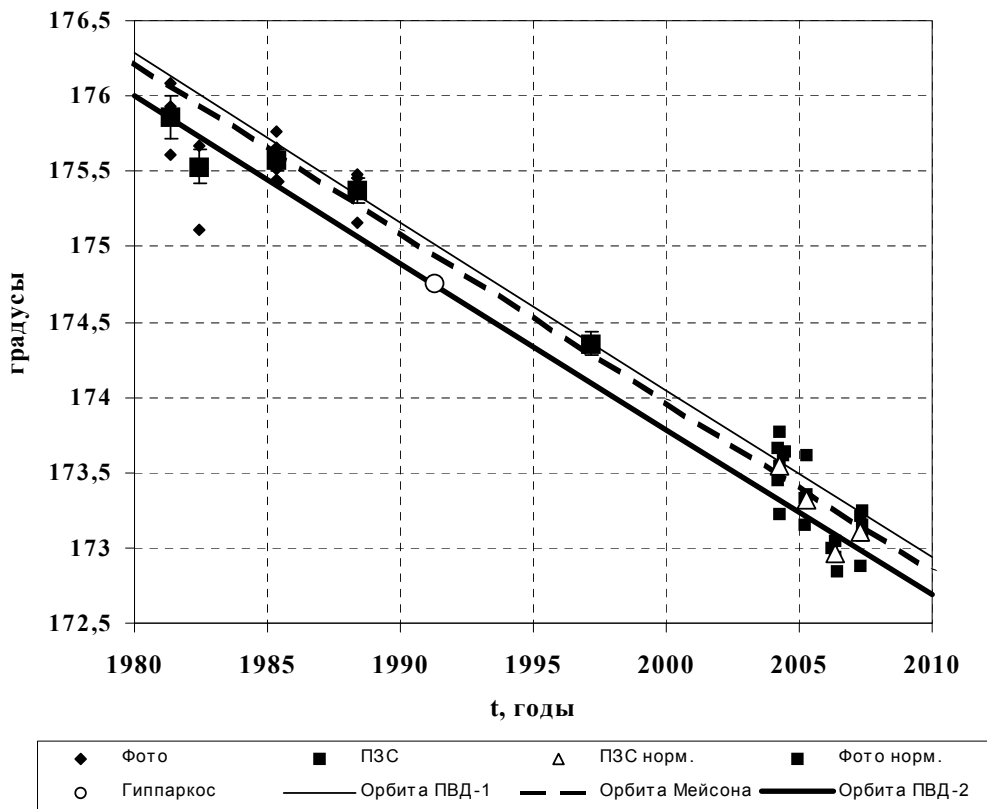


Рис. 3б. ADS 9701. Наблюдения на 26-дюймовом рефракторе: $\theta(t)$.

Основанием предполагать наличие возмущающего тела в данной системе послужило систематическое отклонение однородных Пулковских наблюдений от орбитального движения. Этот эффект проявляется в обеих координатах и представлен на рис. 3. О величине возмущений судить пока сложно, так как фотографические наблюдения недостаточно точны в случайном отношении, а ПЗС наблюдения охватывают всего 4 года. Предварительные оценки указывают на спутник с периодом не менее 20 лет и массой не менее 0.5 масс Солнца.

В заключение отметим, что обе звезды имеют особенности, которые делают их особенно интересными и косвенно подтверждают наше предположение о невидимом спутнике: ADS 7446 отождествляется с рентгеновским источником [6, 7], а ADS 9701A является переменной типа δ Щита. Кроме того, если для звезды ADS 9701 принять параллакс из каталога Гиппаркос $0.0155'' \pm 0.0008''$, сумма масс компонентов должна быть больше 9 масс Солнца, что противоречит спектру и светимости. Чтобы согласовать массы, надо увеличить параллакс до $0.020''$. Ошибка параллакса из каталога Гиппаркос в двойных звездах может быть вызвана неучтенным орбитальным движением в тесной подсистеме [8]. Подробнее об исследовании данных звезд описано в работе [5].

Данная работа – результат большого многолетнего труда коллектива сотрудников отдела фотографической астрометрии Пулковской обсерватории. Выражаю глубокую благодарность инициатору наблюдений двойных звезд на 26-дюймовом рефракторе – Алексею Алексеевичу Киселеву, всем наблюдателям, автору математического обеспечения сканера, на котором измерены фотопластинки – И.С. Измайлову.

Нами использовались данные каталога WDS, созданного в морской обсерватории США [9]. Выражаем благодарность создателям этого каталога.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-02-00267-а.

Литература

1. Киселев А.А., Кияева О.В. // Астрон. ж., т.57, 1227 (1980)
2. Кияева О.В., Калиниченко О.А. // Известия ГАО в Пулкове, N 213, с.233-348 (1998).
3. Измайлов И.С., Ховричева М.Л., Ховричев М.Ю., Кияева О.В., Хруцкая Е.В., Романенко Л.Г., Грошева Е.А., Масленников К.Л., Калиниченко О.А. // Письма в астрон. ж. (2010) (в печати).
4. Mason B.D., Hartkopf W.I., Wyckoff G.L., Pascu D. et al. // A.J., V.127, P.539-548 (2004).
5. Кияева О.В., Горыня Н.А., Измайлов И.С. // Письма в астрон.ж. (2010) (в печати).
6. Huensch M., Schmitt J., Voges W. // Astron. Astrophys., Suppl. Ser., 132, 155-171 (1998)
7. Zickgraf F.-J., Engels D., Hagen H.-J., Reimers D. and Voges W. // Astron. Astrophys., 406, 535-553 (2003).
8. Шацкий Н.И., Токовинин А.А. // Письма в астрон. ж., т.24, с.780-784 (1998).
9. Mason B.D., Wyckoff G.L. & Hartkopf W.I. Washington Double Star Catalog 2006.5. USNO Double Star CD 2006.5.

POSSIBLE INVISIBLE SATELLITES IN THE SYSTEMS OF VISUAL DOUBLE STARS ADS 7446 AND ADS 9701

Kiyayeva O.V.
Pulkovo observatory

Relative motions of the visual double stars ADS 7446 and ADS 9701 are investigated. For the star ADS 7446, on the basis of long time set of observations with Pulkovo 26-inch refractor (1962-1999, 94 relative positions), the perturbations in position angles with the period 7.9 years are discovered. The probable orbits of photocentre with fixed values of eccentricity are determined. For the star

ADS 9701, the set of Pulkovo observations is not so long (1981-1997, 15 relative positions), but there are a lot of observations since 1822 (more than 400 relative positions) in the catalog WDS. The orbit elements are determined on the basis of all observations. The Pulkovo uniform observations indicate the systematic deviations from the orbital motion in the both coordinates. It may be explained by the perturbations from the invisible satellite which has the period at least 20 years and the mass more than 0.5 solar mass.

КИЕВСКАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БАЗА ДАННЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПОКРЫТИЙ ЗВЕЗД ЛУНОЙ В 2003–2009 гг.

Клещонок В.В., Буромский Н.И.

*Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко,
Киев, Украина*

Приводится описание электронной версии каталога наблюдений покрытий звезд Луной. Приводится анализ методов повышения точности наблюдений с помощью телевизионного комплекса «Спалах» и Интернет телескопа “UNIT”. Описываются некоторые особенности фотометрических кривых покрытий. Показана возможность регистрации эффектов дифракции при покрытиях звезд с помощью телевизионного метода.

Введение

Наблюдения покрытий звезд Луной в Астрономической обсерватории Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, были начаты еще в 1923 году С.Д. Чорным по международной программе Е. Брауна [1]. За период 1923-2003 гг., были получены моменты 3443 явлений визуальных покрытий звезд Луной. С 2003 г., Астрономическая обсерватория начала программу наблюдений покрытий звезд Луной с помощью телевизионного комплекса «Спалах» [2-3]. За период с 2003-2008 гг., были записаны около 150 явлений. Такие наблюдения по-прежнему востребованы, так как дают результаты зачастую не худшие, чем иные современные методы с применением дорогостоящих космических аппаратов. Например, космический аппарат “Клементина” с помощью лазерного альтиметра выполнил построение карт высот лунной поверхности. Однако точности этих измерений ниже, чем точности данных, которые получаются из телевизионных покрытий звезд [4].

Важный результат, который получается из наблюдений покрытий – обнаружение кратности звезд и оценки расстояний между компонентами [5-6]. Особый интерес к таким результатам вызван подготовкой к проведению космической миссии GAIA, которая должна выполнить уникальные по точности определения положений звезд.

Электронная версия каталога покрытий

Накопление телевизионных наблюдений поставило вопрос о необходимости выбрать способ хранения информации о наблюдаемых покрытиях, который был бы удобен для использования и накопления данных для составления каталога. Первоначально должна быть создана электронная версия каталога покрытий. Эта электронная версия каталога кроме основных возможностей накопления, должна иметь дополнительные возможности выборки и обработки наблюдений для последующей работы с данными. Был выбран способ хранения и накопления информации о покрытиях в электронной базе данных, созданной с помощью программы «MS Access». Накопленная информация составляет основу киевского каталога телевизионных наблюдений покрытий звезд. Форма его представления может быть выбрана различной в соответствии с алгоритмами обработки накопленной информации.

При разработке базы данных мы руководствовались следующими принципами:

1. Сохранение детальной информации о событии;
2. Простота использования;
3. Доступность для многих пользователей по компьютерной сети;
4. Защита информации от некорректного использования;
5. Получение основной информации о покрытиях в компактной форме;

6. Возможность включения дополнительной обработки в будущем;
7. Сжатия первичной видеоинформации для хранения без потери качества;

Защита информации достигается средствами программы «MS Access», так что обычный пользователь имеет доступ только к формам, которые дают возможность только добавлять информацию в базу данных. Обычный доступ, дает возможность работы с формами, которые показаны на рис. 1.

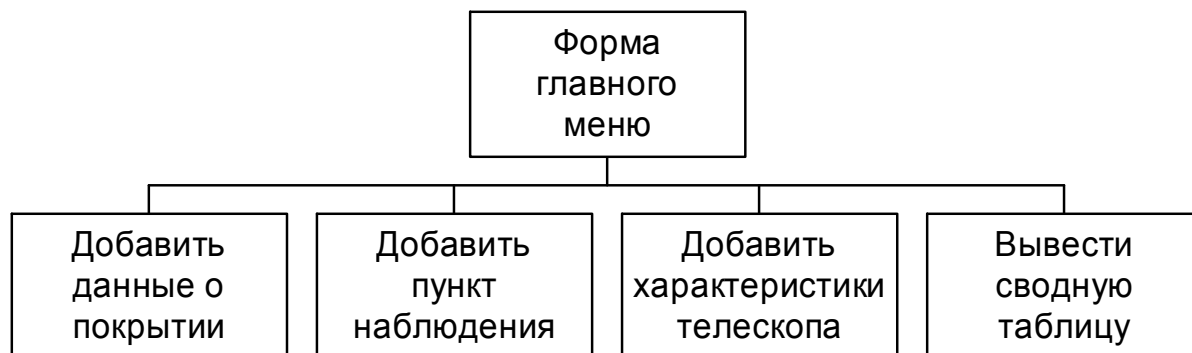


Рис. 1. Основные формы для работы с базой данных.

При загрузке базы данных в обычном режиме появляется форма главного меню, при помощи которой выбираются способы для дальнейшей работы. Форма данных о покрытии позволяет вводить следующую информацию: номер звезды, дату события, эфемеридное время покрытия, координаты звезды, звездная величина, спектр звезды, телескоп из готового списка, пункт наблюдений из готового списка, событие из списка событий (открытие на темном крае, покрытие на светлом крае и т.п.), наблюдаемое время покрытия (UTC), комментарии и данные о месте хранения сжатой видеоинформации с регистрацией покрытия (номер диска и имя файла). Для пунктов наблюдения вводится название, координаты (широта, долгота и высота над уровнем моря) и примечания. Форма характеристик телескопа позволяет ввести короткое имя, диаметр, фокусное расстояние и текстовое описание телескопа. Последний пункт меню позволяет вывести сводную таблицу покрытий в компактном виде, где представлена только основная информация о покрытии: дата, момент покрытия по эфемериде, обозначение звезды, звездная величина, код события, обозначение телескопа, наблюдаемый момент покрытия. Эту таблицу можно просмотреть, а можно сохранить в виде электронной таблицы MS Excel.

Администратор имеет возможность напрямую работать с таблицами, в которых хранится информация в базе данных, использовать формы для редактирования информации, а также дополнять базу данных модулями и макросами для создания дополнительных возможностей для работы с хранимой информацией.

Основные возможности базы уже реализованы и используются для накопления данных в каталоге покрытий. В настоящее время, дорабатывается подсистема хранения видеозаписей наблюдений. В базе данных будет храниться информация о месте хранения файла видеозаписи. Видеофайлы имеют очень большие размеры, поэтому разрабатывается программа об уменьшении размеров видеозаписей покрытий для хранения в файловом архиве. Кроме этого, необходимо выбрать способы сжатия информации, которые бы не влияли на качество записи явления покрытия. В качестве таких способов сжатия были выбраны такие методы:

1. Выбор небольшого числа кадров вблизи самого явления покрытия;
2. Выбор части кадров с изображением покрываемой звезды.

Оценки показывают, что в результате таких операций, можно уменьшить первоначальный объем видеофайла в 100 раз без ухудшения качества самого изображения. Предполагается создать специализированный модуль, который удобно совместить с программой обработки покрытий Osculdark. В этом случае, легко реализовать сохранение видеопоследовательности с точной временной привязкой к UTC, которая получается в программе обработки и самих моментов покрытий.

Контроль точности характеристик каталога

Создание каталога покрытий предполагает постоянную работу по контролю над качеством данных каталога и совершенствованию методики наблюдений для улучшения характеристик телевизионного комплекса «Спалах». Главный вопрос телевизионных наблюдений покрытий – обеспечение точности привязки момента покрытия к шкале UTC. В комплексе «Спалах», он решается с помощью программно-аппаратных способов. Для контроля точности используются периодические лабораторные испытания комплекса, в процессе которых с помощью телевизионного комплекса, регистрируются оптические импульсы с точно известным временем возникновения. В качестве таких импульсов используются сигналы точного времени радиостанции РВМ, которые подаются на светодиод (рис. 2). Это позволяет проверить весь тракт регистрации времени комплекса.

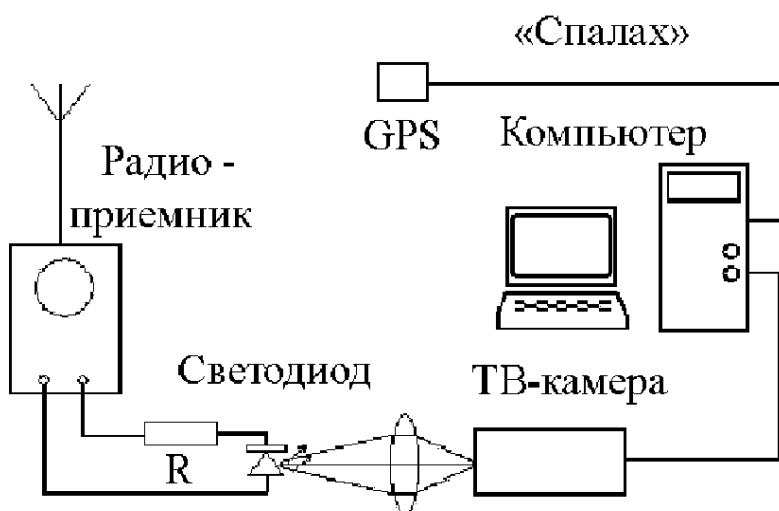


Рис. 2. Схема проверки тракта регистрации времени телевизионного комплекса «Спалах».

Особенности фотометрических кривых покрытий

Следующий метод повышения достоверности результатов и точности определения моментов телевизионных наблюдений покрытий – детальный анализ фотометрической кривой покрытия. Приблизительно 80% видеозаписей, дают точный момент покрытия с помощью покадрового просмотра видеозаписей. Остальные 20% требуют более детальной обработки с учетом фотометрической кривой покрытия. Анализ фотометрических кривых показал следующие особенности покрытий, которые необходимо учитывать при обработке:

1. Возможный высокий уровень шума в изображении по сравнению с сигналом от звезды;
2. Кратность звезд наблюдаемых покрытий;
3. Наступление покрытий во время экспонирования кадра;
4. Дифракционные явления во время покрытий;

Для обработки изображений с высоким уровнем шума, предназначена программа Occultdark. В процессе обработки, можно выбрать один из трех способов выделения сигналов на фоне шумов или их комбинацию:

1. Медианная фильтрация с окном, центрированным на данный отсчет. Медианная фильтрация хорошо передает скачки в уровнях сигнала, когда размер окна фильтра меньше длительности скачков. Ожидается, что применение фильтра значительно ослабит уровень шума, не влияя при этом на положение скачка в уровне сигнала, что отвечает моменту покрытия.
2. Уровень шума – дисперсия значений интенсивности звезды в окне, которое центрировано на данный отсчет. Максимальный уровень шума для данного метода соответствует моменту покрытия.
3. Аппроксимация фотометрического сигнала ступенчатой функцией с постоянным уровнем до покрытия и после покрытия методом наименьших квадратов. Положение ступеньки определяет момент покрытия.

Другой способ уменьшения влияния шумов состоит в увеличении уровня полезного сигнала. Для этого была изменена оптическая схема работы телескопа. Первоначально, наблюдения проводились в касегреновском фокусе ($F = 772$ см) телескопа АЗТ-14 ($D = 48$ см). Изображения звезд имели значительный диаметр (рис. 3а), что ограничивало чувствительность системы на уровне 11^m . Позднее, телескоп АЗТ-14 был модернизирован с целью получения возможности работы в фокусе Ньютона. В результате изображения звезд были значительно улучшены (рис. 3б), и предельная звездная величина составила 13.5^m . Кратность звезд, которые покрываются Луной, приводит к тому, что в фотометрической кривой покрытия, наблюдается участки с промежуточной интенсивностью наблюдаемого изображения звезды, между началом покрытия и покрытием, последнего из компонента кратной системы.

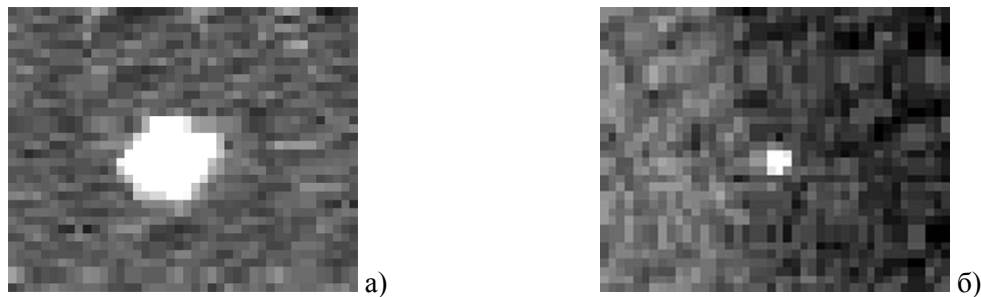


Рис. 3. Видеоизображения звезд на телескопе АЗТ-14.
а) система Кассегрена, б) система Ньютона.

Характерная фотометрическая кривая покрытия в случае тесной двойной системы SAO 138917 изображена на рис. 4.

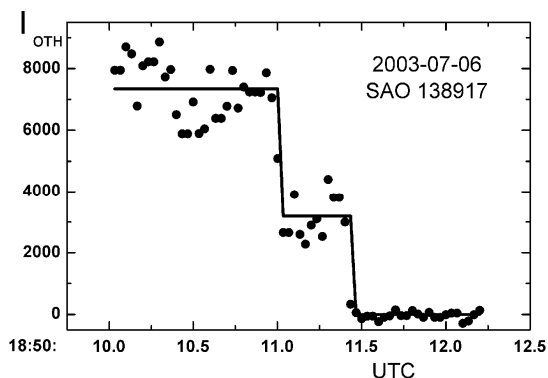


Рис. 4. Фотометрическая кривая покрытия двойной звезды SAO 138917 6 июля 2003 г.

В Киевском каталоге покрытий заносятся точные моменты покрытия каждой компоненты. Наличие таких наблюдений, имеет большую ценность для обнаружения кратности тесных двойных звезд (теоретическая оценка минимального расстояния между компонентами, которые могут быть разрешены телевизионным методом, имеет величину порядка $0.02''$). Измерение времени между покрытиями отдельных компонент дает оценку величины проекции углового расстояния между компонентами на направление движения Луны, с учетом позиционного угла покрытия. Наблюдения такого явления из нескольких пунктов позволит восстановить истинное угловое расстояние между компонентами и позиционный угол.

Следующий эффект, который был обнаружен на фотометрических кривых покрытий – эффект ступеньки (рис. 5). Интенсивность изображения звезды падает до нуля не мгновенно, и имеет одно промежуточное значение. Всего было зарегистрировано 5 таких случаев.

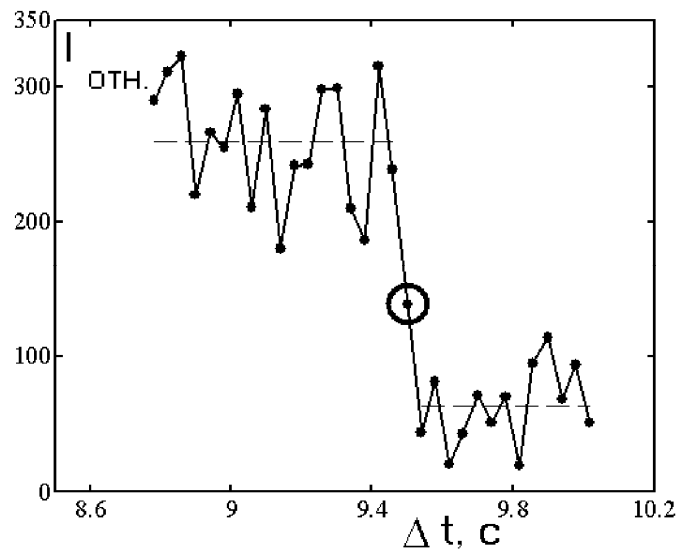


Рис. 5. Фотометрическая кривая покрытия звезды с эффектом ступеньки (отмечено кружком).

Теоретически возможно, что такая фотометрическая кривая формируется очень тесными двойными системами, которые находятся на расстоянии порядка $0.02''$. Однако сложно объяснить, почему двойные системы преимущественно имеют именно такое расстояние между компонентами. Поэтому мы считаем, что такие фотометрические кривые объясняются тем, что последнее изображение со звездой имело меньшее время экспозиции, чем предыдущие изображения. Это вызвано тем, что покрытие произошло во время экспозиции кадра. Очевидно, что учет этого эффекта, позволит несколько улучшить точность определения момента покрытия. Чтобы точно ввести эту поправку, необходимо учитывать дифракционные явления, которые возникают во время покрытия. На практике в большинстве случаев достаточно использовать линейную поправку Δt ко времени T_d кадра со “ступенькой”:

$$\Delta t = \frac{I_d - I_s}{I_s - I_f} \cdot \tau,$$

где I_s , I_d и I_f – соответственно интенсивности изображения звезды перед покрытием, на кадре с пониженной интенсивностью и уровень фона, τ – время экспозиции одного кадра.

В обычных условиях, разрешающей способности телевизионной аппаратуры недостаточно для наблюдения дифракционных явлений во время покрытий звезд Луной.

При наблюдении почти касательных покрытий, такая возможность появляется из-за того, что проекция скорости перемещения Луны в этом случае может быть достаточно малой величиной. Оценки показывают, что длительность дифракционного явления при угле проекции 85° может составить величину больше 0.2 секунды. Такая длительность вполне достаточна для обнаружения с помощью телевизионной системы. На рис. 6 показана фотометрическая кривая покрытия звезды ZC 1930 5.3^m . Звезда наблюдалась на телескопе АЗТ-14 станции Лесники. Позиционный угол покрытия 194° , т.е. звезда наблюдалась недалеко от южного полюса Луны, что необходимо для возможности наблюдения дифракционной картины с телевизионным приемником.

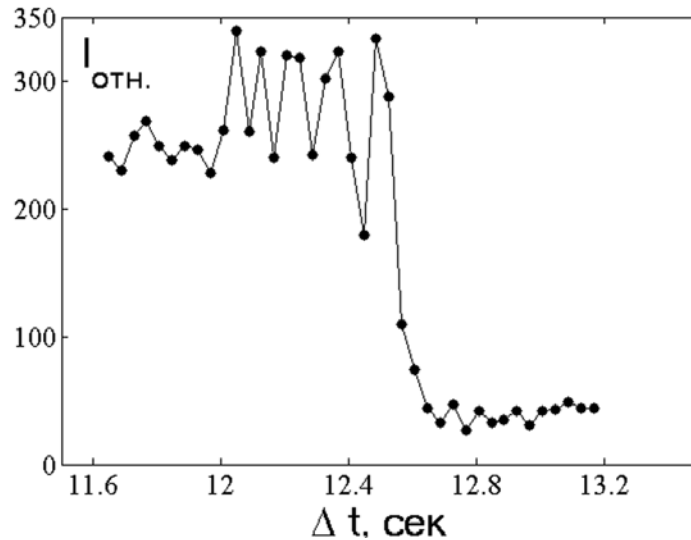


Рис. 6. Фотометрическая кривая покрытия звезды ZC 1930 4 июля 2006 года с дифракционными явлениями

Таким образом, использование фотометрической кривой покрытия необходимо для уточнения момента покрытия и исследования параметров покрываемых звезд.

Применение новой техники при наблюдении покрытий

В 2008 г., начались тестовые исследования нового Интернет телескопа (UNIT). Основными его особенностями является то, что он может работать в автоматическом режиме и может выполнять наблюдение для быстрой фотометрии. Скоростная фотометрия возможна благодаря применению ПЗС камеры нового типа Rolera MGI, которая имеет электронный затвор и позволяет работать в режиме, который приближен к телевизионному. В действующем варианте кадры явлений привязывались к системному времени управляющего компьютера. Системное время компьютера непрерывно контролировалось за сигналами NTP-серверу времени ранга 1, который находился в одной локальной сети с регистрирующим компьютером, с помощью программы Windows Time Synchronizer [7]. Первые наблюдения показали возможность использования подобной системы для покрытий звезд Луной. При наблюдениях использовался стандартный фильтр R, электронное усиление - 3800 единиц, экспозиция - 30 мс. Для регистрации явления выделялся участок размером приблизительно 70×70 пикселей.

Для обработки наблюдений была использована программа OCCULTDARKMGI, разработанная и апробированная В. Клещонком. В результате были построены фотометрические кривые покрытий. Фотометрическая кривая покрытия звезды SAO 79091 показанная на рис. 7. Обращает на себя внимание немного большая дисперсия измеряемых интенсивностей, но это может быть связано с погодными условиями во время

наблюдений. Однако момент покрытия определяется достаточно уверенно. На этой кривой также заметный эффект ступеньки, аналогичный тем, что отмечался при телевизионных наблюдениях. И в этом случае так же возможно улучшение определения момента покрытия с учетом интенсивности переходного отсчета.

Обработка наблюдений показала, что средняя частота кадров отвечает значению периода 42 мс, хотя экспозиция кадра равнялась 30 мс. Это свидетельствует, что во время работы телескопу система не успевала передавать (принимать) изображения в соответствии с длительностью экспозиции и была вынуждена задерживать начало следующего кадра. Для уменьшения времени передачи кадра имеется два пути:

1. Применение объединения изображений на нескольких пикселях (биннинг). Такой способ не очень удачен для слабых звезд, размер которых в нашем случае приближается к одному пикселю. В случае его применения для слабых звезд соотношения сигнал/шум в кадре будет уменьшаться, что отобразится на точности наблюдений. Для ярких звезд размер изображения значительно больше одного пикселя и такой способ вполне пригоден.

2. Уменьшение размера участка изображения, который записывается. Такой способ подходит для любых предельных звезд. Однако уменьшение до размеров более малых чем 10×10 не желаемое, потому что в таком случае уменьшится точность определения уровня фона. Кроме того, при этом надо иметь ввиду, что при не совсем точном ведении телескопа или при сильном ветре, звезда может выйти из поля зрения.

В дальнейшем на телескопе UNIT планируется иметь часовую привязку кадров с помощью GPS приемника с точностью до нескольких микросекунд. Планируются также наблюдения с лучшей разрешающей способностью по времени. Для ярких звезд событие можно будет регистрировать с разрешающей способностью лучше чем 10 мс. Это даст возможность регистрировать дифракционную картину во время покрытия. Очень интересными на наш взгляд также должны быть синхронные наблюдения покрытий в ГАО на телескопе UNIT и в Лесниках на телескопе АЗТ-14 с телевизионным комплексом «Спалах».

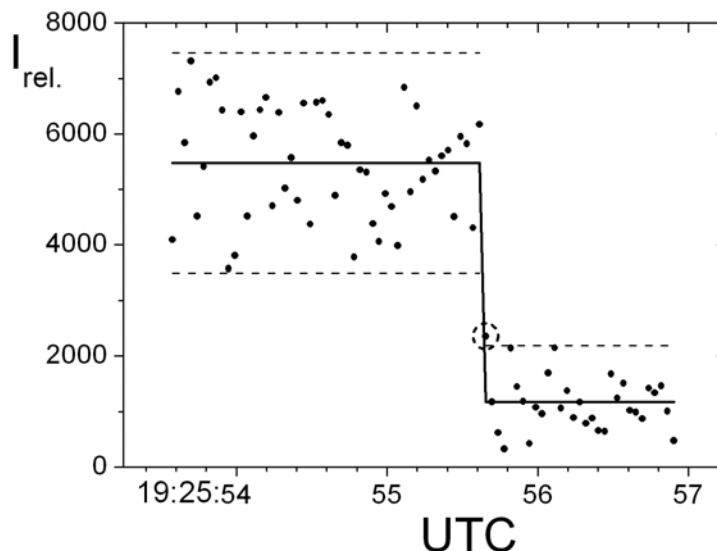


Рис. 7. Фотометрическая кривая покрытия в относительных единицах звезды SAO 79091, которая получена на телескопе UNIT со скоростной камерой Rolera MGI 2 апреля в 2009 г. Наблюдатель – Клещенок В. Точки помечают интенсивность звезды для отдельных кадров, пунктиром обозначены допустимые границы изменение яркости в пределах 2σ , сплошная линия – аппроксимация фотометрической кривой изображена сигналом «ступенька», кружком отмечен отсчет с промежуточной интенсивностью.

Выводы

1. В Астрономической обсерватории Киевского национального университета создан, электронный вариант каталога телевизионных покрытий звезд Луной.
2. Для повышения точности и достоверности определения времени покрытия, необходимо исследование фотометрической кривой покрытия.
3. Показана возможность при благоприятных условиях регистрации дифракционной картины покрытия звезды телевизионным методом.

Литература

1. *Brown D.* Request for more observations of occultations // *Astron. J.* –1927. – Vol. 27. - № 12. – P. 99-100.
2. *Evans D.S., McWilliam A., Sandmann W. H., Frueh M.* Photoelectric observations of lunar occultations. XVI// *Astron. Journal.* – 1986. – Vol. 92 – P. 1210-1214.
3. *Kleshchonok V.V., Buromsky M.I.* Observations of stars occultations by the Moon with the “Spalakh” television system// *Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Supplement.* – 2005. – №5. P.405-408.
4. *Kleshchonok V.V.* The “Spalakh” astronomical television system // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Supplement.* – 2005. – №5. P.409-412.
5. *Occultation Newsletter* – 2000. –Vol. 8. – №1.
6. *Richichi A., Fors O., Merino M., et al.* The Calar Alto lunar occultation program: update and new results// *A&A* – 2006. – Vol. 445. – №3. – P. 1081-1088.
7. <http://www.wintimesync.com/>

THE ELECTRONIC DATABASE OF THE TELEVISION OBSERVATION OF STAR OCCULTATION BY MOON

Kleshchonok V.V., Buromsky N.I.

Astronomical Observatory of Kyiv National Taras Shevchenko University

The description of electronic version of observations of stars occultation by Moon catalogue is given here. The analysis of methods for accuracy increasing of observation by a televisional complex «Spalakh» and Internet of telescope of “UNIT” is given. Some features of photometric curves of stars occultation are described. The registration possibility of diffraction effects during stars occultation by moon with the help of television method is shown.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРУППОВОЙ ШКАЛЫ ПУЛЬСАРНОГО ВРЕМЕНИ

Короткова Н. Ю.

*Московский государственный университет им. Ломоносова, физический факультет
Москва, Россия*

Введение

В работе рассматривается ансамбль миллисекундных пульсаров, обладающих высокой стабильностью периода вращения. Полагается, что использование порядка десятка реперных пульсаров такого ансамбля, расположенных в разных частях неба, позволит сформировать новую астрономическую шкалу пульсарного времени, превосходящую по стабильности современную атомную на долговременных интервалах.

Повышение равномерности такой шкалы времени до 1-10 нс на годовом интервале позволит надеяться обнаружить гравитационные волны и оценить плотность гравитационно-волнового фона в области сверхнизких частот. В связи с этим ставится задача формирования пульсарного ансамбля для построения групповой шкалы [1-3]. С помощью такой шкалы возможно будет контролировать стабильность атомной шкалы на длительных интервалах (от года и более).

Групповая шкала пульсарного времени формируется по остаточным отклонениям моментов прихода импульсов (ОУ МПИ) группы (ансамбля) пульсаров относительно шкалы Всемирного координированного времени UTC. Вариации МПИ групповой шкалы рассчитываются из ОУ МПИ одиночных пульсаров при помощи специального алгоритма усреднения, оптимизация которого рассматривается в данной работе.

Принципы формирования групповой шкалы пульсарного времени

Международная шкала атомного времени ТАИ строится на основе показаний около 200 атомных стандартов частоты, расположенных в лабораториях нескольких стран мира. Пульсарная шкала по сравнению с ней обладает рядом особенностей, таких как:

- разные частоты вращения пульсаров;
- низкий уровень сигнала;
- присутствие в сигналах коррелированных шумов;
- неравномерные наблюдения;
- различное влияние среды на разных направлениях распространения радиосигнала в межзвездной среде;
- воздействие гравитационных волн и гравитационно-волнового фона на распространение сигнала и др.

Эти особенности проявляются в возникновении в ОУ МПИ так называемых «шумов хронометрирования». В настоящее время точность хронометрирования реальных пульсаров пока не позволяет уверенно выделить их собственные шумы, не связанные с шумами аппаратуры, поэтому представляется интересным изучить влияние перечисленных факторов на моделях ансамблей, составленных из смоделированных временных рядов ОУ МПИ с разными индивидуальными характеристиками [4].

Моделирование рядов ОУ МПИ

Чтобы максимально приблизить модели к реальности, проводился анализ наблюдений 8 миллисекундных пульсаров, наблюдавшихся в Калязинской радиоастрономической обсерватории АКЦ ФИАН на 64-метровом радиотелескопе (ТНА 1500 ОКБ МЭИ) на частоте 600 МГц в течение 10 лет, а именно — исследовались спектры и вариация Алана рядов ОУ МПИ. Анализ показал, что в остаточных отклонениях части

пульсаров присутствует «белый» фазовый шум, а в некоторых проявляется и «фликкерный» фазовый шум.

Для построения модели было оставлено 6 объектов. Смоделированные данные представляют собой ОУ МПИ пульсаров, включающие в себя собственные, некоррелированные шумы хронометрирования. В собственных шумах присутствуют индивидуальные белый фазовый шум и фликкерный фазовый шум — частные случаи степенных шумов [5]. Их спектральная плотность мощности характеризуется показателем степени частоты $\alpha = 0, -1, -2, -3, -4$ и имеет вид:

$$S_x(f) \propto \frac{1}{(2\pi)^2} \sum_{\alpha=-4}^0 f^\alpha \quad (1)$$

В нашем случае $\alpha = 0, -1$.

Каждый тип шума строится из белого гауссова шума (сгенерированного методом Бокса-Мюллера) при помощи фильтрации с соответствующей передаточной функцией [6]. Кроме того, по дисперсии шума пульсары были разделены на 3 группы по 2 пульсара в каждой. В первую входили пульсары, имеющие небольшие значения ОУ (малошумящие), во вторую — имеющие промежуточное значение мощности шума и в третью — сильношумящие.

Описанным способом было сформировано 6 временных рядов по 1000 точек с условным шагом в 5 дней. Полученные ряды были равномерными, что не характерно для реальных данных хронометрирования. Для того чтобы создать неравномерные ряды, из каждого равномерного была удалена примерно половина точек с данными, выбранных произвольным образом. Таким образом было получено 6 временных рядов различной длины, причем данные каждого ряда относились к индивидуальным, несовпадающим датам.

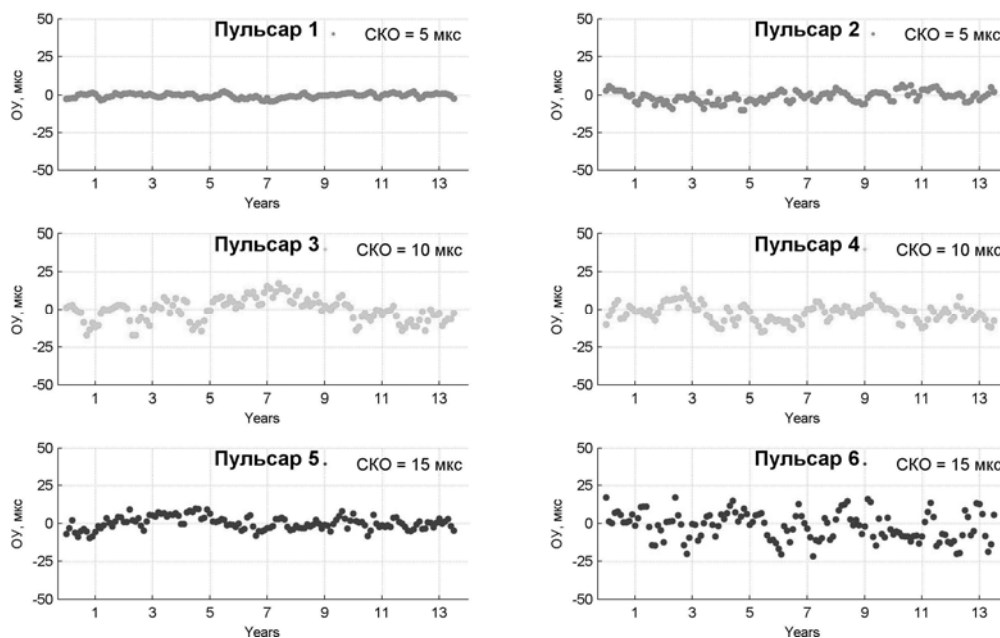


Рис. 1. Сгенерированные ряды остаточных уклонений модельных пульсаров (UTC–PT).

Эти ряды необходимо было привести к новому равномерному виду, с которым впоследствии удобно работать — такому, при котором данные приведены на одни и те же (опорные) даты. Эти даты выбирались следующим образом: начальной считалась наибольшая из первых дат, конечной — наименьшая из последних, интервал задавался

равным 0,1 года, или 36,5 суток. При выборе такого интервала, очевидно, теряется информация о стабильности на временах менее 0,2 года, однако сохраняется информация о долговременной стабильности [7]. Приведение остаточных уклонений к полученным датам осуществлялось методом скользящего среднего на интервале 0,1 года. На Рис. 1 представлены полученные таким образом массивы остаточных уклонений.

Групповая шкала по ансамблю ОУ МПИ пульсаров

Как было указано ранее, собственные шумы хронометрирования пульсаров считаются некоррелированными, а основной тип шума, присутствующий в построенных рядах, считается белым фазовым. Формирование групповой шкалы проводилось аналогично [7]:

$$(UTC - PT) = \sum_{i=1}^N w_i (UTC_i - PT_i), \quad \sum_{i=1}^N w_i = 1 \quad (2)$$

Было предложено 4 способа присвоения рядам весовой функции для последующего усреднения:

- 1) $w \propto 1$ — веса всех пульсаров равны;
- 2) $w \propto 1/\sigma^2$ — веса обратно пропорциональны квадрату стандартного отклонения ряда ОУ;
- 3) $w \propto 1/\sigma_y^2$ — веса обратно пропорциональны дисперсии Алана, взятой в определенной точке (~2,5 года);
- 4) $w \propto 1/\sigma_z^2$ — веса обратно пропорциональны z-статистике, взятой в точке, где она достигает минимального значения [8].

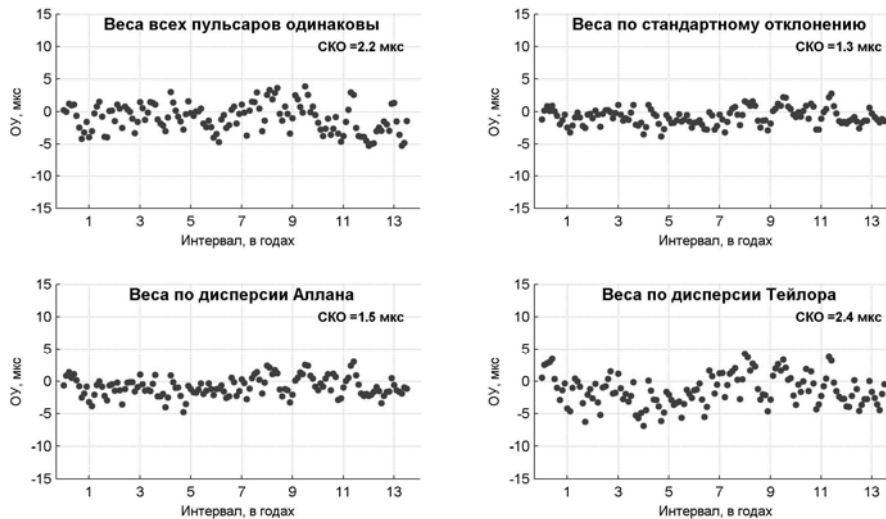


Рис. 2. Остаточные уклонения, полученные для смоделированного ансамбля пульсаров.

Следует отметить, что поскольку z-статистика не требует приведения данных на опорные даты, она рассчитывалась для неравномерных рядов остаточных уклонений.

Как и следовало ожидать, у групповой шкалы, в данном случае из 6 пульсаров, СКО уменьшилось практически в 5 раз (от СКО 5-15 мкс (см. Рис. 1) до СКО 1,3 – 2,4 мкс (см. Рис. 2).

Вычисления показывают, что присвоение весов вторым способом дает наилучший результат: среднеквадратичное отклонение полученного ряда минимально. Более того,

оно меньше СКО любого из первоначальных рядов ОУ МПИ пульсаров, входящих в ансамбль, и составляет 1,3 мкс (Рис. 2).

Групповая шкала пульсарного времени по ОУ МПИ с детерминированной компонентой

Погрешности атомных часов, с помощью которых ведется хронометрирование, могут привести к тому, что в остаточных отклонениях появится общая медленно меняющаяся составляющая (временные вариации пространства–времени в районе наблюдателя — гравитационные волны могут привести к такому же эффекту). В качестве такой общей компоненты, которая добавлялась в собственные шумы, для модельного ансамбля был выбран полином шестой степени, потому что он имеет умеренное количество вариаций с достаточной амплитудой (порядка 5 мкс) на длительном интервале (Рис. 3).

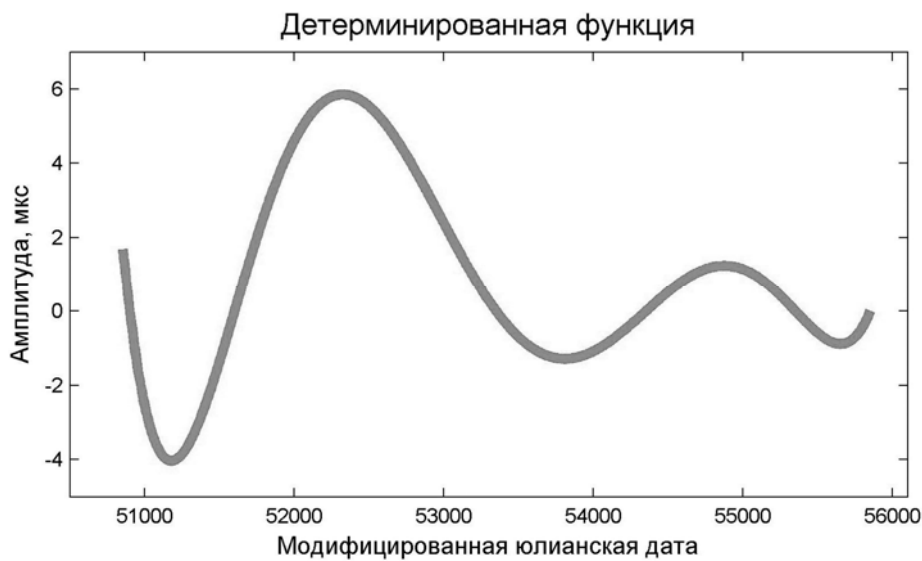


Рис. 3. Детерминированная функция, добавленная в качестве общей компоненты в сгенерированные ряды остаточных отклонений.

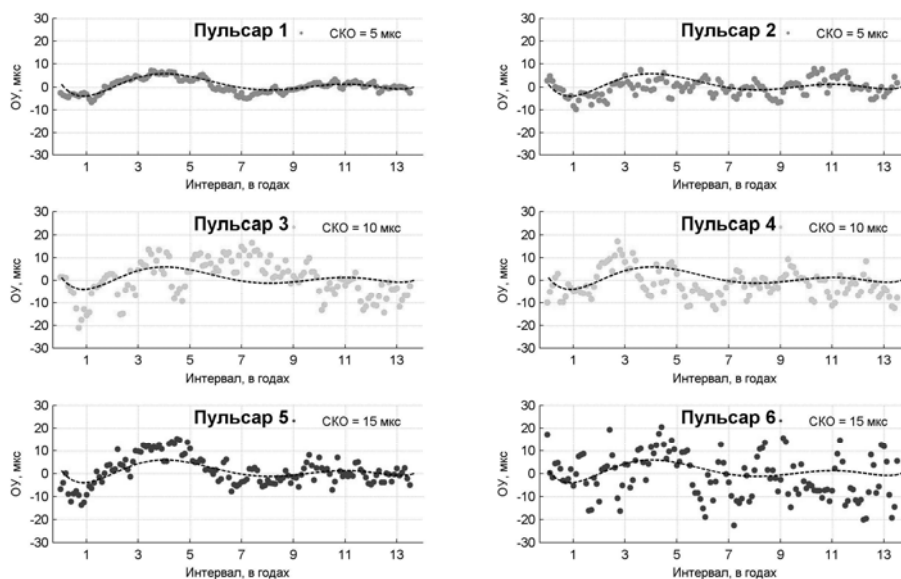


Рис. 4. Сформированные ряды остаточных отклонений модельных пульсаров. Пунктиром показана общая для всех рядов компонента.

После добавления в ОУ МПИ общей компоненты (Рис. 4) проводился их корреляционный анализ: так как общая (детерминированная) функция заранее известна, то можно вычислить коэффициент корреляции этой функции и полученных рядов. Этот коэффициент (коэффициент корреляции Пирсона) и был принят как критерий оценки различных методов присвоения весов.

Вычисленные коэффициенты корреляции показывают, что для данной модели наилучшим методом явилось присвоение весов, обратно пропорциональных средне-квадратичному отклонению каждого ряда (Рис. 5).

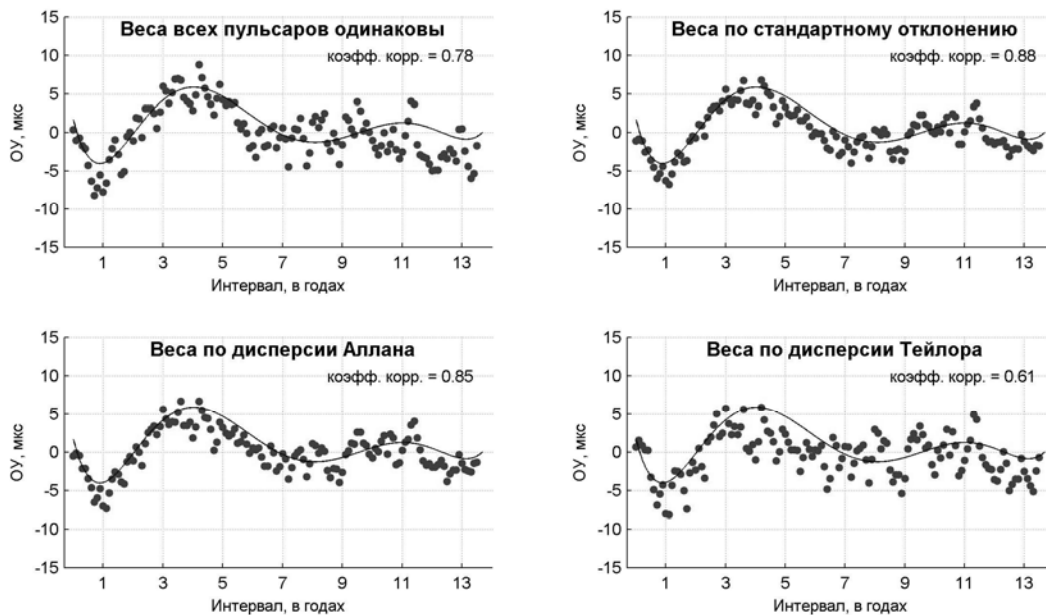


Рис. 5. Средние ряды остаточных уклонений, полученные по ансамблю пульсаров для различных способов присвоения весов.

Несмотря на небольшое отличие четырех коэффициентов, максимум корреляции при взвешивании по СКО наблюдался для более чем 50 моделей, которые были сгенерированы в течение эксперимента.

Результаты и выводы

Необходимы регулярные наблюдения сети пульсаров, равномерно расположенных по всему небу. В настоящее время такие ансамбли сформированы: ансамбль Паркса (Австралия, 20 пульсаров), Европейский ансамбль (Франция, Германия, Великобритания, Нидерланды, Италия, 15 пульсаров), Калязинский ансамбль (Россия, 8 пульсаров) и наблюдаются в течение нескольких лет. Тем не менее, требуется повышение точности измерения МПИ, чтобы изучать собственные шумы хронометрирования пульсаров, не связанные с шумами аппаратуры.

Как показали расчеты, равномерность групповой шкалы пульсарного времени улучшается в несколько раз сравнительно с исходными индивидуальными шкалами (ОУ МПИ).

Моделирование позволяет создавать близкие к реальности ряды наблюдений, не дожидаясь данных годами. С помощью таких моделей можно подобрать оптимальный алгоритм присвоения весов в зависимости от пульсаров данного ансамбля (в случае калязинского — взвешивание по СКО). В результате улучшается точность хронометрирования, уменьшается СКО, выделяется общая компонента.

Благодарности

Автор выражает признательность Э.В. Змеевой, В.В. Орешко и В.А. Потапову за предоставленные данные хронометрирования пульсаров в Калязине, а также Ю.П. Илясову, М.С. Пширкову и В.Е. Жарову за формулировку проблемы моделирования и последующие обсуждения результатов работы.

Работа выполнялась при поддержке гранта РФФИ 09-02-00922 и ФГУП «ВНИИФТРИ» (договор 08-2007).

Литература

1. *Hobbs, G.B. et al.*, MNRAS 353, (2004).
2. *Ilyasov, Yu.*, ChA&A 2006, v.6, Suppl 2, p.148.
3. *Manchester, R.N.*, AIP Conference Proceedings, v. 983, p584-592 (2008).
4. *Korotkova, N., Ilyasov, Yu., Pshirkov, M.*, XXVII IAU GA, Rio-de-Janeiro, Abstracts, JD6, p:9, 275.
5. *Одуан К., Гино Б.* Измерение времени. Основы GPS (М.:Техносфера, 2002).
6. *Bregni, S.*, Communications World, WSES Press, 2001.
7. *Petit, G., Tavella, P.*, Astron. Astrophys., 308, 290, 1996.
8. *Matsakis, D.N., Taylor, J.H., Eubanks, T.M.*, Astron. Astrophys., 326, 924.

SIMULATION OF ENSEMBLE PULSAR TIME SCALE

Korotkova N.Yu.

Moscow State University, Physics Department

Precise timing of eight millisecond pulsars has been made since 1995 at Kalyazin (Russia, Tver region) by the 64-m dish radio telescope at 600 MHz. These pulsars generate the Kalayazin Pulsar Timing Array (KPTA). In order to approach to the best algorithm for ensemble PT generation, pulsar data have been simulated to make possible to test several techniques such as weighted average. Artificial pulsar data were composed both a predetermined function being common for all pulsars, and individual noises with spectral parameters close to those of KPTA pulsars. Correlation coefficient between the ensemble PT and common function was used as an estimation of quality for different algorithms. Simulation of quasi-real conditions gave possibility to run a lot of tests for different parameters of ensemble. It was shown that the best results for KPTA could be achieved when the relative weight was proportional to inverse rms of pulsars residuals. This method can be used for selecting of appropriate algorithm for enlarged pulsar ensembles, if the model pulsars noise characteristics would be set close to real ones.

DORIS-ТЕХНОЛОГИЯ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ГЛОБАЛЬНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Кузин С.П., Татевян С.К.

Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Введение

Спутниковая радиотехническая система DORIS (Doppler Orbit Determination and Radiopositioning Integrated on Satellite) была разработана и реализована Французским Космическим Агентством (CNES) в тесном сотрудничестве с научно-исследовательской группой космической геодезии (GRGS, France) и французским Национальным Институтом Географии (IGN) с целью высокоточного контроля орбит океанографических спутников, имеющих на борту прецизионные альтиметры, и, как следствие, для высокоточного определения координат наземных пунктов системы [6].

Практическая эксплуатация системы началась в 1990 г. с запуском первого спутника (SPOT2), оснащенного радиоприемником системы DORIS.

Принцип работы системы основан на измерении бортовым приемником доплеровского сдвига радиочастоты, излучаемой наземным передатчиком-маяком, который связан известными математическими соотношениями с радиальной скоростью космического аппарата. Каждый наземный передатчик излучает две радиочастоты 401.25 МГц и 2036.25 МГц, на одной из которых производятся доплеровские измерения (2036.25 МГц), вторая частота (401.25 МГц) используется для компенсации ионосферной задержки распространения излучаемых сигналов. Бортовой приемник космического аппарата измеряет доплеровский сдвиг частоты, и измеряемые данные поступают по каналам спутниковой телеметрии в Центр управления и контроля системы. После определенных преобразований измеряемые данные поступают в Глобальные Центры Данных, информация которых доступна всем заинтересованным пользователям по каналам анонимного протокола передачи информации (anonymous ftp). В настоящее время для хранения измерений и продуктов системы DORIS используются 2 Центра Данных: **CDDIS**, NASA, Greenbelt, USA (<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/doris>) и **IGN**, Marne-la-Vallee, France (<ftp://lareg.ensg.ign.fr/pub/doris>).

Система DORIS состоит из наземного и космического сегментов, а также Центра Управления и Контроля, расположенного в г. Тулуза (Франция). В процессе эволюции космического сегмента системы число одновременно функционирующих спутников, оснащенных приемной аппаратурой, менялось от 1 (1990 г.) до 6 (2005-2008 гг.).

Следующие космические аппараты участвовали в миссии DORIS на разных этапах ее развития: SPOT2, SPOT3, SPOT4, SPOT5, TOPEX/POSEIDON, JASON-1, JASON-2, ENVISAT. На момент написания данной статьи работоспособными остаются 6 спутников: SPOT2, SPOT4, SPOT5, JASON-1, JASON-2, ENVISAT. В ближайшие 2-3 года планируется расширение космического сегмента системы с запуском новых спутников OCEANSAT-3, PLEIADES-HR [8].

Наземный сегмент системы DORIS состоит из сети радиопередатчиков-маяков, равномерно распределенных по территории Земного шара. В настоящее время наземная сеть системы состоит из более 50 постоянно действующих маяков, три из которых установлены в начале 90-х годов прошлого столетия на территории России (гг. Красноярск, Южно-Сахалинск, населенный пункт Бадары (Иркутская область)). Один передатчик установлен в г. Китаб (Узбекистан). Расположение радиопередатчиков-маяков системы DORIS приведено на рис. 1.

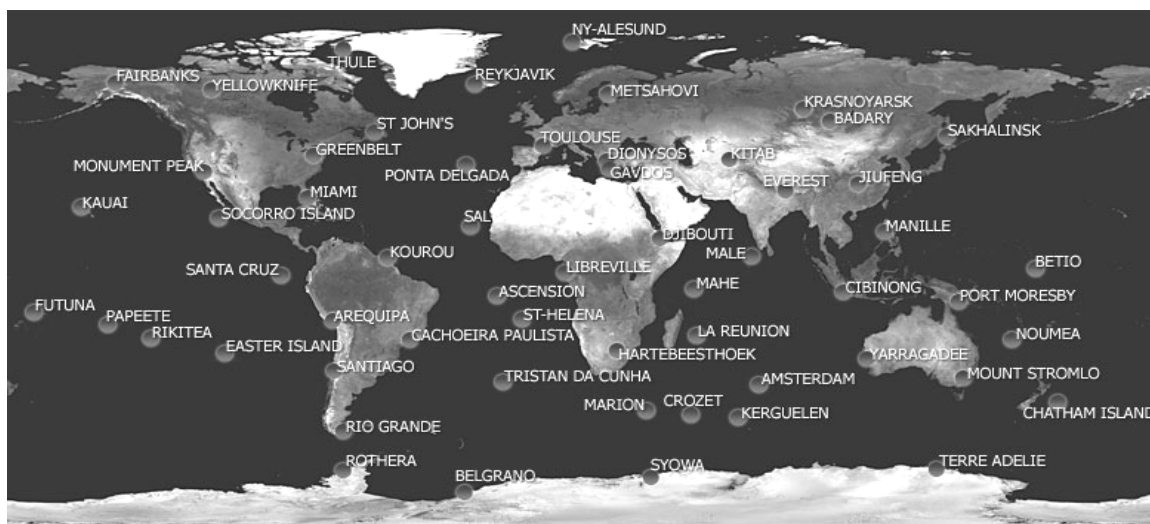


Рис. 1. Сеть наземных станций системы DORIS.

Международная служба системы «ДОРИС»

В середине 2003 г. Международная Геодезическая Ассоциация (IAG) учредила Международный DORIS Сервис (IDS) [7] – как новую службу IAG, которая включена в Глобальную Геодезическую Наблюдательную Систему GGOS (Global Geodetic Observation System) [5]. В данный момент более 50 исследовательских групп из 35 различных стран принимают участие в деятельности IDS на различных уровнях ее активности. Семь Центров Анализа DORIS измерений способны в настоящее время вырабатывать и посылать свои продукты в Центры Данных на постоянной основе. Одним из таких центров является Центр Анализа DORIS данных Института астрономии РАН (INA).

INA посылает свои DORIS-продукты в Глобальные Центры Данных, начиная с 1999 г. [1, 4], используя программный пакет GIPSY-OASIS-II (Linux версия 4.03), разработанный в Калифорнийском технологическом институте (США) и позволяющий быстро обрабатывать большие массивы траекторных измерений спутниковых микроволновых систем GPS (Global Positioning System, USA), DORIS и ГЛОНАСС (Глобальная Навигационная Спутниковая Система, Россия) [9]. К продуктам INA относятся:

- 1) недельные временные ряды координат станций и параметров вращения Земли (ПВЗ) с полной ковариационной матрицей за период 1993.0 – 2009.0 в формате SINEX в «свободной сети» (априорные значения координат станций варьируются в пределах 10 м) (ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/doris/products/sinex_series/inawd/);
- 2) недельные временные ряды вариаций геоцентра в системе ITRF2005 (International Terrestrial Reference Frame 2005) за период 1993.0 – 2009.0 (<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/doris/products/eoc/ina05wd01.geoc.Z>);
- 3) суточные ПВЗ в системе ITRF2005 за период 1993.0 – 2009.0 (<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/doris/products/eop/ina07wd01.eop.Z>);
- 4) недельные временные ряды разницы координат станций (разница координат текущей недели по отношению к опорному решению ITRF2005, полученному Международной Службой Вращения Земли и Опорных Координатных Систем (IERS)) в системе ITRF2005 за период 1993.0 – 2009.0 (<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/doris/products/stdc/ina07wd01/>).

Кроме вышеуказанных продуктов также вырабатываются ежедневные высокоточные орбитальные данные по каждому спутнику, оснащеному бортовым приемником системы DORIS.

На рис. 2 приведены временные ряды изменения координат станции BADA (Бада-ры, Россия), полученные Центром Анализа DORIS данных Института астрономии РАН.

При обработке DORIS данных следует отметить довольно длительную задержку между доступностью измерений в банке данных и датой проведения измерений, которая зависит от конкретного спутника и может достигать, в худшем случае около 40 дней (спутник ENVISAT).

DORIS weekly solutions - INASAN Analysis Center

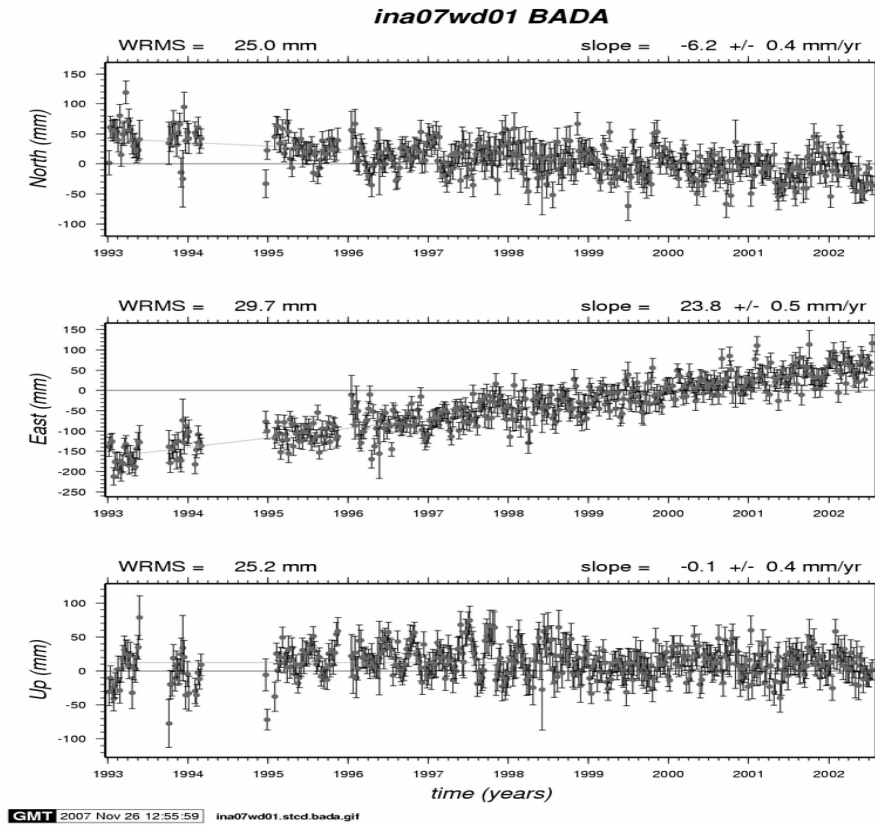


Рис. 2. Недельные вариации компонент координат DORIS станции Бадары (Россия)

Стратегия обработки ДОРИС измерений

В Институте астрономии РАН процесс обработки ДОРИС-измерений состоит из следующих этапов:

1) в слабо определенной сети (свободной сети) с помощью программного пакета GIPSY-OASIS II обрабатываются на суточной основе DORIS-данные, полученные со всех работающих станций и спутников сети DORIS. Выходными продуктами данного анализа являются высокоточные орбиты спутников системы (до 10 см по высотной компоненте) и координаты станций с погрешностью 1-2 см, что позволяет использовать данные результаты для решения многих задач космической геодезии и геофизики. Одновременно, помимо указанных параметров, оцениваются тропосферная задержка распространения сигнала для каждой станции и параметры вращения Земли (координаты полюса и их скорости, продолжительность суток и скорость ее изменения);

2) суточные решения объединяются в недельные решения с получением объединенной ковариационной матрицы, сохраняя при этом суточные оценки ПВЗ и свободный характер решения;

3) «свободные» недельные решения трансформируются в любую хорошо определенную систему координат (ITRF2000, IRTF2005) с использованием семи параметров преобразования Гельмerta. Вычисленные на этом этапе параметры линейного перехода

и масштабный коэффициент дают информацию о движении исходного начала системы координат, т.е. геоцентра.

Впервые продукты IDS были включены наряду с другими, ранее созданными службами, в выработку общего решения ITRF2005, а именно:

- **IVS** – Международной службой по обработке радиоинтерферометрических измерений со сверхдлинными базами (VLBI Service),
- **ILRS** – Международной службой по обработке лазерных измерений (SLR Service);
- **IGS** – Международной службой по обработке измерений спутниковых навигационных систем GPS, ГЛОНАСС, а в будущем, и GALILEO (IGS Service).

Сравнительный анализ DORIS решений для горизонтальных и вертикальной компонент с (1) GPS/IGS решением и (2) с тремя другими технологиями (GPS/IGS + SLR/ILRS + VLBI/IVS) был проведен [2] по результатам решений каждого центра анализа DORIS данных и для комбинированного решения двух центров анализа (IGN+LCA) для 37 станций, на которых совместно размещалась, помимо DORIS маяков, аппаратура других спутниковых технологий (GPS, лазерных и РСДБ (радиоинтерферометров со сверхдлинными базами)).

Результаты сравнительного анализа точности определения координат и скоростей станций в трех центрах анализа DORIS данных, выполненного в аналитическом центре Национального Географического института (IERS IGN) , приведены в таблице.1.

Таблица 1. Результаты оценки точности координат и скоростей станций сети ДОРИС, полученные в трех основных центрах анализа (IGN, INA, LCA) с использованием двух комбинаций измерений: (1) DORIS + GPS/IGS и (2) DORIS + GPS+ SLR + VLBI

| Центр анализа | Погрешности координат | | Погрешности скорости | |
|-------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| | 2D (mm) | U _p (mm) | 2D (мм/год) | U _p (мм/год) |
| IGN(1) | 9.1 | 8.2 | 2.8 | 2.7 |
| IGN(2) | 8.8 | 8.9 | 2.9 | 2.3 |
| INA(1) | 11.9 | 12.1 | 3.0 | 3.0 |
| INA(2) | 13.1 | 12.7 | 3.6 | 3.3 |
| LCA(1) | 10.6 | 12.6 | 2.9 | 3.8 |
| LCA(2) | 10.5 | 11.8 | 3.4 | 3.8 |
| Комбинация (IGN+LCA)(1) | 7.4 | 7.3 | 2.5 | 2.4 |
| Комбинация (IGN+LCA)(2) | 7.2 | 7.2 | 2.7 | 2.3 |

В таблице применены следующие сокращения:

- **IGN** (Institut Geographique National, France) – Центр анализа DORIS данных;
- **INA** (Institute of Astronomy RAS, Russia) – Центр анализа DORIS данных;
- **LCA** (Collecte Localisation par Satellite, France) - Центр анализа DORIS данных;
- 2D – разброс значений в горизонтальной плоскости;
- U_p – разброс значений вертикальной компоненты.

Оценки позиций и скоростей DORIS станций для каждого центра анализа DORIS данных определялись по методике, учитывающей локальные эксцентриситеты станций.

Из таблицы 1 видно, что качество DORIS решений различна в пределах 8.2-12.7 мм по координатам станций и 2.7-3.8 мм/год по скоростям, при этом качество комбинированного решения (IGN+LCA) значительно лучше, чем индивидуальные решения центров.

Результаты анализа определения параметров вращения Земли по измерениям системы DORIS приведены в табл.2 [2]. В качестве референчного решения принимались временные ряды координат полюса, полученные по GPS/IGS, дающие, в настоящее время, лучшие точностные оценки движения координат полюса по сравнению с лазерными и РСДБ определениями.

Таблица 2. Разница взвешенных среднеквадратических ошибок координат полюса определенных по данным DORIS решений трех центров анализа, по сравнению с обобщенным решением IGS/GPS.

| Центр анализа | X-полюс (mas) | Y-полюс (mas) |
|---------------|---------------|---------------|
| IGN | 1.44 | 0.85 |
| INA | 2.02 | 1.40 |
| LCA | 0.48 | 0.44 |

Как видно из таблицы 2 результаты ПВЗ Центра анализа LCA лучше согласуются с ПВЗ/IGS, чем данные параметры двух других центров анализа, что может быть объяснено тем, что LCA анализирует DORIS-измерения на 3,5-суточном временном интервале, в то время как два других центра оценивают суточные измерения. На более длительном интервале – решения более стабильные за счет компенсации случайных ошибок и большего количества измерений. При увеличении количества спутников системы ДОРИС точность определения ПВЗ на коротких временных интервалах должна улучшаться.

Результаты внешнего сравнения [3] показывают, что в настоящее время DORIS-определения координат полюса хуже самых точных в данное время GPS-определений ПВЗ. Пути повышения точности DORIS-определений ПВЗ будут рассмотрены в заключении.

Заключение

Международная DORIS Служба (IDS) является относительно новой и более «молодой» службой, вносящей свой вклад в IERS и новую сеть GGOS, по сравнению с другими существующими технологиями (ILRS, IVS, IGS).

Выполненный в IERS анализ долговременных (12 лет) DORIS-решений различных Центров анализа DORIS-данных, показал разброс значений координат станций (горизонтальных и вертикальных компонент) отдельных индивидуальных решений по внутренней сходимости на уровне 15 мм.

Внешнее сравнение DORIS-определений с решениями других технологий, используемых для построения комбинированного решения ITRF2005, находится в пределах 8 мм по координатам и 2.5 мм/год по скорости, что указывает на высокий потенциал данной системы для геофизических и геодинамических исследований.

Что касается сравнения ПВЗ-определений системы DORIS с общим решением IERS C04, то пока очевидно, что DORIS определения дают худшую точность по сравнению с другими космическими технологиям.

Вместе с тем необходимо отметить, что сеть станций DORIS имеет равномерное глобальное распределение и почти полностью автоматизирована, что очень важно для определения ПВЗ. К тому же в ближайшие 2-3 года ожидается запуск новых спутников, оснащенных многоканальными бортовыми приемниками системы DORIS, что позволит уменьшить шумовые характеристики определения координат движения полюса.

Литература

1. Кузин С.П., Татевян С.К. Обработка и анализ ДОРИС-измерений за период 1999-2001 гг. // Труды семинара «APSG-Иркутск, 2002». – М., ГЕОС, – 2002, – С.54-66.
2. Altamimi Z., X. Collilieux, C. Boucher, Doris contribution to ITRF2005 // J Geod, – 2006, – 80. – P.625-635, DOI 10.1007/s00190-006-0065-5.
3. Gambis D., DORIS and the determination of the Earth's polar motion // J Geod, – 2006, – 80. – P.649-656, DOI 10.1007/s00190-006-0043-y.
4. Kuzin S.P., Sorokin N.A., Tatevian S.K. Recent analysis of DORIS data at INASAN // In: Proceedings of IDS analysis workshop, 20-21 February 2003, Mare le Vaiee. http://lareg.ensg.ign.fr/IDS/events/2003_files/Kuzin_Feb03.pdf. – 2003.
5. Rummel R., Rothacher M., Beutler G. Integrated Global Geodetic Observing System (IGGOS), science rationale // J.Geodyn – 2005. – 40(4-5). – P.355-356. DOI 10.1016/j.jog.2005.06.003.
6. Tavernier G., Granier J.P., Jayles C. et al. The current evolutions of the DORIS System // Adv Space Res. – 2003. – 31(8). – P.1947-1952. – DOI: 10.1016/S0273-1177(03)00155-8.
7. Tavernier G., Fagard H., Feissel-Vernier M. et al. The International DORIS Service, IDS // Adv Space Res. – 2005. – 36(3). – P.333-341. DOI 10.1016/j.asr.2005.03.102.
8. Tavernier G., Fagard H., Feissel-Vernier M. et al. The International DORIS Service: genesis and early achievements // J. Geod. – 2006. – 80. – P.403-417. – DOI 10.1007/s00190-006-0082-4.
9. Webb F.H., Zumberge J.F. An introduction to GIPSY-OASIS II // JPL Internal Document D-11088, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena. – 1997.

DORIS TECHNOLOGY AS A POTENTIAL INSTRUMENT OF THE GLOBAL GEODETIC OBSERVATION SYSTEM

Kuzin S.P., Tatevian S.K.

Institute of Astronomy Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The main goal of the GGOS (Global Geodetic Observing System) is observation Earth's shape, gravity field and rotation and their changes in time. For the solving this task GGOS combines different strategies, different models and different technologies. The satellite microwave system DORIS (Doppler Orbit Determination and Radiopositioning Integrated on Satellite) is one of the GGOS component. The practical operation of the DORIS system has began in 1992 and continues up to now. In the middle 2003 the IDS (International DORIS Service) (International Association for Geodesy) was established by IAG (International Association for Geodesy). The last results obtained by using DORIS system apply not only for investigation sea level variations but also for studying different problems for space geodesy and geophysics (tectonics plates movements, Earth's core deformations and so on). Results of DORIS measurements analysis by INASAN (Institute of astronomy RAS) analysis center are given in this article. These results are compared with the analogies ones obtained with using others space technologies.

ВЛИЯНИЕ ПЛАНЕТАРНЫХ МАСС НА УСТОЙЧИВОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Кузнецов Э.Д.

Уральский государственный университет им. А.М. Горького

Введение

Исследование орбитальной эволюции Солнечной и других планетных систем является одной из фундаментальных задач небесной механики. Устойчивость Солнечной системы — ее жизненно важное для нас свойство. Только устойчивые планетные системы могут служить прибежищами жизни и космической цивилизации.

Согласно исследованиям [1–6] движение планет-гигантов на космогонических временах почти периодически. Но вопрос об эволюции произвольных планетных систем типа Солнечной остается открытым.

За редчайшими исключениями устойчивость системы N тел на космогонических временах обеспечивается двумя факторами: иерархией масс и иерархией расстояний. Иерархия расстояний типична для систем кратных звезд, но встречается и в Солнечной системе.

В планетных системах основную роль играет иерархия масс. Так, масса Юпитера на три порядка меньше массы Солнца. Удаленность планетных орбит друг от друга также вносит некоторый вклад в устойчивость, но он не столь существен. Отношение больших полуосей орбит Сатурна и Юпитера равно примерно 2, а для Земли и Венеры (имеющих существенно меньшие массы) оно составляет всего 1.4.

В настоящей работе исследуется запас устойчивости Солнечной системы по массам при сохранении в начальный момент положения в фазовом пространстве. Для простоты ограничимся случаем двух планет: Юпитера и Сатурна. Масса Урана, который в вдвое дальше Сатурна от Солнца, составляет 15% от массы Сатурна, а Нептуна, еще в полтора раза более далекого, — 18%. Массы планет земной группы существенно меньше. Так что двухпланетное приближение вполне приемлемо для выяснения качественной картины движения.

Понятие *устойчивость* не имеет определенного смысла без дополнительных пояснений. Будем понимать под устойчивым такое поведение системы, при котором оскулирующие эллипсы на космогонических временах остаются в границах, препятствующих тесным сближениям. Точнее,

$$c_1 < a_1(1 - e_1), \quad a_1(1 + e_1) < a_2(1 - e_2) - c_2, \quad a_2(1 + e_2) < c_3. \quad (1)$$

Здесь и ниже a , e , i , Ω , g , M — большая полуось, эксцентриситет, наклон, долгота восходящего узла, аргумент перигелия, средняя аномалия; индексы 1, 2 при массах и оскулирующих элементах относятся к Юпитеру и Сатурну, соответственно; c_1 , c_2 , c_3 определяют размах допустимых колебаний. Причем афелийное расстояние Юпитера остается меньшим перигелийного расстояния Сатурна с некоторым запасом, определяемым радиусом сферы действия Юпитера относительно Солнца. Это определение выделяет один из видов устойчивости по Лагранжу. Разумно положить, например, $c_1 = 4$, $c_2 = 1$, $c_3 = 16$ в астрономических единицах длины. Впрочем, мы еще вернемся к вопросу о постоянных c_k .

1. Численное интегрирование уравнений движения в оскулирующих элементах

Первое исследование поставленной задачи выполнено П. Накози [8–10]. Масса Солнца принята равной единице. Массы планет m_i^0 заменены на $m_i = \chi m_i^0$. Дифференциальные уравнения движения интегрировались численно, для контроля двумя различными методами, на интервале времени 10^5 лет для 27 значений χ от 0.1 до 1000. Использовались два набора начальных данных. В обоих при варьировании параметра χ сохранялись начальные значения кеплеровских элементов e, i, Ω, g, M . В первом наборе, кроме того, сохранялись начальные значения больших полуосей орбит Юпитера и Сатурна, во втором — начальное отношение их средних движений. Последние, в силу третьего закона Кеплера, зависят не только от больших полуосей, но и от масс планет. Оба варианта приводят к практически одинаковому поведению планетной системы. Двупланетная система остается устойчивой до значения $\chi = 29$. При $\chi > 29$ наступает резкий переход к неустойчивости. При $\chi = 29.25$ вековые возмущения появляются во всех элементах орбит и происходит выброс Сатурна из системы за время 10^4 лет.

2. Численное интегрирование уравнений движения в средних элементах

Для исследования поведения системы на космогонических временах часто применяется метод осреднения. В работе [11] для двупланетной системы Солнце — Юпитер — Сатурн методом Альфана–Горячева получены осредненные уравнения движения. Их интегрирование выполнено методом Рунге–Кутты на интервале времени $2 \cdot 10^5$ лет (вперед и назад на 10^5 лет от эпохи 1900.0) при значениях параметра χ от 1 до 99.1. Найдено, что афелийное расстояние орбиты Юпитера превышает перигелийное расстояние орбиты Сатурна при $\chi = 99.1$, что существенно больше полученного Накози критического значения $\chi \approx 29$. Сделан вывод (как оказалось, неверный), что осреднение довольно сильно приукрашивает картину движения в следующем смысле: область возможных значений масс планет, при которых сохраняется устойчивость, становится намного шире.

3. Численное интегрирование уравнений движения в средних элементах с возвратом к оскулирующим элементам

В настоящей работе при анализе устойчивости также используется осреднение по быстрым переменным (средним долготам). В отличие от схемы [11] разложения доведены до второй степени по малому параметру i , главное, произведен возврат от средних к оскулирующим элементам, что существенно изменило картину движения.

Соответствующие расчеты проделаны в работе [12]. Предварительно в статьях [13–17] с помощью рациональной версии эшелонированного пуассоновского процессора [18] получены явные выражения для функций замены переменных. Уравнения движения двупланетной задачи составлены в координатах Якоби как более адекватных по сравнению с гелиоцентрическими. Гамильтониан записан в системе элементов, близких к обычным кеплеровским, в виде ряда Пуассона. Малый параметр и массы планет сохранены в символьном виде. Методом Хори-Депри получены ряды Пуассона для осредненного гамильтониана, производящей функции осредняющего преобразования, правых частей осредненных уравнений и функций замены переменных.

Осредненные уравнения движения для двупланетной системы Солнце — Юпитер — Сатурн интегрировались численно методом Эверхарта 15 порядка на интервале времени 10^6 лет.

Начальные данные для интегрирования основываются на барицентрических экваториальных координатах и скоростях Юпитера и Сатурна на эпоху JD2451545.0, зада-

ваемых численной эфемеридой DE405 [19]. Массы планет, выраженные в массах Солнца M_{\odot} , соответствуют системе постоянных эфемериды DE405: масса Юпитера $m_J = 1/1047.3486 M_{\odot}$, масса Сатурна $m_S = 1/3497.898 M_{\odot}$. Переход к системе координат Якоби выполнялся по следующей схеме: на основе барицентрических экваториальных координат и скоростей были вычислены эклиптические, отнесенные к эклиптике и равноденствию J2000.0, затем — якобиевы координаты и скорости, после чего был выполнен переход к элементам орбит Юпитера и Сатурна в системе координат Якоби (табл. 1). Перед началом численного интегрирования с помощью функций замены переменных осуществлялся переход к средним элементам.

Таблица 1. Элементы орбит Юпитера и Сатурна в системе координат Якоби, отнесенные к эклиптике и равноденствию J2000.0, на эпоху JD2451545.0

| Элементы орбиты | Юпитер | Сатурн |
|----------------------------|---------------------|---------------------|
| a , а. е. | 5.180251657371911 | 9.537772115117789 |
| e | 0.04612072144971203 | 0.05300214774332714 |
| i , градусы | 1.304244457671266 | 2.485920201168172 |
| $M + g + \Omega$, градусы | 34.35262572836114 | 50.01825047394624 |
| $g + \Omega$, градусы | 13.81883121562768 | 92.33558314553019 |
| Ω , градусы | 100.4850488754535 | 113.6520425009415 |

Параметр χ варьировался от 2 до 19. При изменении масс планет сохранялись начальные значения больших полуосей орбит Юпитера и Сатурна. По средним элементам, получаемым в результате интегрирования, вычислялись функции замены переменных и осуществлялся переход к оскулирующим элементам.

Точность интегрирования контролировалась путем оценки относительной разности

$$\delta E = \frac{E - E_0}{E_0} \quad (2)$$

текущего значения полной энергии системы E и ее начального значения E_0 . Максимальные значения $|\delta E|$ увеличиваются с ростом χ от $6.4 \cdot 10^{-12}$ при $\chi = 2$ до $5.8 \cdot 10^{-9}$ при $\chi = 19$.

Устойчивость планетной системы оценивалась по поведению трех переменных: минимальная на промежутке интегрирования разность ξ_1 между перигелийным расстоянием Сатурна и афелийным расстоянием Юпитера в средних элементах

$$\xi_1 = \min[a_2(1 - e_2) - a_1(1 + e_1)], \quad (3)$$

аналогичная минимальная разность ξ_2 в оскулирующих элементах и, наконец, минимальное расстояние ξ_3 между самими планетами

$$\xi_3 = \min |\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|. \quad (4)$$

Величина ξ_3 введена по двум причинам. Во-первых, даже при $\xi_2 = 0$ орбиты не обязательно близки к пересечению, особенно при не слишком малых эксцентриситетах и взаимном наклоне. Для пересечения нужна специальная ориентация орбит. Во-вторых, Юпитер и Сатурн находятся в зоне слабого резонанса $\omega_2 : \omega_1 \approx 2 : 5$. Поэтому совпадение афелия внутренней планеты с перигелием внешней еще не гарантирует тесного сближения.

В табл. 2 представлены величины ξ_1, ξ_2, ξ_3 и радиус ρ сферы действия Юпитера относительно Солнца (в астрономических единицах длины) в зависимости от χ . При $\chi = 18$ величина $\xi_3 = 0.93$ сравнима с радиусом сферы действия Юпитера $\rho = 1.02$. При $\chi = 19$ величина $\xi_3 = 0.21$ уже существенно меньше $\rho = 1.04$. При этом $\xi_2 = -1.13$, т.е. афелий Юпитера может располагаться существенно дальше перигелия Сатурна. Между тем $\xi_1 = 2.55$, так что анализ поведения только ξ_1 дает приукрашенный результат устойчивости системы при $\chi = 19$. В действительности же система теряет устойчивость, скорее всего, при $\chi = 18$. При $\chi = 19$ развал неизбежен.

Таблица 2. Значения $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \rho$ (в а. е.) для системы Солнце — Юпитер — Сатурн

| χ | ξ_1 | ξ_2 | ξ_3 | ρ |
|--------|---------|---------|---------|--------|
| 2 | 3.36 | 3.31 | 3.70 | 0.42 |
| 5 | 3.22 | 3.10 | 3.56 | 0.61 |
| 10 | 3.04 | 2.66 | 3.20 | 0.81 |
| 15 | 2.82 | 1.74 | 2.53 | 0.95 |
| 16 | 2.77 | 1.39 | 2.27 | 0.97 |
| 17 | 2.71 | 0.89 | 1.64 | 0.99 |
| 18 | 2.64 | 0.14 | 0.93 | 1.02 |
| 19 | 2.55 | -1.13 | 0.21 | 1.04 |

Как именно происходит сближение орбит при увеличении параметра χ можно выяснить, анализируя минимальные значения перигелийных и максимальные значения афелийных расстояний в средних элементах

$$\eta_1 = \min[a_1(1 - e_1)], \quad \eta_2 = \max[a_1(1 + e_1)], \quad (5)$$

$$\eta_3 = \min[a_2(1 - e_2)], \quad \eta_4 = \max[a_2(1 + e_2)] \quad (6)$$

и аналогичных расстояний $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4$ в оскулирующих элементах (табл. 3). Для орбиты Юпитера сравниваемые расстояния различаются не более чем на 0.02 а. е. как при изменении параметра χ , так и при переходе от средних элементов к оскулирующим. Для орбиты Сатурна при увеличении χ от 2 до 19 расстояния η_3, η_4 изменяются в пределах 10%, а расстояния ζ_3, ζ_4 , полученные на основе оскулирующих элементов, примерно в 2 раза. Различия в описании орбитальной эволюции Сатурна при росте χ — следствие увеличения амплитуды короткопериодических возмущений, исключаемых при проведении осредняющих преобразований.

Таблица 3. Значения минимальных перигелийных и максимальных афелийных расстояний в средних элементах $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$ и в оскулирующих элементах $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4$ (в а. е.) для системы Солнце — Юпитер — Сатурн

| χ | η_1 | η_2 | η_3 | η_4 | ζ_1 | ζ_2 | ζ_3 | ζ_4 |
|--------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2 | 4.91 | 5.44 | 8.71 | 10.40 | 4.91 | 5.45 | 8.66 | 10.45 |
| 5 | 4.93 | 5.43 | 8.61 | 10.55 | 4.92 | 5.43 | 8.48 | 10.72 |
| 10 | 4.93 | 5.42 | 8.43 | 10.80 | 4.93 | 5.43 | 8.05 | 11.44 |
| 15 | 4.93 | 5.42 | 8.21 | 11.13 | 4.93 | 5.43 | 7.12 | 13.38 |
| 16 | 4.93 | 5.42 | 8.16 | 11.22 | 4.92 | 5.43 | 6.76 | 14.20 |
| 17 | 4.93 | 5.42 | 8.10 | 11.31 | 4.92 | 5.43 | 6.25 | 15.40 |
| 18 | 4.93 | 5.42 | 8.02 | 11.42 | 4.92 | 5.43 | 5.50 | 17.18 |
| 19 | 4.93 | 5.42 | 7.94 | 11.55 | 4.91 | 5.44 | 4.22 | 20.11 |

Данные табл. 3 позволяют найти гарантированные значения постоянных c_k в неравенствах (1). Так, $c_1 = 4.9$ во всех рассмотренных случаях; $c_3 = 11.6$ в средних элементах, тогда как в оскулирующих c_3 быстро растет вместе с χ вплоть до $c_3 = 20.2$ для $\chi = 19$; $c_2 = 2.5$ в средних элементах, тогда как в оскулирующих c_2 становится меньше 1 при $\chi = 17$ и меньше 0 при $\chi = 19$.

Метод осреднения оказался прекрасным инструментом для определения пределов устойчивости по массам. Однако для описания движения после сближения он непригоден: резкое изменение элементов при сближении не укладывается в схему осреднения.

Неожиданно наше критическое значение $\chi \approx 19$ оказалось существенно *ниже* критического значения Накози $\chi \approx 29$. Вероятно, это связано с тем, что на относительно короткой шкале времени в 10^5 лет устойчивость при $\chi = 28$ еще сохраняется. Так, указанные в табл. 2 при $\chi = 18$ и 19 сближения Юпитера и Сатурна на расстояние, меньшее радиуса сферы действия Юпитера, происходят в моменты времени 408930 и 466450 лет соответственно.

Заключение

Исследование устойчивости по Лагранжу двухпланетной системы Солнце — Юпитер — Сатурн методом осреднения показало, что при увеличении масс планет в 19 раз возможны тесные сближения этих планет до расстояния, меньшего сферы действия Юпитера относительно Солнца. Такие сближения должны приводить к существенным изменениям элементов орбит Юпитера и Сатурна, а возможно, и к распаду системы.

Выводы данной работы основаны на результатах численного интегрирования уравнений движения в осредненных элементах на интервале времени 10^6 лет. Этого достаточно для обнаружения неустойчивости. Однако нет полной гарантии, что устойчивое на этом интервале времени движение останется таковым и в дальнейшем. Таким образом, выводы о распаде системы при больших массах можно считать доказанными, тогда как утверждения об устойчивости при меньших массах следует принимать с такой оговоркой: движение устойчиво на указанном интервале времени, и отсутствуют признаки неустойчивости на больших временах.

Автор благодарит К.В. Холшевникова за полезное обсуждение и ценные замечания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам президента РФ для поддержки ведущих научных школ (грант НШ-1323.2008.2), Федерального агентства по образованию Министерства образования и науки РФ (Аналитическая ведомственная целевая программа «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)»).

Литература

1. Холшевников К.В., Кузнецов Э.Д. Обзор работ по орбитальной эволюции больших планет Солнечной системы // *Астрон. вестн.* 2007. Т. 41, №4. С. 291–329.
2. Laskar J. Large scale chaos in the Solar System // *Astron. Astrophys.* 1994. V. 287. P. L9–L12.
3. Laskar J. Chaotic diffusion in the Solar System // *Icarus.* 2008. V. 196. Issue 1. P. 1–15.
4. Laskar J., Gastineau M. Existence of collisional trajectories of Mercury, Mars and Venus with the Earth // *Nature.* 2009. V. 459. P. 817–819.
5. Ito T., Tanikawa K. Long-term integrations and stability of planetary orbits in our Solar System // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 2002. V. 336 P. 483–500.
6. Batygin K., Laughlin G. On the Dynamical Stability of the Solar System // *Astrophys. Journ.* 2008. V. 683. P. 1207–1216.

7. Tokovinin A.A. MSC — a catalogue of physical multiple stars // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1997. V. 124. P. 75–84.
8. Nacozy P.E. On the stability of the Solar System // *Astron. Journ.* 1976. V. 81. P. 787–791.
9. Nacozy P.E. A discussion of long-term numerical solutions of the Jupiter — Saturn — Sun system // *Celest. Mech.* 1977. V. 16. P. 77–86.
10. Nacozy P.E. Numerical studies on the stability of the Solar System. // *Proceedings of the IAU Symposium №81. Dynamics of the Solar System / Ed. Duncombe R.L.* 1979. P. 17–21.
11. Сухотин А.А., Холиевников К.В. Эволюция планетных орбит за 200 тысяч лет, рассчитанная методом Альфана-Горячева // *Астрон. и геодезия.* №14. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1986. С. 5–21.
12. Кузнецов Э.Д., Холиевников К.В. Запас устойчивости двухпланетных систем по массам планет // *Астрон. вестн.* 2009. Т. 43, №3. С. 230–239.
13. Холиевников К.В., Греб А.В., Кузнецов Э.Д. Разложение гамильтониана в ряд Пуассона по всем элементам (теория) // *Астрон. вестн.* 2001. Т. 35, №3. С. 267–272.
14. Холиевников К.В., Греб А.В., Кузнецов Э.Д. Разложение гамильтониана двухпланетной задачи в ряд Пуассона по всем элементам: оценка и прямое вычисление коэффициентов // *Астрон. вестн.* 2002. Т. 36, №1. С. 75–87.
15. Кузнецов Э.Д., Холиевников К.В. Разложение гамильтониана двухпланетной задачи в ряд Пуассона по всем элементам: применение пуассоновского процессора // *Астрон. вестн.* 2004. Т. 38, №2. С. 171–179.
16. Кузнецов Э.Д., Холиевников К.В. Динамическая эволюция слабозмущенной двухпланетной системы на космогоническом интервале времени: система Солнце — Юпитер — Сатурн // *Астрон. вестн.* 2006. Т. 40, №3. С. 263–275.
17. Кузнецов Э.Д., Холиевников К.В. Орбитальная эволюция двухпланетной системы Солнце — Юпитер — Сатурн // *Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер. 1.* 2009. Вып. 1. С. 139–149.
18. Ivanova T. A new echeloned Poisson series processor (EPSP) // *Celest. Mech. and Dyn. Astron.* 2001. V. 80. P. 167–176.
19. Standish E.M. JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405. Interoffice Memorandum. 312.F-98-048. JPL. 1998. 18 p.

PLANETARY MASSES INFLUENCE ON THE SOLAR SYSTEM STABILITY

Kuznetsov E.D.

Ural State University named after A. M. Gorky.

Stability in the sense of Lagrange was investigated for two-planetary the Sun — Jupiter — Saturn system on the time span 10^6 years using averaging method. Close approaches of Jupiter and Saturn become possible if planetary masses increase more than 19 times. Close approaches can be detected by analyzing the behavior of osculating elements. They are absent in mean elements.

НОВЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ НА ОСНОВЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Лапаева В.В., Кутленков М.В., Кистерский А.П., Нефедьев Ю.А.

Астрономическая обсерватория им. В.П. Энгельгардта,
422526, Россия, Татарстан, Зеленодольский р-н, ст. Обсерватория, АОЭ, star1955@mail.ru

Рассматривается взаимосвязь между остаточными уклонениями наблюдаемых широт и долгот с различными геофизическими и геодинамическими явлениями (например, с сейсмической активностью). Доказывается тот факт, что изменения средних широт станций могут содержать геофизическую информацию.

Определения координат станций (широт и долгот) астрономическими методами в угловой мере выполнялись в течение 100 лет с конца 19 до конца 20 столетия. За долгие десятилетия работы международных и национальных служб отслеживания вращения Земли накоплен огромный наблюдательный материал, который в настоящее время не востребован и мало кого интересует.

Есть основания полагать, что остаточные уклонения наблюдений широт и долгот имеют связь с различными геофизическими и геодинамическими явлениями, например, с сейсмической активностью. Заслуживают внимания публикации 70-х годов прошлого столетия профессора Н.Н. Павлова об аномальных изменениях долгот станций в связи с Чилийским землетрясением 1960 года.

Отметим, что 50-60-е годы характеризовались повышенной сейсмичностью. В эти годы произошли землетрясения с магнитудами 9 и более.

Среди них сильнейшим было Чилийское землетрясение (22 мая 1960 г.). Это был не просто один толчок. С 21 мая по 22 июня в Чили произошло 225 подземных толчков, из них 10 с магнитудой больше 7 и 3 с магнитудой больше 8, а магнитуда самого сильного толчка 22 мая по разным оценкам колеблется от 8.4 до 9.7. В результате землетрясения западный берег южной Америки на большом протяжении опустился на глубину от 1 до 5 метров и поднялся в других местах.

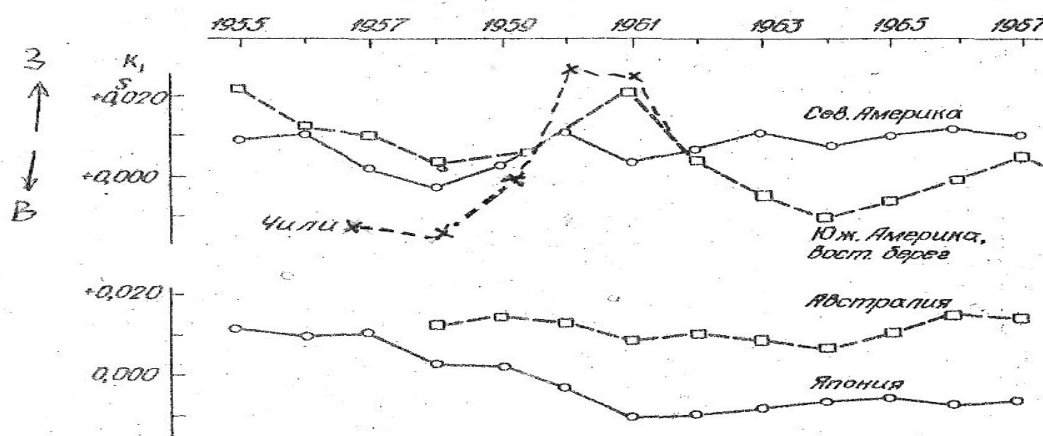


Рис. 1.

На рис. 1 даны среднегодовые поправки долгот служб времени за 1955-1967 годы для Северной Америки, восточного и западного берега Южной Америки. У всех 3-х американских служб времени был один и тот же ход в изменениях долготы. Сначала

произошло смещение к востоку (восточный экстремум 1958 года), затем все станции двинулись к западу и достигли максимального смещения в 60-61 годах. Наибольшее смещение показал наиболее близкий к эпицентру западный берег Южной Америки (Чили). Противоположный берег Тихого океана (Австралия, Япония) (нижняя часть графика) в этом движении не участвовали.

Перед землетрясением долготы всех служб изменялись в западную сторону, но по-разному. Особенно значительны эти изменения у тихоокеанских служб. Наибольшее изменение долготы произошло перед самым землетрясением у Чили (в линейной мере до 16 метров). Несколько меньше сместился восточный берег Южной Америки (9 метров), далее идут Япония, Австралия, Северная Америка (8.5 м), Африка –(5.6 м), и совсем незначительно Западная Европа – (2.4 м), Евразия – (2.4 м). С апреля месяца западное смещение Чили приостановилось, что можно рассматривать как накопление напряжения перед землетрясением и с мая до июля имело обратный ход. Автор статьи (Павлов) рассматривает эти изменения как глобальную деформацию «земная кора на обширной территории, охватывающей все океаническое полушарие, как бы сморщилась и сдвинулась к западу, причем наибольший сдвиг был в районе землетрясения».

Интерпретация Павлова (большие горизонтальные смещения земной коры) впоследствии не без оснований, подвергалась критике. Может быть и другое объяснение – например, вариации гравитационного поля.

Нам было очень интересно выяснить, а как менялись в это же время широты пунктов на разных материках. Мы воспользовались монографией «Движение полюса Земли с 1890.0 по 1969.0» киевских астрономов, где приведена сводка всех рядов широтных наблюдений за этот интервал времени. Мы рассмотрели изменения средних широт станций, поскольку именно прогрессивные изменения средних широт в первую очередь могут нести в себе геофизическую информацию. Были выбраны те станции, которые вели непрерывные наблюдения в 1955-1965 годах без каких-либо изменений программ. К сожалению, в южном полушарии таких станций не оказалось. Они были там раньше или появились позднее.

Результаты изменений средних широт 22 станций приведены на графиках.

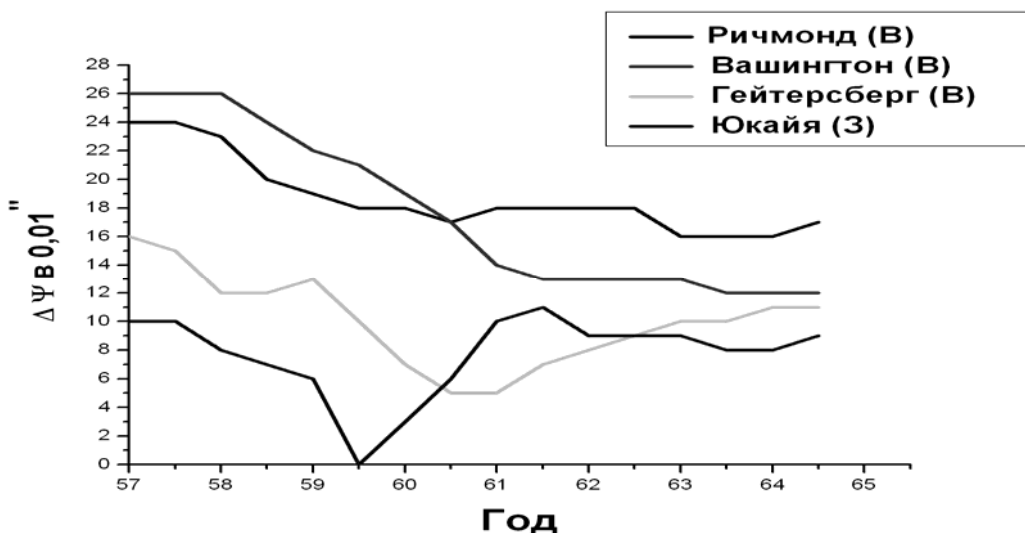


Рис. 2.

Значительные и согласованные изменения средних широт происходили у всех 4-х североамериканских станций (рис. 2). До 60-61 года широты почти линейно уменьшались со скоростью 0.02''-0.03'' в год. Изменения составили от 0.07'' до 0.10''. Это боль-

шие изменения (4-6 м в линейной мере). После 62 года изменения средних широт прекратились. Существенно и по-разному изменялись широты европейских станций. До 60 года широты изменялись незначительно. После 60-го изменялись значительно и по-разному.

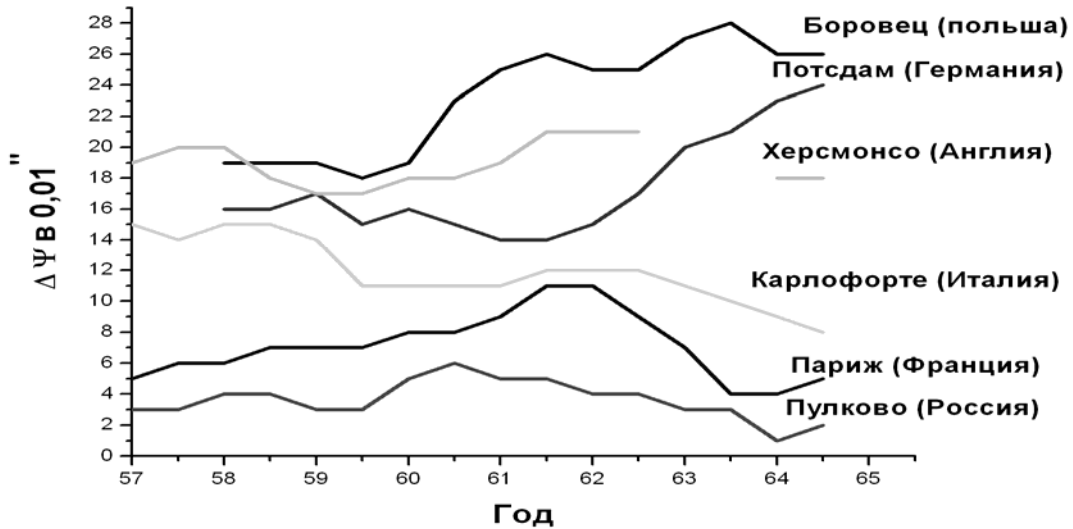


Рис. 3.

Широты северо-западных станций (Польша, ГДР, Англия) увеличивались со скоростью 0.01" в год, южных (Париж, Карлофорте) и Пулкова уменьшались с той же скоростью (рис.3).

Самые большие (от 08" до 0.21") и сходные (в виде пика в 60-62 годах) изменения средних широт имели станции АОЭ, Полтава, Белград (рис. 4).

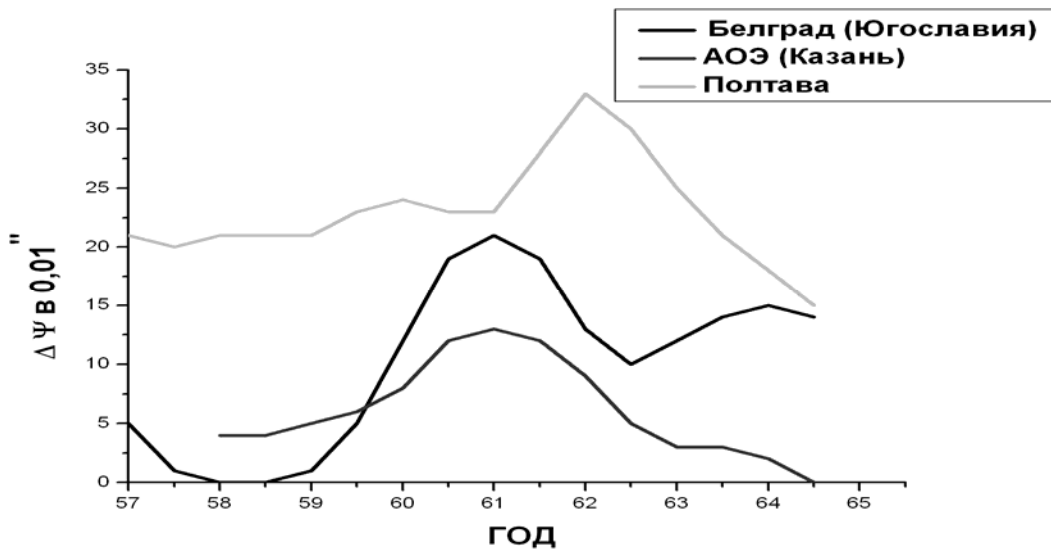


Рис. 4.

Изменения средних широт азиатской части Евразии (Китаб, Иркутск, Благовещенск), а также Китая незначительны и не превышают 0.02"-0.03" (Рис. 5).

Следовательно, как долготы, так и широты всех американских станций менялись значительно и согласованно, что говорит в пользу реальности этих изменений. Как дол-

готы, так и широты Японии менялись мало. Что касается Европы, то у Павлова приведены осредненные для всех станций поправки долгот. Для западной Европы (6 станций) и для Евразии (СССР-16 станций). Так что изменений долгот отдельных станций проследить нельзя. В целом для изменений координат рассматриваемых пунктов (широт и долгот) 60-61 годы, действительно, являлись критическими. Вблизи 60-61 происходили значительные изменения и широт и долгот.

Особо остановимся на пунктах Белград-Полтава-АОЭ. Изменения средней широты АОЭ в 1960-1962 годах (0.07") самые значительные за весь почти 50-летний период ее измерения. Реальность этих изменений не вызывает сомнений. До сих пор мы связывали их с заполнением Куйбышевского водохранилища. Но тот факт, что аналогичные изменения происходили и на других станциях (Белград, Полтава), дают основания полагать, что причина имеет более глобальный характер.

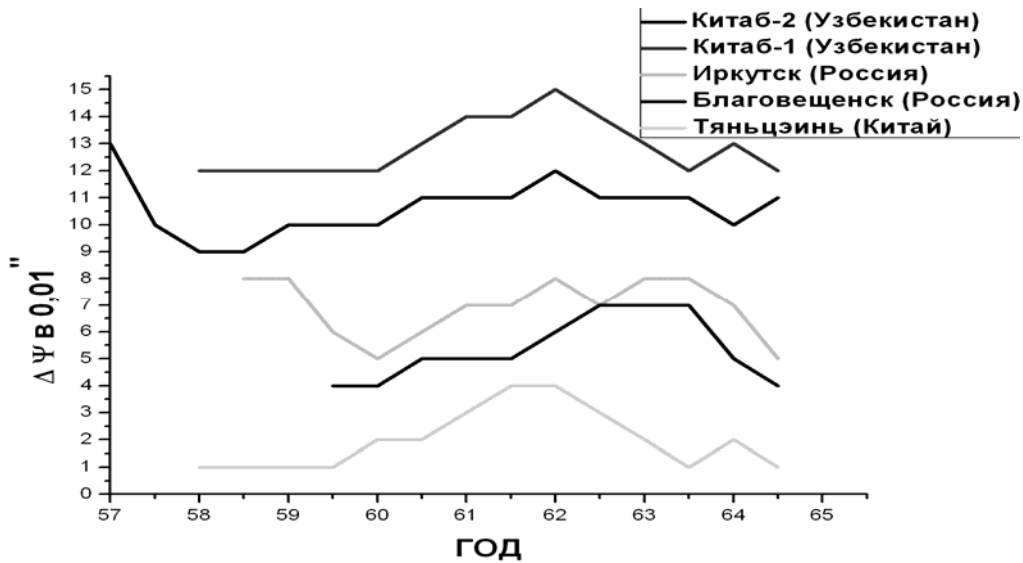


Рис. 5.

Невелики эти изменения и для 4-х японских станций (исключение составляет Мицузава- зенит-телескоп) (Рис. 6).

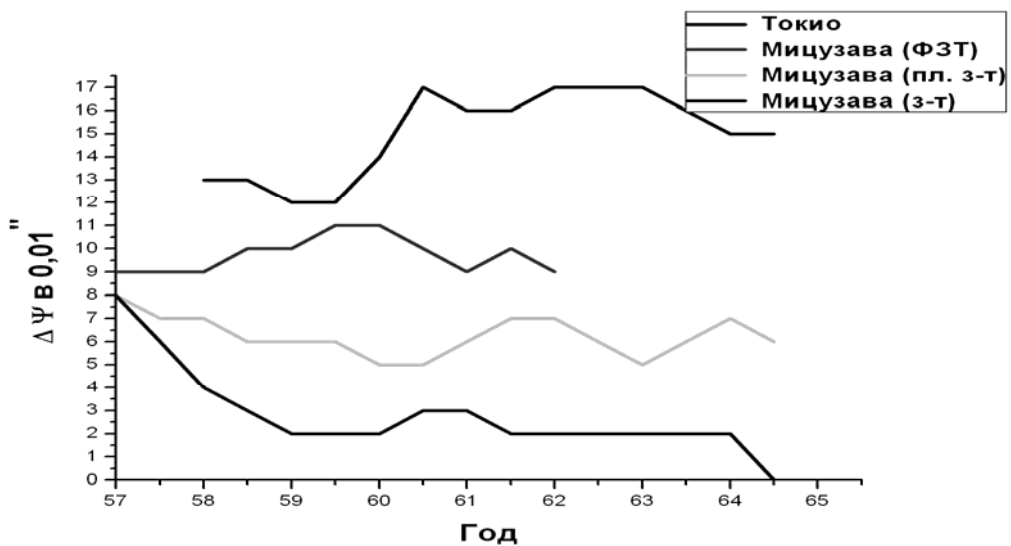


Рис. 6.

В Карпатах есть сейсмическая зона Вранча, где происходят сильные землетрясения. Известно, что волны Карпатских землетрясений доходят до Казани. По исследованиям изолиний вертикальных движений земной коры и изосейт карпатских землетрясений И.В. Ананьин установил наличие структурного элемента (кора, верхняя мантия), вытянутого в северо-восточном направлении «из района Крыма к воронежскому поднятию и возможно, далее. Эта неоднородность по глубине уходит в верхние части мантии». Волны от карпатских землетрясений вытянуты в северо-восточном направлении и резко затухают в восточном и северо-западном. (В.И. Ананьин пришел к выводу, что движения Русской платформы вытянуты полосами преимущественно в северо-восточном направлении.). Возможно, что такая геоструктурная зона начинается за пределами Русской платформы (в Карпатах). Цепочка пунктов Белград-Полтава-Казань вытянута в северо-восточном направлении более чем на 2 тысячи километров.

Трудно объяснить описанные выше изменения долгот и широт плановыми смещениями, достигающими нескольких метров. Горизонтальные движения тектонических плит по современным данным не превышают нескольких сантиметров в год. Конечно, значительные нерегулярные плановые смещения в определенный нестабильный момент в истории Земли отрицать нельзя. Современными методами в 60-м году их никто не измерял.

Основная причина могла быть и другой. Астрономические определения широт и долгот связаны с направлением отвесных линий в пунктах наблюдения. Существуют непривлинные изменения их направлений. Положение отвесных линий весьма чувствительны к деформациям гравитационного поля, к перемещениям масс на поверхности и внутри Земли, к изменениям наклона уровневых поверхностей. Приведем один пример. Астрономическая обсерватория им. Энгельгардта расположена недалеко от Куйбышевского водохранилища, уровень воды которого, регулируемый ГЭС, изменяется с годовым периодом, что влечет за собой годовичные колебания местной вертикали (рис. 7).

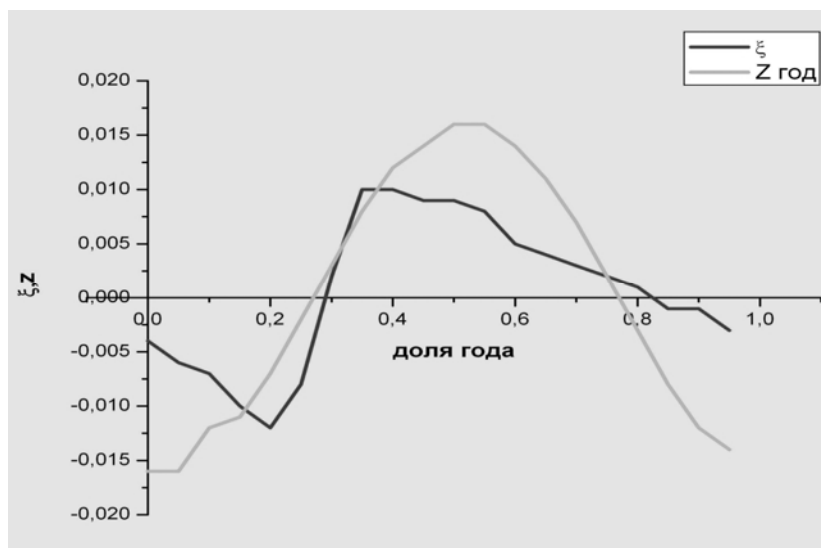


Рис. 7.

П.А. Кистерский разработал метод их вычисления и вычислил эти вариации. Изменения широты за счет этого эффекта должна достигать $0.03''$. Сравнение с годовой волной в неполярных изменениях широты дает хорошее согласие.

Серьезная работа по оценке влияния вековых вариаций гравитационного поля на изменения астрономических широт и долгот была выполнена сотрудниками ЦИНИГАИКа М.И. Юркиной и А.Ш. Файтельсоном. По картам вековых изменений (за 7-10 лет) силы тяжести оценены соответствующие смещения отвесов (зенитов) некото-

рых пунктов. Результаты показали заметное изменение астрономических широт и долгот пунктов в связи с изменениями земного гравитационного поля. Изменения уклонений отвесов или смещения зенитов получились порядка $0.01''$ – $0.06''$. Так, что изменения гравитационного поля вполне вероятная причина изменений широт и долгот.

Известно, что в 80-90-х годах на территории Татарстана произошла серия землетрясений. Магнитуда наиболее значительных из них доходила до 4. Обнаружена корреляция моментов землетрясений с аномальными отклонениями наблюдаемой широты от вычисленной. Кривая наблюдений широты была сопоставлена с данными каталога землетрясений (Рис. 8).

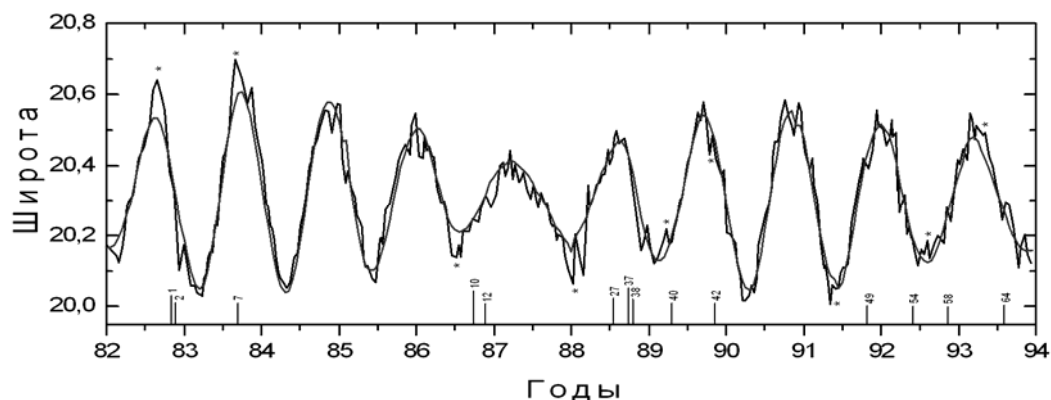


Рис. 8.

На графике показана широта, вычисленная по координатам полюса. Она гладкая. Наблюдаемая широта (черная ломаная линия) построена по не сглаженным нормальным точкам. Вертикальными точками показаны моменты землетрясений. Большие отклонения наблюдаемой широты от вычисленной показаны звездочками. На графике видно, что практически перед каждым землетрясением имели место значительные отклонения наблюдаемой широты от вычисленной.

THE NEW APPROACH TO STUDY OF THE ANTHROPOGENIC CATASTROPHE ON BASE OF THE ASTRONOMICAL OBSERVATIONS

Lapaeva V.V., Kutlenkov M.V., Kistersky A.P., Nefedev J.A.

Engelhardt astronomical observatory (EAO),

422526, Russia, Tartarstan, Zelenodoliskiy region, cl. Observatory, EAO, star1955@mail.ru

The relationship between residual evasion of observed latitudes and longitudes with various geophysical and geodynamic phenomena (for example with seismic activity) are considered. The fact that changes of average latitudes of stations can contain the geophysical information is proved.

ЭПОС – ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭФЕМЕРИДНОЙ ПОДДЕРЖКИ НАБЛЮДЕНИЙ ОБЪЕКТОВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Львов В.Н., Цекмейстер С.Д.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Программная система (ПС) ЭПОС разработана в Пулковской обсерватории и имеет свидетельство об официальной регистрации Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. ПС ЭПОС является эффективным инструментом для изучения и эфемеридной поддержки наблюдений объектов Солнечной системы. Её использование пулковскими астрономами способствовало количественному и качественному росту оптических наблюдений, изучению особенностей движения малых тел Солнечной системы, поддержке печатных изданий и дальнейшей популяризации астрономии.

Здесь приводится краткое описание отдельных программ ПС ЭПОС версии 7. Более подробная справка по каждой программе встроена непосредственно в систему. Все необходимые данные: элементы орбит астероидов и комет, координаты обсерваторий, численные эфемериды Солнца, Луны и планет, а также звёздные каталоги – доступны либо через Интернет, либо распространяются на компакт-дисках или жёстких дисках и *могут быть адаптированы самим пользователем.*

1. Программа “Каталоги элементов”

Программа “Каталоги элементов” позволяет импортировать элементы орбит астероидов и комет из внешних источников, экспортировать каталоги из внутреннего представления в текстовые файлы, просматривать и редактировать данные. Для более точного вычисления эфемерид форматы данных для астероидов и комет несколько отличаются друг от друга. Весьма эффективной является возможность делать выборки в соответствии с разными условиями и на их основе создавать каталоги объектов, с которыми далее можно отдельно работать. В настоящей программе опции “Гистограмма” и “Распределение” позволяют дополнительно контролировать данные, выявлять и изучать различные группы объектов. На рис. 1 – гистограмма величин наклона для астероидов группы Гильды. Отмеченная “двугорбость” подтверждается на рис. 2 – зависимости “долгота восходящего узла – наклон”. Здесь же мы видим синусоидальный характер областей концентрации объектов. Соответствующими поворотами вокруг координатных осей Z и X можно добиться выпрямления указанных синусоид, т.е. перейти

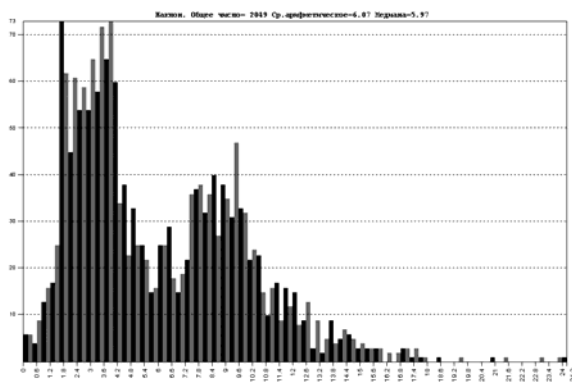


Рис. 1.

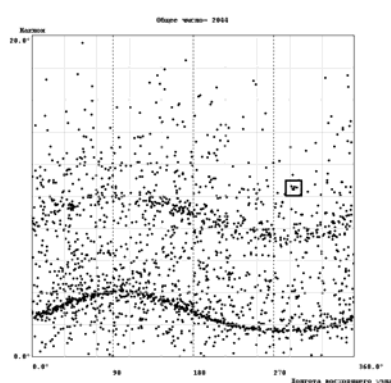


Рис. 2.

от эклиптики к плоскости симметрии орбит изучаемой группы объектов. Возможно сохранение в файле списка объектов, которые соответствуют точкам в обрамлённой рамкой области рисунка. С помощью этой программы был уточнён состав ранее выделённых групп астероидов и обнаружены новые динамические семейства и подгруппы в главном поясе астероидов [1, 2].

2. Программа “Эфемериды”

Здесь можно выбрать нужный объект из предлагаемого списка каталогов, задать интервал и шаг эфемериды, указать место наблюдения (из списка обсерваторий или заданное пользователем) и шкалу времени, сформировать список выходных параметров вместе с форматами их вывода. Наконец, можно выбрать точность вычислений для астероидов и комет и используемую численную эфемериду. Кроме наблюдаемых величин можно вычислить прямоугольные координаты и скорости, отнесённые к заданным центру и основной плоскости, а также элементы гелиоцентрической орбиты.

К особенностям программы можно отнести: возможность вычисления некоторых величин, не поддерживаемых другими программными средствами (например: вторые производные сферических координат), эффективное формирование списка выходных параметров и управление форматами их представления, выполнение групповых операций при чтении данных из специальных файлов.

Последние два пункта требуют дополнительного пояснения. Из фиксированного списка, содержащего около 40 позиций, можно выбрать в нужной последовательности необходимые выходные параметры. При этом можно удалить как отдельные позиции, так и весь сформированный список и начать заново. Часто используемый список выходных параметров можно запомнить в специальном файле и при необходимости быстро его открывать.

В меню “Форматы” можно задать необходимый вид представления величин (например: градусы или минуты, секунды и т.д.) и число значащих цифр после десятичной точки.

Для пакетной обработки входных данных создаётся специальный текстовый файл, в котором по определённым правилам можно оформить различные задания, например: вычислить эфемериду для объектов в заданном интервале номеров, произвести вычисления на ряд произвольных моментов, задать свои величины элементов или векторов для объекта в разных сочетаниях и с большей формальной точностью.

Оперативный доступ к самым последним данным и удобство их использования как в автономной, так и совместной работе ПС ЭПОС с другими программами [3] способствовали эффективному формированию и осуществлению различных программ наблюдений, в частности АСЗ – астероидов, сближающихся с Землёй, а также комет. За последние несколько лет Пулковская обсерватория регулярно занимала места во второй десятке (из более 700 обсерваторий) по количеству наблюдений в мировом рейтинге наблюдений АСЗ и первое место в СНГ. Мы надеемся, что результаты будут ещё лучше с вводом в строй более мощных инструментов и интенсификацией наблюдений на Горной станции. Но уже сейчас Пулковская обсерватория стала одним из серьёзных мировых центров по изучению объектов, сближающихся с Землёй [4].

3. Программа “О-С” (Наблюдения минус вычисления)

Программа “О-С” позволяет сравнить наблюдаемые координаты и звёздные величины объекта (если есть) с вычисленными величинами на тот же момент, что помогает обнаружить наличие грубых ошибок и оценить точность наблюдений. Таким образом, пользователь может, с одной стороны, контролировать результаты своих наблюдений

перед отправкой их в MPC, с другой стороны, самостоятельно оценить точность любых имеющихся у него наблюдений, выполненных на других станциях.

Данные наблюдений хранятся в текстовых файлах и имеют формат, принятый в Циркулярах MPC, т.е. каждая строка содержит топоцентрические прямое восхождение и склонение, отнесённые к моментам в шкале UTC, а также звёздную величину (если производилась оценка блеска). В конце строки должен стоять код обсерватории для учета поправок за параллакс. Если анализируются наблюдения, редуцированные к геоцентру, то используется код 500. Если обсерватория не указана (в этом случае на месте номера стоят символы ***), то программа запрашивает её координаты. Таким образом можно обработать наблюдения, полученные в любом месте, не входящем в официальный список обсерваторий MPC.

С помощью меню можно задать имя входного файла с данными наблюдений и выходного файла с результатами вычислений (содержимое этих файлов отображается в окнах просмотра), определить список используемых каталогов элементов (нумерованные и ненумерованные астероиды и кометы) и выбрать нужную численную эфемериду.

С помощью других элементов управления можно выбирать для обработки наблюдения, относящиеся либо к одной обсерватории, либо к одному объекту, задавать шкалу времени и точность интегрирования, указывать тип наблюдений (астрометрические, видимые или относительные), а также экватор и равноденствие (J2000.0 или B1950.0). Объекты, не обнаруженные в используемых каталогах, выводятся в специальный список. Относительные наблюдения подразумевают любые сочетания объектов, например: планета – спутник, спутник – спутник, спутник – астероид.

Если в течение одной ночи в одном пункте получено не менее трёх наблюдений одного объекта, то производится отдельная оценка точности положений этой ночи. Из этих же наблюдений можно оценить скорости изменения координат объекта в средний момент его наблюдений и сравнить их с вычисленными величинами. В ряде случаев именно эти данные позволяют более уверенно отождествить объект.

Контроль качества и оценка точности пулковских наблюдений объектов Солнечной системы регулярно производятся перед отправкой наблюдений в MPC. Отдельно уже несколько лет ведётся работа по анализу точности мировых наблюдений астероидов [5]. Показано, что точность лучших любительских наблюдений приближается к величинам, полученным профессионалами. Следует добавить, что точность наблюдений АСЗ заметно хуже для всех обсерваторий, что объясняется главным образом тем, что это объекты с большим видимым движением. Полученные величины средней ошибки одного наблюдения для каждой обсерватории могут использоваться для назначения весов соответствующих наблюдений в процедуре улучшения орбит.

4. Программа “Кадр”

С помощью этой программы можно моделировать видимое движение многих объектов на небесной сфере на фоне звёзд. Для моделирования видимого движения используются кнопки ручной и автоматической смены кадров вперёд и назад по времени и остановки. Возможность изменять шаг по времени, поле зрения кадра, включать и выключать геометрическую интерпретацию блеска объектов, менять направление осей координат, поместить в центр кадра любой из объектов Солнечной системы и т.д. создаёт дополнительные удобства при работе с программой. Помимо моделирования динамической картины любого взаимного явления можно на заданный момент времени получить и сохранить в файле списки попавших в кадр объектов Солнечной системы и звёзд, что может помочь в отождествлении всех объектов, полученных на реальных ПЗС-кадрах. Такая возможность полезна не только для интерпретации текущих наблю-

дений, но и для архивного поиска объектов на старых снимках. При этом отдалённость момента от современной эпохи лимитируется только мощностью компьютера.

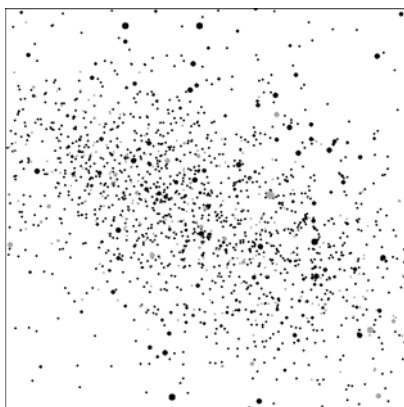


Рис. 3.

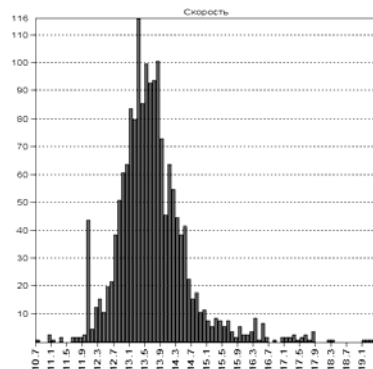


Рис. 4.

Программа может также помочь в исследовании состава населения Солнечной системы в области, которая соответствует сферическому сегменту с вершиной в центре Земли, с углом раствора равным размеру поля зрения и с заданной (или неограниченной) предельной дальностью. На рис. 3 показана площадка размером $45^\circ \times 45^\circ$, покрывающая большую часть области троянцев Юпитера (серый цвет) в окрестности точки L4 по состоянию на 10 августа 2009 года. Здесь же показаны (чёрный цвет) попадающие в поле зрения астероиды группы Гильды. Специальная опция даёт возможность изучить распределение всех попавших в кадр объектов по нескольким параметрам: по гелиоцентрическому расстоянию и скорости (см. рис. 4), по видимой и абсолютной звёздной величине.

5. Программа “Треки”

Программа позволяет вычислить астрометрические координаты объекта для заданного места и интервала времени и просмотреть его видимый путь (трек) на фоне звёзд. Элементы управления предоставляют широкие возможности для подготовки данных и настройки изображения. Можно отметить видимые сближения астероида со звёздами (хотя для этого существует и специальные средства). Но главным образом эта программа используется для поиска петель треков, где, как известно, существенно меняются параметры видимого движения объектов, что важно для некоторых задач астрометрии.

6. Программа “Орбиты”

Программа “Орбиты” моделирует движение объектов Солнечной системы в пространстве с точки зрения задаваемого пользователем фиктивного наблюдателя. Элементы управления программы позволяют выбрать угол зрения и масштаб, скорость движения объекта, наличие на рисунке орбит, осей координат, линий апсид и узлов, части плоскости эклиптики. К особенностям программы можно отнести режим накопления изображений, который позволяет более наглядно представить эволюцию орбит. Рис. 5 иллюстрирует изменение орбиты астероида Apophis из-за гравитационного воздействия Земли всего лишь за сутки 13 апреля 2029 г. А от этого изменения, как известно, зависит, столкнётся ли он в будущем с Землёй или нет. Уточнить прогноз могут только новые высокоточные позиционные наблюдения.



Рис. 5.



Рис. 6.

Качественная картина может быть дополнена более подробным вычислением элементов оскулирующей орбиты на этом же интервале в программе “Эфемериды”.

В режиме работы “Рой” программа может моделировать движение одновременно большого числа объектов определённого типа, элементы которых содержатся в отдельном каталоге. Выбор нескольких каталогов позволяет отслеживать совместное движение разных групп астероидов. Простая визуализация движения астероидов группы Гильды сразу позволила “на глаз” выявить интересные особенности, что способствовало их дальнейшему более подробному изучению [1].

Ещё одной особенностью программы является режим “Глаз”, который позволяет поместить наблюдателя на любом из известных объектов Солнечной системы и вместе с этим объектом двигаться. Помещение в центр кадра другого заданного объекта позволяет рассмотреть его во всех аспектах при взаимном сближении наблюдателя с объектом наблюдения, что полезно при изучении АСЗ. На рис. 6 показан вид Земли с астероида Apophis при его максимальном сближении 13 апреля 2029 года.

7. Программа “Опасные объекты”

Программа позволяет решать две задачи:

- Получение списка потенциально опасных объектов, т.е. тех астероидов и комет, минимальное расстояние орбит которых от орбиты планеты не превосходит некоторой заданной величины (для Земли обычно 0.05 а.е.). Здесь же можно наложить косвенные ограничения на размер астероидов, задав предельную абсолютную звёздную величину (обычно $22^m.0$, что соответствует размеру объекта в 100-200 метров). Таким образом, при каждом обновлении основных каталогов легко получить текущий каталог потенциально опасных объектов для Земли и других планет. Если рассматривать полученные объекты как возможные источники потоков частиц, то полезными будут также выводимые величины гелиоцентрической долготы, на которой Земля или другая планета максимально сближается с упомянутой орбитой, и календарной даты, в которую это сближение происходит.

- Получение списка реальных тесных сближений астероидов и комет с Землёй или другой планетой на заданных минимальном расстоянии и интервале времени. Указанный список необходимо подвергать ревизии при каждом обновлении каталогов элементов, т.к. количество объектов постоянно увеличивается, а элементы уже известных всё время улучшаются.

8. Программа “Что наблюдать”

Программа позволяет получить список объектов, которые можно наблюдать в заданную ночь в заданном месте. Если речь идёт об оптических наблюдениях, то ограни-

чивается высота Солнца (сумерки). Для радиоастрономических наблюдений вместо ночи имеется в виду та часть суток, в которой объект находится над горизонтом. Возможны вычисления и на несколько суток. Можно также наложить дополнительные ограничения на минимальные величины блеска, высоты над горизонтом и элонгации объектов.

9. Окружение ПС ЭПОС. Перспективы

Разработаны несколько программ, которые, хотя и не входят в состав ПС ЭПОС, используют его данные. Это, прежде всего программы, которые вычисляют обстоятельства покрытий звёзд Луной и астероидами, покрытий Луной объектов Солнечной системы, а также программы видимых тесных сближений астероидов со звёздами и между собой. Результатом их работы являются табличные и графические данные. Разрабатываются программы моделирования движения метеорных потоков, движения объектов на подковообразных и квазиспутниковых орбитах, когда рисуется их истинный путь в пространстве либо около одного центра, либо около двух квазинеподвижных центров.

В заключение авторы выражают свою благодарность О.П. Быкову, А.В. Девяткину, Т.П. Киселевой, В.В. Куприянову, С.С. Смирнову, М.С. Чубею – тем сотрудникам ГАО РАН, которые в течение нескольких лет наиболее активно использовали ПС ЭПОС в своей работе, высказывали свои замечания и предложения.

Литература

1. *Львов В.Н., Смехачева Р.И., Смирнов С.С., Цекмейстер С.Д.* Некоторые особенности астероидов группы Гильды // Известия ГАО РАН, 2004, 217, 318-324.
2. *Смирнов С.С.* Новые семейства астероидов во внешней части главного пояса вблизи соизмеримости 9:5 // Известия ГАО РАН, 2006, 218, 135-140.
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-320М. II. Известия ГАО РАН, 2004, 217, 505-530.
4. <http://neopage.pochta.ru>
5. *Bykov O.P., L'vov V.N., Izmailov I.S., Kastel G.R.* An accuracy estimation of the World CCD asteroid observations in the years 1999–2005 // Planetary and Space Science, 2008, 56, 1847-1850.

EPOS – THE EFFECTIVE INSTRUMENT FOR EPHEMERIS SUPPORT OF OBSERVATIONS AND FOR RESEARCH OF THE SOLAR SYSTEM OBJECTS

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

The various aspects of the EPOS facilities in the Solar system research are described: minor bodies database maintenance, statistical investigations, search for new groups and families; ephemeris support of observations, control of observations and accuracy estimation, objects identification for the specified sky area and moment of time, visualization of apparent motion of objects on the sky and their orbital motion, search for potentially hazardous objects for the Earth and planets, etc. The EPOS software package may be useful for professional and amateur astronomers and in educational and publishing activity as well.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ БАЗЫ ДАННЫХ КАК ФУНДАМЕНТ ВИРТУАЛЬНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Мажаев А.Э., Процюк Ю.И.

*НИИ «Николаевская астрономическая обсерватория»
Николаев, Украина*

В статье представлены результаты работы в 2006-2008 годах по созданию астрономических баз данных (БД) с целью развития Николаевской виртуальной обсерватории (НВО). В состав НВО входят: БД астрометрических каталогов звёзд, БД фотопластинок и БД ПЗС изображений. БД облегчают поиск и предоставляют доступ к текстовой и графической информации. Астрометрические каталоги звёзд также доступны в виде XML файлов в стандартном формате VOTable.

В статье показан количественный состав различных БД, в который входят результаты наблюдений и их обработки, полученные за всю историю Николаевской астрономической обсерватории (НАО), кроме наблюдений тел Солнечной системы.

Доступ к базам данных реализован как через различные веб интерфейсы на сайте, так и через веб интерфейс программы «Аладин», которая создана в Центре астрономических данных (Страсбург). Несмотря на различие веб интерфейсов, в обоих случаях работают одни и те же БД, созданные на основе системы управления базами данных MySQL. Таким образом, сервер НВО интегрирован с другими ведущими астрономическими серверами каталогов и изображений, которые находятся в разных странах мира. Интеграция с общим интерфейсом программы «Аладин» осуществляется с помощью конфигурационного файла и специальных скриптов, написанных на языке программирования PHP.

Международный альянс виртуальных обсерваторий (МABO) был создан в июне 2002 года с целью облегчения развития инструментов для создания и использования астрономических архивов данных [1]. Виртуальная обсерватория (ВО) это глобальный проект, который связан с развитием современной астрономии. Его цель – предоставить любому астроному лёгкий и удобный доступ ко всем накопленным астрономическим данным в мире, так как будто они находятся на его компьютере.

ВО будет системой, которая позволит астрономам легко и просто опрашивать множество центров данных, предоставит новые мощные инструменты для визуализации и анализа, создаст стандарты для публикации и предоставления услуг центрами данных. Это будет возможно с помощью стандартизации данных и метаданных; стандартизации методов обмена данными; использования регистра, который содержит ссылки на все доступные инструменты и услуги [2]. Уже сейчас создано и продолжает развиваться множество программ для различных целей [3].

Долгосрочная перспектива МABO это не один специфический программный пакет, а скорее единая инфраструктура. Она позволит центрам данных обеспечивать кооперативные конкурентные услуги по хранению и обработке данных, а также позволит разработчикам программного обеспечения предлагать множество совместимых инструментов для визуализации и анализа данных с помощью удобных интерфейсов пользователя. Важнейшим приоритетом для всех проектов ВО является развитие стандартной инфраструктуры для реализации указанных возможностей.

Общеизвестно, что наступила новая эра наблюдений в астрономии, которая связана с глобальными проектами по созданию астрономических обзоров неба, таких как 2MASS, GOODS, SDSS, VISTA, VST, VVDS, LOFAR, RAVE, Gaia. Новые проекты требуют изменений в методах хранения и обработки больших объёмов данных [4].

Первое крупное открытие с помощью ВО было сделано 28 мая 2004 г. Были открыты 31 супермассивные чёрные дыры. Статья с описанием этих результатов была опубликована в [5].

Проблемы увеличения объёма данных похожи в астрономии, ядерной физике и биоинформатике. Существующие телескопы в Европе производят около 500 ГБ данных за ночь. Объём современных европейских архивов данных оценивается величиной десятков терабайт. Ежегодно происходит удвоение этого объёма. Новый телескоп, такой как LSST (Large Synoptic Survey Telescope), будет производить несколько терабайт данных за ночь. Поэтому в астрономии, как и в других науках, необходимо использовать БД и распределённые Grid – вычисления [6].

Мы можем выделить три функциональные схемы работы ВО под условными названиями «Вчера», «Сегодня» и «Завтра».

Работа схемы «Вчера» основана на весьма ограниченных функциональных возможностях браузера. Она позволяет пользователю с помощью интуитивно понятного графического интерфейса сформировать структурированный запрос с ограничительными условиями для поиска данных. После отправки запроса, специальный скрипт обращается к БД и получает необходимые данные, которые выдаются пользователю в текстовом или графическом формате с помощью гипертекстового языка HTML (Hyper Text Markup Language).

Работа схемы «Сегодня» основана на функциональных возможностях какого-либо отдельного приложения, написанного на языке JAVA. Существует несколько направлений в развитии данных приложений, например поиск каталогов и изображений, поиск и визуализация спектров, построение распределений энергии в спектрах, поиск взаимной корреляции между объектами в разных каталогах, статистическая обработка больших объёмов данных и т.д. [3]. Функциональные возможности этих приложений зависят только от степени их развития и потребностей пользователя.

Работа схемы «Завтра» основана на интеграции двух предыдущих схем и расширении их функциональных возможностей. Эта схема позволяет: выполнять поиск данных и услуг по их обработке с помощью стандартных регистров, использовать данные теоретических моделей, применять новые методы доступа к Grid – вычислениям, создавать новые языки и форматы для обмена данными. Функциональная схема «Завтра» показана на рисунке 1 [7].

БД являются основой или фундаментом для построения какого-либо астрономического центра данных. В НИИ НАО накоплен банк данных в виде изображений различных площадок небесной сферы, полученных с помощью фотопластинок в 20 веке, а также приборов с зарядовой связью (ПЗС) в конце 20 – начале 21 века. Ежегодно телескопы НАО производят несколько десятков гигабайт данных в виде изображений и до 100 ГБ видеозаписей при наблюдениях с помощью ПЗС камер. В конце 2008 года общий объём накопленных данных ПЗС изображений составлял около 300 ГБ.

В конце 2008 года на сайте НАО [8] был создан раздел НВО, который состоит из трёх частей.

Первая часть содержит 27 астрометрических каталогов звёзд с краткими описаниями, которые доступны в виде файлов на языке XML (eXtensible Markup Language) в соответствии со стандартом VOTable (Virtual Observatory Table). Этот стандарт предназначен для хранения и передачи любых табличных данных. Пользователь может загрузить на свой компьютер эти каталоги с помощью браузера и использовать их с помощью какой-либо программы, которая поддерживает стандарты MAVO. Данная часть НВО – пример реализации функциональной схемы «Вчера».

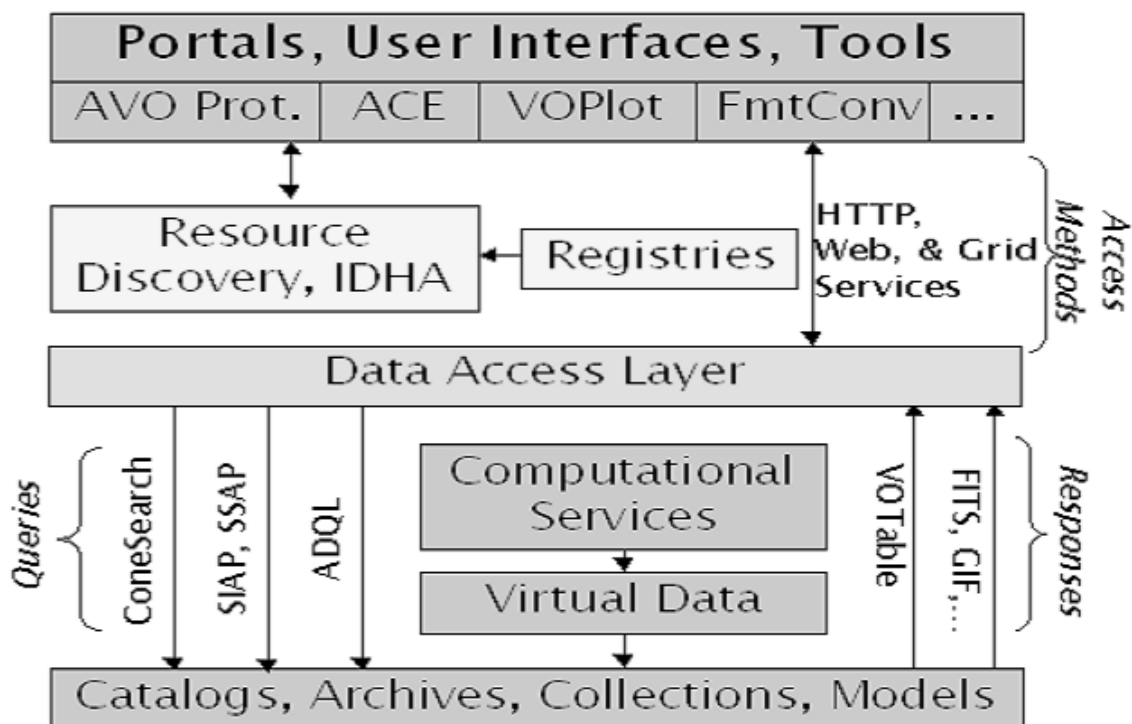


Рис. 1.

Вторая часть включает в себя БД наблюдений с доступом к ней через браузер. БД имеет единый интерфейс для поиска текстовой и графической информации о фотографических и ПЗС наблюдениях. Сейчас в БД включена текстовая информация о 7437 пластинках и 2700 изображениях в формате JPEG (Joint Photographic Experts Group) для предварительного просмотра (ПП) с разрешающей способностью 300 точек на дюйм. Также в БД внесена текстовая информация о 16660 кадрах, полученных с использованием ПЗС камер, из них на сегодня 1100 имеют изображения в формате JPEG для ПП. Для выполнения поиска пользователь должен задать экваториальные координаты центра поиска, радиус поиска, период наблюдений. Также он может задать дополнительные фильтры в виде любой комбинации названий объектов наблюдений отдельно для фотопластинок и ПЗС кадров, параметров вывода для фотопластинок, названий телескопов для наблюдений с ПЗС камерами. Результаты поиска выдаются в виде двух таблиц для фотографических и ПЗС наблюдений. Для получения доступа к исходным изображениям в формате FITS (Flexible Image Transport System) с поддержкой WCS (World Coordinate System), пользователь должен заполнить и отправить электронную форму после таблицы с результатами поиска. Данная часть НВО это также пример реализации функциональной схемы «Вчера».

Третья часть включает в себя БД наблюдений с доступом к ней через интерфейс программы «Аладин». Чтобы получить доступ к БД, пользователь должен выполнить ряд достаточно простых действий, которые описаны на соответствующей странице сайта [9]. БД наблюдений НВО подключена к общему интерфейсу выбора серверов каталогов и изображений. БД НВО имеет два отдельных пункта меню для фотографических и ПЗС наблюдений. Для выполнения поиска, пользователь должен задать экваториальные координаты центра поиска и радиус поиска. После выполнения поиска, результаты выдаются пользователю в графическом и текстовом виде с помощью языка XML и протокола SOAP (Simple Object Access Protocol). Удобство состоит в том, что пользователь может опрашивать множество серверов каталогов и изображений с помощью единого интерфейса, хотя сами серверы находятся в разных странах мира. Программа «Аладин»

также имеет набор инструментов для анализа и обработки полученных данных, включая подключение к другим программам с помощью технологии PLASTIC, а также веб сайтам со справочной информацией. Данная часть НВО – это пример реализации функциональной схемы «Сегодня».

Как показано на рисунке 1, БД и другие архивы лежат в основании ВО. На вершине надстройки находятся интерфейсы пользователя, обеспечивающие доступ к данным через браузер или отдельные инструменты. Подробные описания каждого архитектурного элемента данной схемы есть на сайте [7], но они могут быть интересны скорее разработчикам, нежели пользователям ВО.

В качестве вывода, следует указать, что ответственность за создание архивов лежит на специалистах из центров данных, которые обеспечивают инфраструктуру для выдачи данных в интернет [7]. Поэтому каждая обсерватория или центр данных должны позаботиться, чтобы все накопленные данные были доступны пользователям в соответствии со стандартами МАВО и резолюцией 25 съезда МАС № В.1 [10].

Специалисты НИИ НАО успешно справляются с данной задачей и продолжают развитие НВО. Накопленный опыт будет использован нами при создании и развитии национальной Украинской виртуальной обсерватории.

Литература

1. <http://www.ivoa.net/pub/info/>
2. *R.J. Hanisch, P. J. Quinn.* Guidelines for Participation in IVOA
<http://www.ivoa.net/Documents/Notes/IVOA/IVOAParticipation-20060817.html>
3. <http://www.euro-vo.org/pub/fc/software.html>
4. The ASTRONET infrastructure roadmap. Editors: Michel F. Bode, Maria J. Cruz & Frank J. Molster; 2008, 176 pages, ISBN: 9783923524631
5. *Padovani et al.*; *Astronomy & Astrophysics*, 424, 545
6. <http://www.euro-vo.org/pub/general/qa.html>
7. <http://www.euro-vo.org/cgi-bin/twiki/bin/view/Avo/PublishDataToVO>
8. http://www.mao.nikolaev.ua/rus/vo_r.html
9. http://www.mao.nikolaev.ua/rus/vo1_r.html
10. Public Access to Astronomical Archives. Resolution adopted by the IAU XXV General Assembly.
http://www.iau.org/administration/resolutions/general_assemblies/

ASTRONOMICAL DATABASES AS FOUNDATION OF VIRTUAL OBSERVATORY

Mazhaev A., Protsyuk Yu.

*Nikolaev Astronomical Observatory
Mykolayiv, Ukraine*

Results of work obtained in 2006-2008 on creation of astronomical databases for development of Mykolayiv Virtual Observatory (MVO) are given in this paper. Databases of astrometric catalogues, photoplates, CCD images are included in the MVO. Databases facilitate a search and provide an access to textual and graphical information. Astrometric stellar catalogues as XML files in standard VOTable format are available for download.

Numerical composition of different databases is shown in the paper. Results of observations and their reduction, which have been obtained during the whole history of Nikolaev Astronomical Observatory (NAO), are included in the databases.

Access to the databases is provided via different website interfaces as well as via a web interface of the standalone application such as Aladin, which has been developed in Strasbourg Astronomical Data Center. The same MySQL databases work in both cases despite differences between web interfaces. In this way MVO server is integrated with other astronomical servers of catalogues and images. Integration with Aladin is made using a special config file and PHP scripts.

ICRF – СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И БЛИЖАЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Малкин З.М.

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

В соответствии с решением МАС с 1998г. в качестве официальной реализации международной небесной опорной системы координат принят каталог координат радиисточников ICRF (International Celestial Reference Frame), полученный из РСДБ-наблюдений. Поскольку со временем накопились новые материалы наблюдений, усовершенствовались алгоритмы и программы обработки данных, в 2005 г. была начата работа над созданием новой версии ICRF. В настоящей работе приводится краткая история создания ICRF2, основные этапы работы и полученные результаты.

1. Введение

Определение координат и движений небесных тел изначально было основной задачей астрометрии. В современной терминологии эта деятельность называется установлением небесной системы координат. Вообще говоря, любой независимый каталог положений звезд или других объектов определяет свою собственную систему координат. Для обеспечения единства измерений (в метрологической формулировке) на небе Международный астрономический союз (МАС) время от времени принимает решение о признании того или иного каталога в качестве официальной опорной небесной системы координат (НСК МАС). До конца XX века все НСК МАС базировались на фундаментальных каталогах звездных положений, последним из которых был FK5.

Однако, уже в 1970-х годах точность координат радиисточников, определяемых из РСДБ-наблюдений достигла, а затем превысила 100 mas (мс дуги), т.е. точности лучших оптических каталогов. С 1980-х годов IERS (International Earth rotation and Reference systems Service) поддерживала собственную НСК, полученную на основе доступных каталогов координат радиисточников. IERS взяла на себя эту задачу, поскольку она является уполномоченной организацией МАС по определению параметров вращения Земли (ПВЗ), а также земной и небесной опорных систем координат. Наконец, по решению XXIII Генеральной ассамблеи МАС 1997 г. в Киото были приняты новая НСК МАС ICRS (International Celestial Reference System) и ее реализация в виде каталога координат 608 радиисточников ICRF (International Celestial Reference Frame), полученного в 1995 г. по РСДБ-наблюдениям S/X (2.3/8.4 ГГц) диапазонов (Ma и др. 1998). Каталог ICRF включал 212 опорных (defining) источников, собственно, задававших систему ICRF, и 396 прочих источников, обеспечивающих лучшее покрытие небесной сферы. Позднее были выпущены два расширения ICRF: ICRF-Ext.1 (1999) и ICRF-Ext.2 (2004) в системе ICRF. Последнее расширение содержало 717 источников. Точность ICRF на 2 порядка превышала точность FK5 (меньше 1 mas против 0.05–0.1" для FK5). Другой особенностью ICRF по сравнению с оптическими каталогами явилась независимость координат источников от времени. Во время создания ICRF не было возможности оценить ее систематические ошибки. Позднее выяснилось, что их амплитуда составляет около 0.2 mas (Sokolova и Malkin 2007).

Со времени создания ICRF было накоплено несколько миллионов новых и более точных наблюдений, появились новые астрометрические и геофизические модели и были разработаны новые алгоритмы обработки, реализованные в более совершенных версиях программного обеспечения для анализа РСДБ-данных. Также были накоплены новые результаты исследований ошибок координат радиисточников и их зависимости

от длины волны. Все это позволило существенно повысить точность каталогов радиоисточников и, как следствие, выявило необходимость и возможность поставить вопрос о создании новой небесной системы координат ICRF2 (Ma 2005). При этом были поставлены следующие основные цели:

- Повышение точности в случайном и систематическом отношении;
- Увеличение числа источников и улучшение их распределения по небесной сфере;
- Расширение ICRF на другие диапазоны волн.

В настоящей работе приводится краткая история создания ICRF2, организация и основные этапы работы и полученные на сегодняшний день результаты.¹

2. Создание ICRF2

Для создания ICRF2 в 1996 г. были созданы две рабочие группы. Первая рабочая группа MAC должна осуществлять общую координацию работ по ICRF2, согласовывать список опорных источников, представить на ГА MAC 2009 каталог ICRF2 и проект соответствующих резолюций. Рабочая группа IERS/IVS (International VLBI Service for Geodesy and Astrometry) призвана провести вычисление каталога ICRF2, включая все подготовительные исследования, и представить результат в IERS, IVS и рабочую группу MAC.

Надо отметить, что, фактически, подготовительная работа к созданию ICRF2 началась за несколько лет до официального начала деятельности этих рабочих групп. В рамках этой работы были составлена программа и начались специальные наблюдения (продолжающиеся и сейчас) источников южного полушария, что имеет первостепенное значение для увеличения числа южных источников и повышения точности из координат (Feu 2005, Ma 2005).

Как следует из распределения обязанностей, основная работа в течение прошедших трех лет происходила в рабочей группе IERS/IVS. Совместная работа сопровождалась активной перепиской (в архиве автора хранится около 200 отправленных и 600 полученных писем), а наиболее важные вопросы решались во время семинаров группы, происходивших 1-2 раза в год. Рабочей группой был намечен план исследований, необходимых для достижения вышеназванных целей и, в конечном счете, высокого качества будущей ICRF2. Ниже описываются основные этапы этой работы. Материалом для этих исследований послужили около 50 каталогов и 30 серий координат источников вычисленных в нескольких центрах обработки: Годдардский центр космических полетов НАСА (GSFC), USNO, Парижская обсерватория, ИПА РАН, ГАО НАНУ, ГАО РАН, ГАИШ, Geoscience Australia, Шанхайская обсерватория, Агентство картографии и геодезии Германии.

Выбор типа решения. До 1994 гг. IERS поддерживала НСК в виде сводного каталога координат радиоисточников, что соответствовало традициям оптической астрометрии. Однако с создания ICRF начался период, когда в качестве НСК MAC принимался каталог, построенный в одном центре обработки (GSFC для ICRF, USNO для ICRF-Ext.2). Сторонники сводного каталога, к которым принадлежит и автор, ссылаются на большой положительный опыт оптической астрометрии в создании фундаментальных каталогов. Сторонники одиночного каталога основывают свою точку зрения на том факте, что центры анализа РСДБ-наблюдений очень неравноценны в смысле

¹ Статья содержит материалы доклада, прочитанного на конференции Пулково-2009. За время, прошедшее после конференции, работа над ICRF2 была завершена, и результат был представлен на Генеральной ассамблее MAC в августе 2009 г. в Рио-де-Жанейро. ГА MAC приняла резолюцию В3, которая предусматривает использование ICRF2, начиная с 1 января 2010 г. Окончательная версия ICRF2 представлена на <http://hpiers.obspm.fr/icrs-pc/icrf2/icrf2.html>.

реализации наиболее точных моделей редукции и вычислительных алгоритмов, и совместная обработка плохих и хороших результатов приведет только к ухудшению окончательного решения. Кроме того сторонники второй точки зрения указывают, что в отличие от оптической астрометрии все РСДБ-центры обрабатывают одни и те же наблюдения, и следовательно, результаты обработки существенно коррелированы. В результате было решено, что каталог ICRF2 будет вычисляться в GSFC.

Отбор данных. В этой части работы решались два вопроса. Первый заключался в том, следует ли принимать в обработку все имеющиеся наблюдения с 1979 г. или следует отбросить ранние наблюдения как менее точные. В частности, рассматривались варианты использования наблюдений с 1984 и 1990 г. Наш анализ (Малкин 2006) показал, что с точки зрения однородности наблюдательного материала следует использовать наблюдения с 1993 г. Но с другой стороны, отбрасывание ранних наблюдений может привести к потере данных для ряда источников, которые мало наблюдались в последние годы. В результате обсуждения и тестовых вычислений было решено использовать на этом этапе все имеющиеся наблюдения.

Вторым вопросом для обсуждения было использование материалов наблюдений по обзорам VCS (VLBA Calibrator Survey), осуществленным NRAO и GCFC. В результате 6 таких обзоров были определены координаты более 2000 источников, не наблюдавшихся в программах IVS. Поскольку эти источники наблюдались, в большинстве случаев, в одной сессии, точность их координат сравнительно невысока. С другой стороны для ряда мало наблюдавшихся источников наблюдения VCS дают существенную добавку к наблюдательному материалу. После обсуждения было решено вычислить два варианта каталога ICRF2: с источниками VCS и без них для дальнейшего изучения.

Исследование ошибок обработки. Хотя при обработке наблюдений для ICRF2 применяются новейшие геофизические и астрономические модели, получаемые координаты радиоисточников существенным образом зависят от математических процедур, в первую очередь от набора определяемых параметров. Не имея возможности вдаваться в подробности, отметим, что при обработке РСДБ-наблюдений производится совместное решение задачи МНК для нескольких тысяч 24-часовых сессий наблюдений. При этом приходится решать систему уравнений с числом параметров доходящих до миллиона и более. Координаты радиоисточников определяются одновременно с координатами станций и ПВЗ. При этом координаты источников и станций могут определяться как единые для всего многолетнего массива наблюдений, так и для каждой сессии с последующим усреднением. Подлежат также определению параметры разности часов станций, тропосферные параметры, иногда ошибки геометрии антенн и др. Кроме того, на ряд параметров накладываются различные условия, исходя из их астрономической или физической сущности. Понятно, что этот процесс оставляет практически неограниченные возможности для вариантов вычисления каталогов. Как показывает опыт, от выбора набора параметров могут существенным образом зависеть случайные, а главное, систематические ошибки получаемого каталога. Положение значительно усложняется тем, что, в отличие от звезд, радиоисточники имеют, как правило, сложную структуру, к тому же часто переменную во времени, что приводит к неопределенности мгновенного центра радиояркости и, таким образом, каталожного положения источника. Наиболее неприятным является нелинейность изменений видимых координат источника, вызванных изменениями его структуры. Такие нестабильные источники, будучи включенными в глобальную обработку, могут исказить другие определяемые параметры, и их следует обрабатывать отдельно для каждой сессии. Вариантом обработки таких источников является представление его координат в виде В-сплайна.

Перед выбором окончательной стратегии вычисления ICRF2 исследовались несколько вариантов обработки такие, как определение источников с нестабильным по-

ложением, определение координат станций из глобального решения или для каждой сессии, влияние ошибок геометрии антенны, учет тропосферы и др. В результате сравнительного анализа каталогов, вычисленных в различных вариантах обработки выяснилось, что систематические разности между большинством тестовых каталогов не превышает 0.02-0.03 mas, за исключением влияния тропосферных градиентов (отсутствия зенитной симметрии рефракции), которое превышает 0.5 mas. Последнее, впрочем, было известно и раньше, но в рамках работы над ICRF2 был уточнен метод учета этого эффекта.

Выбор опорных источников. Состав опорных источников, определяющих систему ICRF, имеет первостепенное значение для ее точности и стабильности во времени. Отбор опорных источников производился по нескольким критериям:

1. переменность координат источника, определяемая из анализа серий координат источников, вычисленных для каждой сессии наблюдений;
2. переменность структуры источника, определяемая по его картам на ряд эпох;
3. изменение ориентации совокупности опорных источников со временем, определенное на основе переменности его координат.

При использовании первого критерия для источников, имеющих достаточное для статистики число наблюдений, вычисляются различные индексы нестабильности: видимая скорость, среднеквадратичное отклонение от среднего, вариация Аллана и др. Проблема заключается в большом разбросе значений этих индексов для разных серий координат, даже полученных в одном центре обработки, но разными методами (рис. 1).

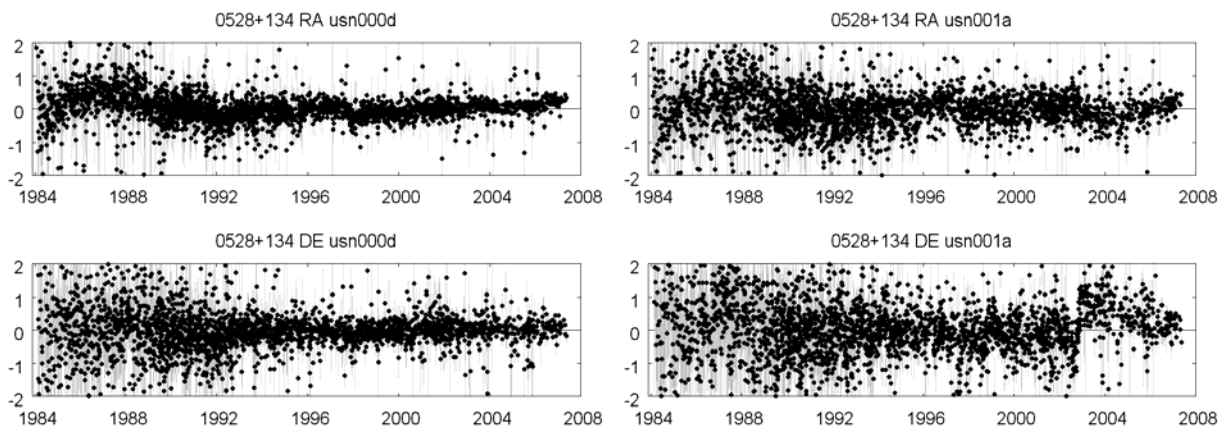


Рис. 1. Два ряда координат источника 0528+134 (уклонения от среднего значения), вычисленные в USNO: usn000d (слева) и usn001a (справа). RA – $\Delta\alpha \cdot \cos\delta$, DE – $\Delta\delta$, mas.

В результате, окончательный выбор опорных источников был осуществлен по третьему критерию, развитому в (Lambert и Gontier 2009). Новым эффективным подходом также оказалось использование астрофизической информации о радиоисточниках для их отбора в качестве опорных (Жаров и др. 2009), но это исследование было сделано после окончания основной работы над ICRF2.

К настоящему времени определено, что основу ICRF2 составит каталог gsf008a, вычисленный в мае 2009 г. в GSFC. Окончательный каталог ICRF2 будет получен в Парижской обсерватории после перевода gsf008a в систему ICRS. Предполагается, что такой перевод будет произведен простым поворотом осей gsf2008a по некоторому набору общих источников каталогов ICRF и gsf2008a, причем угол поворота ожидается небольшим.

3. Сравнение ICRF2 с ICRF

Сравнение основных характеристик ICRF и ICRF2 приведено в табл. 1. Данные в строке "Порог ошибки" требуют пояснений. Дело в том, что координаты радиоисточников, получаемые методом наименьших квадратов, при большом числе наблюдений зачастую имеют формальную ошибку на уровне единиц mas (мкс дуги), что конечно не соответствует реальной точности положений источников. Поэтому, как при создании ICRF, так и при создании ICRF2 в GSFC был проведен специальный анализ для оценки реальной точности координат, приводимых в каталоге. На основе этого анализа определялся порог ошибки, который приписывался каталожным положениям, имеющим формальную ошибку ниже этого значения.

Таблица 1. Основные характеристики ICRF и ICRF2

| Характеристика | ICRF | ICRF-Ext.2 | ICRF2 |
|----------------------------|------|------------|----------|
| Общее число источников | 608 | 717 | ~3400 |
| Число опорных источников | 212 | 212 | 300-400 |
| Порог ошибки, mas | 0.25 | 0.25 | 0.05-0.1 |

Как отмечено выше, можно ожидать, что систематические разности ICRF2–ICRF будут близки к разностям gsf2008a-ICRF , представленным на рис. 2. Очень похожий результат был получен в (Sokolova и Malkin 2007) для систематических разностей пулковского сводного каталога RSC(PUL)07C02 с ICRF, причем было показано, что эти разности объясняются ошибками ICRF. Сопоставление этих результатов позволяет сделать вывод, что систематические разности ICRF2–ICRF объясняются, в основном, ошибками ICRF.

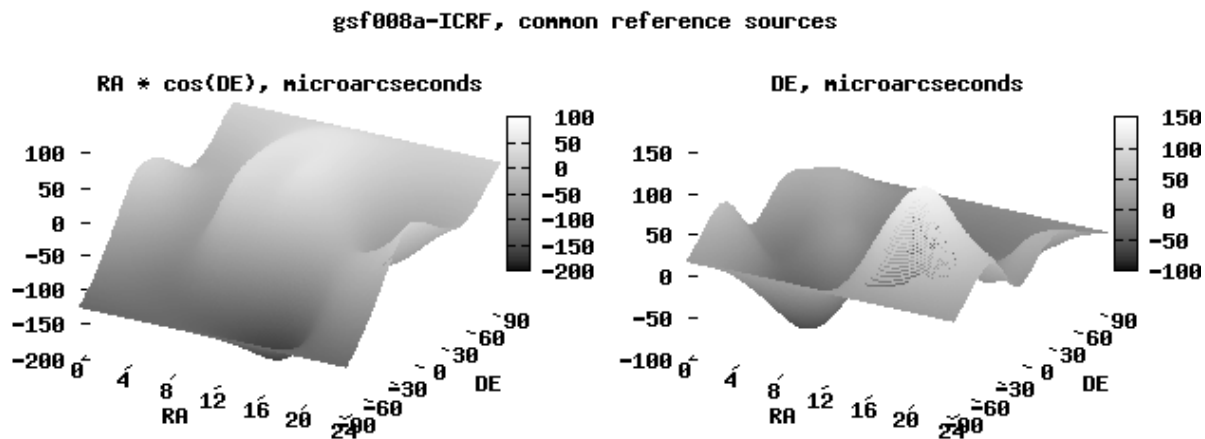


Рис. 2. Ожидаемые систематические разности ICRF2-ICRF.

5. Заключение

С момента создания ICRF прошло 14 лет. За это время существенно усовершенствовались геофизические и астрометрические модели, создано более развитое программное обеспечение. При создании ICRF2 используется около 6.5 млн. наблюдений, в четыре раза больше, чем для ICRF. Были исследованы многие возможные источники систематических ошибок ICRF и применены новые более обоснованные принципы выбора опорных источников. Хотя работа над каталогом ICRF2 еще не закончена, но его

основные черты уже определились. В результате мы можем ожидать существенного улучшения ICRF2 по сравнению с ICRF, по крайней мере, в трех отношениях:

- исправление значительных систематических ошибок ICRF на уровне 0.2 mas;
- значительное увеличение общего числа и числа опорных источников;
- значительное улучшение распределения опорных источников по небу.

Заметим, что ICRF2 по-прежнему построена на наблюдениях S/X диапазонов, и задача ее расширения на новые длины волн пока окончательно не решена, хотя работы в этом направлении ведутся (см., например, Jacobs 2009).

Новое существенное повышение точности ICRF может быть достигнуто по мере реализации проекта международной РСДБ-сети нового поколения VLBI2010 (Малкин 2009, Ма 2009). Наконец, в случае удачного завершения проекта GAIA, ожидается возврат к оптической реализации Международной небесной системы координат.

Литература

1. *Жаров В.Е., Сажин М.В., Семенцов В.Н., Куимов К.В., Сажина О.С., Ашимбаева Н.Т.* Физические причины вариации видимого положения квазаров. Настоящий сборник, 2009.
2. *Малкин З.М.* Историческая статистика РСДБ-наблюдений. Изв. ГАО, 2006, № 218, 397-401.
3. *Малкин З.М.* Проект VLBI2010. Настоящий сборник, 2009.
4. *Fey A.L.* Improving the ICRF in the Southern hemisphere. In: Proc. Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels 2004, Ed. N. Capitaine, 2005, 37-38.
5. *Jacobs C.S.* The celestial frame at four radio frequencies. In: Proc. Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels 2008, Ed. M. Soffel, N.Capitaine, 2005, 251-256.
6. *Lambert S.B., Gontier A.-M.* On radio source selection to define a stable celestial frame. *Astron. Astrophys.*, 2009, v. 493, No. 1, 317-323.
7. *Ma C., E.F. Arias, T.M. Eubanks, A.L. Fey, A.-M. Gontier, C.S. Jacobs, O.J. Sovers, B.A. Archinal, P. Charlot.* The International Celestial Reference Frame as Realized by Very Long Baseline Interferometry. *Astron. J.*, 1998, v. 116, 516-546.
8. *Ma C.* Steps towards the next radio realization of the ICRS. In: Proc. Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels 2004, Ed. N.Capitaine, 2005, 3-7.
9. *Ma C.* Present and future radio reference frames. In: Proc. Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels 2008, Ed. M/ Soffel, N.Capitaine, 2009, 195-197.
10. *Sokolova Ju., Malkin Z.* On comparison and combination of catalogues of radio source positions. *Astron. Astrophys.*, 2007, v. 474, No. 2, 665-670.

ICRF: THE RECENT STATUS AND NEAR PROSPECTS

Malkin Z.M.

Main (Pulkovo) Astronomical Observatory of RAS

In accordance with the IAU decision, starting with 1998 the radio source catalogue ICRF (International Celestial Reference Frame) obtained from VLBI observations is adopted as the official realization of the International Celestial Reference System. Since that time new many new observations were collected and new algorithms and software were developed for VLBI data processing, and in 2005 the work started on the next ICRF realization. In this paper, the history of ICRF2 and present results are briefly described.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАРИАЦИИ АЛЛАНА И ЕЕ МОДИФИКАЦИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Малкин З.М.

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

Вариация Аллана (ВА), предложенная более 40 лет назад для описания нестабильности стандартов частоты, в последние годы стала активно использоваться для исследования различных временных рядов в астрометрии и геодинатике. Этот метод позволяет эффективно выделять шумовую компоненту таких данных, как вариации положения станций и координат радиостанций. Более того, ВА может быть использована для изучения спектрального состава этой шумовой составляющей. Для обработки неравноточных и многомерных наблюдений, которые характерны для многих астрономических и геодезических приложений, предложены соответствующие модификации ВА. В работе описывается опыт применения классической и модифицированной ВА в астрометрии и геодинатике.

1. Введение

Вариация Аллана (ВА) является специализированной статистикой, разработанной в 1960-х годах для исследования стандартов частоты. В последние годы она стала также активно использоваться для исследования различных временных рядов в астрометрии и геодинатике. Однако применение ВА в ее оригинальном виде в астрометрии и геодинатике ограничено двумя факторами. Во-первых, она не позволяет обрабатывать неравноточные наблюдения, которые характерны для многих реальных наблюдательных данных. Во-вторых, в ряде случаев бывает целесообразно обрабатывать многомерные данные, такие как координаты станций, небесных объектов или параметров вращения Земли. В работе описывается опыт применения классической ВА в астрометрии и геодинатике, а также предлагаются модификации этого метода для многомерных и неравноточных временных рядов.

Полный вариант работы опубликован в статье (Малкин, 2009), которая рекомендуется для ссылок на это исследование.

2. Основные определения и свойства ВА

ВА была предложена Дэвидом Алланом (Allan 1966) как оценка стабильности стандартов частоты. В классическом виде ВА вводится следующим образом. Пусть мы имеем серию измерений y_1, y_2, \dots, y_n , выполненных в последовательный моменты времени. Тогда ВА определяется как

$$\sigma^2 = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} (y_i - y_{i+1})^2. \quad (1)$$

Два важных замечания могут быть сделаны в отношении ВА. Первое, ВА не связана с какой-либо физической моделью стандарта частоты, а использует только эмпирические данные – измерения. Таким образом, нет никаких теоретических ограничений на применение этой статистики для других типов измеряемых величин. Второе, ВА позволяет описывать поведение стандарта частоты на различных интервалах усреднения, начиная от периода, равного интервалу между отсчетами. Для этого достаточно рассматривать величины y_i как обобщенные измерения, представляющие собой средние значения реальных измерений за определенный период времени (период усреднения). Чтобы подчеркнуть это свойство ВА, ее часто обозначают как $\sigma^2(\tau)$, где τ – период

усреднения. Оба этих свойства могут быть использованы для применения ВА для исследования различных рядов измерений, в том числе в астрономии и геодинатике.

Однако ВА в своем классическом виде (1) не всегда может удовлетворительно описать астрономические и геодезические измерения. Причина этого заключается в том, что эти измерения часто не являются равноточными, и это обстоятельство никак не учитывается в (1). Для преодоления этого ограничения автор (Malkin 2008) предложил модификацию ВА для неравноточных измерений. Вводится она следующим образом. Пусть мы имеем серию измерений y_1, y_2, \dots, y_n с соответствующими ошибками s_1, s_2, \dots, s_n . Тогда мы можем определить:

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{2p} \sum_{i=1}^{n-1} p_i (y_i - y_{i+1})^2, \quad p = \sum_{i=1}^{n-1} p_i, \quad p_i = (s_i^2 + s_{i+1}^2)^{-1}. \quad (2)$$

Однако и это определение имеет некоторые ограничения в тех случаях, когда измеряемые величины, будучи формально одномерными, физически являются многомерными. К величинам такого типа можно отнести, например, координаты полюса Земли, где независимо определяемые составляющие Xp и Yp являются, по сути, компонентами одной двумерной величины – вектора положения полюса на касательной плоскости. Другой пример, три декартовы координаты станции X, Y и Z являются трехмерными координатами точки в геоцентрической системе. Для обработки таких данных в (Malkin 2008) была предложена модификация ВА для многомерных и неравноточных измерений. Она определяется следующим образом. Пусть мы имеем серию k -мерных измерений $y_i = (y_i^1, y_i^2, \dots, y_i^k)$, $i = 1, \dots, n$, с соответствующими ошибками $s_i = (s_i^1, s_i^2, \dots, s_i^k)$. Тогда мы можем ввести следующую оценку ВА:

$$\sigma_2^2 = \frac{1}{2p} \sum_{i=1}^{n-1} p_i d_i^2, \quad d_i = |y_i - y_{i+1}|, \quad p = \sum_{i=1}^{n-1} p_i, \quad (3)$$

где $| \cdot |$ означает евклидову норму вектора d_i , представляющую собой расстояние между измеренными величинами в k -мерном пространстве. Вообще говоря, вес p_i должен вычисляться на основе закона распространения ошибки как

$$p_i = \left(\sum_{j=1}^k \left\{ \left[(y_i^j - y_{i+1}^j) / d_i \right]^2 \left[(s_i^j)^2 + (s_{i+1}^j)^2 \right] \right\} \right)^{-1}. \quad (4)$$

Однако, эта формула имеет сингулярность при d_i равном нулю, что может быть при наличии двух равных (или очень близких) последовательных измерений. После ряда экспериментов было принято упрощенное эмпирическое выражение

$$p_i = \left(\sum_{j=1}^k \left[(s_i^j)^2 + (s_{i+1}^j)^2 \right] \right)^{-1}. \quad (5)$$

Тестовые результаты обработки различных рядов измерений показали практическую эквивалентность применения (4) и (5).

ВА является характеристикой шумовой составляющей измеряемого сигнала. Теоретический анализ и результаты практического применения позволяют выявить ее основные отличия от других оценок шумовой составляющей, в первую очередь, от наиболее широко применяемой дисперсии. Легко видеть, что значение ВА, в отличие от дисперсии, практически не зависит от долгопериодических вариаций и трендов в изучаемом процессе, и даже от скачкообразных изменений в измеряемой величине (при числе скачков намного меньшем числа измерений). Если первое можно считать преимуществом ВА, которое позволяет нам избежать не всегда очевидной процедуры уда-

ления трендов и долгопериодических составляющих при оценке дисперсии, то второе может быть и недостатком, маскирующим важные свойства изучаемого процесса.

Фейссель и др. [4, 9] рекомендуют также использовать ВА для изучения спектральных свойств шума в исследуемом сигнале в предположении, что его спектральная плотность может быть описана степенной зависимостью. Для этого нужно вычислить ВА для различных интервалов усреднения τ и определить коэффициент μ линейной регрессии:

$$\log(\sigma^2(\tau)) = \mu \cdot \log(\tau) + b \quad (6)$$

Тогда тип шума, присутствующего в серии измерений может быть определен следующим образом:

$$\mu = \frac{\log(\sigma^2(\tau))}{\log(\tau)} = \begin{cases} < 0 & \text{– белый шум (white noise)} \\ 0 & \text{– фликкер-шум (flicker noise)} \\ > 0 & \text{– случайные блуждания (random walk)} \end{cases} \quad (6)$$

3. Примеры применения ВА

В последние годы ВА активно используется в различных астрономических и гео-динамических научных исследованиях и практических приложениях таких, как определение параметров вращения Земли (ПВЗ), вариации координат станций и радиосточников и др.

Приведем два примера использования ВА при анализе ПВЗ. В течение нескольких лет ВА использовалась в Международной службе вращения Земли и опорных систем координат (IERS) в процедуре вычисления комбинированного ряда ПВЗ. С помощью ВА, вычисляемой для разностей исходных рядов ПВЗ на различных временах усреднения, оценивалось качество этих рядов и производилось их взвешивание (Gambis 2002). Malkin (2008) применил ВА для оценки шумовой составляющей рядов нутации, вычисленных по РСДБ-наблюдениям с применением разных каталогов координат радиосточников. Это позволило провести оценку качества этих каталогов.

Несколько авторов успешно использовали ВА для анализа рядов координат станций и связанных величин. Malkin и Voinov (2001) применили ВА для оценки случайных вариаций координат станций Европейской GPS-сети EUREF, полученных с разными методами обработки, что позволило сравнить качество этих методов. Roberts и др. (2002) использовали вариацию Аллана для оценки случайной ошибки рядов длин баз. Затем эта оценка была использована как критерий значимости наблюдаемых изменений в длинах баз, вызванных деформациями земной коры вследствие вулканической деятельности.

В работах Le Bail и Feissel-Vernier (2003), Le Bail (2006), Feissel-Vernier и др. (2006, 2007) накоплен богатый опыт комплексного применения ВА для изучения вариаций координат станций VLBI, SLR, GPS и DORIS. Их анализ включает также оценку спектрального типа шумовой составляющей в изменениях координат, изучение движения геоцентра и геофизическую интерпретацию полученных результатов.

В работах Feissel (2000), Feissel-Vernier (2003), Malkin (2009) ВА используется для анализа рядов координат радиосточников с целью выбора опорных источников для новой реализации ICRF.

4. Заключение

ВА является перспективной статистикой для исследования временных рядов наблюдательных данных. Будучи использованной в дополнение к другим традиционно

применяемым статистикам, она позволяет получать дополнительные данные о шумовой компоненте изучаемых сигналов, практически не зависящие от наличия долгопериодических составляющих и трендов в изучаемом явлении. ВА также позволяет изучать спектральные свойства шумовой составляющей. Для изучения неравноточных и многомерных рядов данных, характерных для многих практических приложений, могут быть использованы предложенные автором модификации классической ВА.

Литература

1. *Малкин З.М.* Исследование астрономических и геодезических рядов с помощью вариации Аллана. Кинемат. физ. неб. тел, 2009, в печати.
2. *Allan D.W.* Statistics of Atomic Frequency Standards. Proc. IEEE, 1966, v. 54, No. 2, 221-230.
3. *Feissel-Vernier M.* Selecting stable extragalactic compact radio sources from the permanent astrogeodetic VLBI program. Astron. Astrophys., 2003, v. 403, 105-110.
4. *Feissel M., Gontier A.-M., Eubanks T.M.* Spatial variability of compact extragalactic radio-sources. Astron. Astrophys, 2000, v. 359, 1201-1204.
5. *Feissel-Vernier M., Le Bail K., Berio P., et al.* Geocentre motion measured with DORIS and SLR, and predicted by geophysical models. J. of Geodesy, 2006, v. 80, No. 8-11, 637-648.
6. *Feissel-Vernier M., de Viron O., Le Bail K.* Stability of VLBI, SLR, DORIS, and GPS positioning. Earth Planets Space, 2007, v. 59, 475-497.
7. *Gambis D.* Allan Variance in earth rotation time series analysis. Advances in Space Research, 2002, v. 30, No. 2, 207-212.
8. *Le Bail K.* Estimating the noise in space-geodetic positioning: the case of DORIS. J. of Geodesy, 2006, v. 80, No. 8-11, 541-565.
9. *Le Bail K., Feissel-Vernier M.* Time series statistics of the DORIS and GPS collocated observations. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, April 2003.
10. *Malkin Z. M., Voinov A. V.* Preliminary Results of Processing EUREF Network Observations Using a Non-Fiducial Strategy. Phys. Chem. Earth (A), 2001, v. 26, No. 6-8, 579-583.
11. *Malkin Z.* On the accuracy assessment of celestial reference frame realizations. J. of Geodesy, 2008, v. 82, No. 6, 325-329.
12. *Malkin Z.* Some Results of Analysis of Source Position Time Series. IVS Memorandum 2009-001v01, <ftp://ivscc.gsfc.nasa.gov/pub/memos/ivs-2009-001v01.pdf>
13. *Roberts C.A., Morgan P., Rizos C.* Allan variance applied to time series baseline results for GPS-based deformation monitoring applications. In: 2nd Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Applications, Berlin, Germany, 21-24 May, 2002, 299-311.

APPLICATIONS OF ALLAN VARIANCE AND ITS MODIFICATIONS TO INVESTIGATIONS OF TIME SERIES

Malkin Z.M.

Main (Pulkovo) Astronomical Observatory of RAS

Allan variance estimator was proposed more than 40 years ago for estimation of the frequency standards stability, and during last years it is often used in astronomy and geodynamics for investigation of time series. This technique allows one to effectively evaluate the noise in station and source position variations. Moreover, Allan variance method can be used to classify a time series into one of the standard noise types. Allan variance modifications are proposed for analysis of unequally weighted and multidimensional measurements, which are quite usual for astronomy and geodesy application. In this paper, an experience of using of classic and modified Allan variance analysis for processing of astronomical and geodynamical data is considered.

ПРОЕКТ VLBI2010

Малкин З.М.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, С.-Петербург, Россия

В результате анализа современных и перспективных требований к точности РСДБ-наблюдений Международная служба РСДБ для геодезии и астрометрии (IVS) сформулировала требования к РСДБ-сети нового поколения VLBI2010. Для реализации проекта создан специальный комитет IVS VLBI2010, который координирует исследования и разработки, ведущиеся в разных странах, в том числе и в России. В статье рассматриваются основные результаты работы комитета IVS VLBI2010 и современное состояние проекта.

1. Введение

Радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами (РСДБ) является самым точным методом решения многих фундаментальных и прикладных научных задач в области астрометрии и смежных дисциплин. При этом такие задачи, как установление земной и небесной систем координат и определение параметров вращения Земли (ПВЗ), наиболее эффективно решаются на глобальных сетях станций в рамках международной кооперации. С 1999 г. эта работа координируется Международной службой РСДБ для геодезии и астрометрии (IVS, Schlüter и Behrend 2007). В начале 2001 г. IVS основала рабочую группу IVS WG2 для анализа текущих и перспективных требований к результатам РСДБ-наблюдений с точки зрения потребностей фундаментальных и прикладных работ, использующих эти результаты. Выводы работы IVS WG2 опубликованы в (Schuh и др 2002). Вслед за этим была организована рабочая группа IVS WG3, которая рассмотрела направления развития технологии РСДБ, которые должны привести к удовлетворению требований, сформулированных в отчете WG2, и в 2005 г. в своем отчете сформулировала рекомендации по созданию РСДБ-системы нового поколения VLBI2010 (Niell и др. 2006). Для детальной проработки проекта был создан комитет IVS VLBI2010. Разработки ведутся в нескольких группах разных стран: Канаде, США, Японии, Австрии, России, Италии, Швеции и др. в таких направлениях, как развитие технических средств РСДБ, улучшение стратегии наблюдений и совершенствование методов и программного обеспечения для их обработки. С работой комитета VLBI2010 можно ознакомиться на сайте IVS <http://ivscc.gsfc.nasa.gov/about/com/v2c/index.html>.

2. Основные требования к системе VLBI2010

В соответствии с рекомендациями IVS WG2 основными целевыми показателями точности результатов РСДБ-наблюдений, которые должна обеспечивать IVS, являются:

- точность ПВЗ: 25-50 мкс дуги для координат земного и небесного полюса и 2-3 мкс для всемирного времени за 24 часа наблюдений с задержкой не более 24 часов;
- точность координат станций: 2-5 мм за 24 часа; 1-2 мм за год;
- точность скоростей станций: 0.1-0.3 мм/год;
- точность длин баз: 1 мм за 24 часа;
- точность небесной системы координат: 0.25 мс дуги за год.

При этом выдвинута задача обеспечения непрерывных круглосуточных измерений. В среднем, целевые параметры системы VLBI2010 в 3-5 раз превышают значения, характерные для сегодняшних результатов IVS. В отчете WG2 были также рассмотрены требования к результатам определения тропосферных, ионосферных, геофизических, астрофизических и физических параметров.

Анализ этих требований рабочей группой IVS WG3 с точки зрения возможности их технической реализации показал, что существующие РСДБ-станции не могут обеспечить нужный результат по ряду причин:

- бóльшая часть РСДБ-станций построена в 1970-80 гг., у них накопился значительный моральный и физический износ, их эксплуатация очень дорога;
- антенны медленны и не могут обеспечить достаточной плотности наблюдений и хорошего покрытия неба для достаточно точного учета влияния атмосферы и картографирования радиоисточников;
- наблюдения в диапазонах S/X становятся все более проблематичными из-за увеличения числа мешающих источников излучения, особенно в S-диапазоне;
- размещение антенн не оптимально;
- время получения результата недопустимо велико.

В результате этого анализа WG3 выработала предложения по основным направлениям формирования РСДБ-системы нового поколения VLBI2010. Практическая реализация этих рекомендаций стала предметом деятельности комитета IVS VLBI2010, который координирует международную кооперацию по этому проекту. Ниже приводятся основные результаты, полученные к настоящему времени. Детали этой работы могут быть найдены в (Petrachenko и др. 2009), а также в серии меморандумов IVS, которые доступны по адресу <http://ivscc.gsfc.nasa.gov/publications/memos/index.html>. Там же могут быть найдены ссылки на первоисточники рассматриваемой в настоящей статье информации, которые здесь опущены из-за ограничения объема.

3. Основные компоненты системы VLBI2010

РСДБ-сеть состоит из одного или нескольких центров планирования и проведения операций, наблюдательных станций, одного или нескольких корреляторов, одного или нескольких центров обработки наблюдений и связывающих их линий передачи данных. Все эти компоненты требуют развития в сравнении с существующей сетью IVS.

От работы центра планирования и проведения операций (операционного центра) в решающей степени зависит эффективность работы РСДБ-сети. В частности, для сети VLBI2010 ведется разработка новых принципов планирования наблюдательных программ. При этом будет обеспечено более полное использование антенного времени и сокращение интервала полного покрытия небесной сферы, что необходимо для надежного определения быстро меняющихся тропосферных параметров и их разделения с основными определяемыми параметрами, такими как ПВЗ и координаты станций и источников. Кроме того, достигаемое при этом увеличение числа наблюдений напрямую способствует уменьшению ошибок определяемых параметров и повышению качества картографирования радиоисточников. Существующая практика работы IVS и моделирование, проведенное в рамках работы комитета VLBI2010, показали, что только за счет оптимизации расписания наблюдений можно добиться улучшения точности результатов в полтора-два раза. Задача эффективного планирования наблюдений тесно связана с необходимостью минимизации времени одного наблюдения радиоисточника, необходимого для достижения заданного отношения сигнал/шум. Для этого, в свою очередь, необходимо расширять частотную полосу наблюдений и увеличивать скорость регистрации. Также необходимо увеличивать скорость вращения антенн.

Другой важной функцией операционного центра является удаленное автоматизированное управление работой станций, которое, в частности, предусматривает:

- передачу на станцию расписания наблюдений, как правило, один раз в сутки;
- прием со станции результатов наблюдений в непрерывном режиме (по сканам) и их передачу на коррелятор (альтернативно рассматривается передача данных непосредственно со станций на коррелятор);

- управление станцией и контроль ее работы, включая выработку управляющих решений при возникновении нештатных ситуаций.

Основные требования к наблюдательной станции VLBI2010 включают в себя:

- тщательный выбор места расположения с точки зрения геологической стабильности, радиопомех, транспортной доступности, др., а также с учетом существующих и планируемых мест расположения других наблюдательных станций космической геодезии;
- минимальный набор оборудования, включающий РСДБ-антенну стандарта VLBI2010 (с перспективой установки второй антенны), ГНСС-приемник, включенный в сеть IGS (Международная служба ГНСС), метеостанцию, систему резервного питания, локальную геодезическую сеть;
- линию передачи данных между станцией и операционным центром (коррелятором) со скоростью не менее 8 Гб/с.

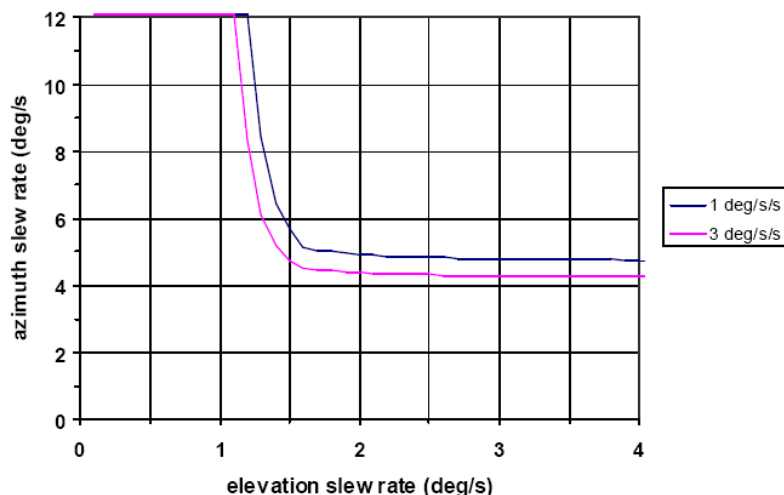
Локальная геодезическая сеть должна состоять из сети станции и районной сети. Первая должна включать в себя не менее трех геодезических марок на расстоянии 30-100 м от антенны, в зависимости от ее диаметра, на разных азимутах. При этом должна быть обеспечена прямая взаимная видимость между опорными точками антенн РСДБ и ГНСС и марок геодезической сети. Региональная сеть должна состоять как минимум из трех марок, расположенных в разных азимутах на расстоянии 10-20 км от станции в зависимости от местной геологической ситуации. Регулярные измерения на локальной геодезической сети должны обеспечить точность взаимного положения антенн и марок сети станции не хуже одного мм. В эти измерения также включается определение смещения оси РСДБ-антенны. Измерения на локальной сети должны проводиться достаточно регулярно для отслеживания местных деформаций земной коры.

Основной элемент РСДБ-станции – антенна. На станциях сети VLBI2010 должны использоваться антенны, удовлетворяющие следующим требованиям:

- диаметр: ≥ 12 м ;
- качество поверхности (ср.кв.): ≤ 0.2 мм;
- азимут и угол места: $\pm 270^\circ$, $5...88^\circ$;
- КИП: ≥ 0.5 на 18 ГГц;
- диапазон частот: 2-32 ГГц для конструкции антенны,
2-14 ГГц для облучателя (желательно 2-18 ГГц);
- температура системы (без атмосферы): ≤ 40 К
- SEFD: < 2000 Ян;
- точность автоматического позиционирования: < 0.1 НРВW на 32 ГГц (соответствует 20 с дуги для 12-м антенны);
- стабильность опорной точки антенны: не хуже 1 мм;
- скорость и ускорение: см. ниже;
- надежность должна обеспечивать время эксплуатации 20 лет при нагрузке 2500 сканов в сутки и среднем времени наработки на отказ для приводов не менее двух лет.

Более подробные спецификации антенны приведены в (Petrachenko и др. 2009). Особое место занимают требования к скорости и ускорению антенны. Они выработаны на основе численного моделирования с тем расчетом, чтобы обеспечить проведение достаточного числа наблюдений в сутки для достижения заданной точности определения координат станций и длин баз 1 мм. Поскольку эти требования могут быть обеспечены при различном сочетании величин скорости и ускорения антенны по двум осям, они не приводятся явно, а задаются в виде диаграммы, приведенной на рис. 1.

Рис. 1. Диаграмма для определения минимально необходимой скорости вращения антенны по азимуту и углу места для двух значений ускорения 1 и 3 град/с². Для удовлетворения требований VLBI2010 необходимо, чтобы точка, соответствующая скоростям вращения антенны по двум осям лежала выше соответствующей кривой.



Сравнение с существующими антеннами показывает, что основными проблемами при построении антенны VLBI2010 являются обеспечение высоких скоростей движения и заданного диапазона длин волн. Последнее, в частности, предусматривает разработку специальных широкополосных облучателей и приемников.

Из остальных систем РСДБ-станции особые требования выдвигаются к системе преобразования и регистрации – ключевой для успеха проекта VLBI2010. Для достижения требуемой точности наблюдений, в том числе относительно слабых источников, в системе VLBI2010 предусматриваются наблюдения в широкой полосе частот с высокой скоростью регистрации данных. Для этого нужна цифровая система, способная обрабатывать радиосигнал как минимум в четырех полосах частот в общем диапазоне, указанном выше. Суммарная скорость обработки данных составляет до 32 Гб/с при средней скорости регистрации (с буферизацией) порядка 8 Гб/с. Система преобразования должна быть легко перестраиваемой в отношении числа, расположения и ширины полос, параметров квантования, выделения боковых полос и т.д.

Использование при наблюдениях нескольких широко разнесенных частотных полос, которые при дальнейшей корреляционной обработке должны образовать конечную фазовую задержку, представляет собой новую концепцию, названную авторами "broadband delay", широкополосная задержка. При этом возникает ряд новых сложных проблем, связанных, в первую очередь, с фазовой связностью сигнала в нескольких далеко разнесенных частотных полосах. Кроме чисто технических вопросов, большой сложностью является учет переменности фазы сигнала с длиной волны и временем, вызываемой сложной структурой источников и влиянием атмосферы.

Коррелятор VLBI2010 должен обеспечить корреляцию сигналов с описанными выше параметрами от сети объемом до 40 станций со скоростью более высокой, чем скорость поступления данных с наблюдательных станций. Рассматриваются несколько вариантов построения такого коррелятора: аппаратный, программный, гибридный, распределенный.

Алгоритмы и программы для обработки данных должны обеспечить высокую скорость обработки при высоком уровне автоматизации, включая устойчивость к проблемным данным. Автоматическая система вычисления, в первую очередь, ПВЗ должна быть частью общего цикла автоматической работы сети VLBI2010.

4. Реализация проекта VLBI2010

Работы по реализации проекта VLBI2010 ведутся во многих странах: США, Канада, Германия, Австралия, Новая Зеландия, Япония, Швеция, Россия, Китай, Корея, и др. Работы находятся на разных стадиях. В Германии, Австралии и Новой Зеландии новые станции уже строятся и будут введены в эксплуатацию в 2010-2011 гг.

Основным и наиболее дорогим элементом РСДБ-системы является антенна. На трех строящихся станциях в Австралии и одной в Новой Зеландии устанавливаются сравнительно дешевые антенны Patriot (рис. 1 слева). Эти антенны диаметром 12 м и скоростью вращения 5 град/с по азимуту и 1.5 град/с по углу места, что несколько уступает требованиям VLBI2010, но существенно превышает типичные показатели антенн IVS сегодня. На станции Ветцель, Германия строится наиболее совершенная на сегодня РСДБ-система. Основу новой станции составляют две 13-м антенны Vertex (рис. 2 справа), рассчитанные на работу в диапазоне до 40 ГГц и имеющие скорость вращения 12 град/с по азимуту и 6 град/с по углу места. Стоимость двух антенн составляет 7 млн. евро, что в 15-20 раз больше стоимости одной антенны Patriot.



Рис. 2. Варианты антенн VLBI2010: *слева* антенна Patriot, *справа* антенна Vertex.

Другим ключевым компонентом станции VLBI2010 является система преобразования и регистрации сигнала. Разработка и тестирование прототипа такой системы ведется на базе обсерватория Хайстек – Годдардская геофизическая и астрономическая обсерватория, США. Построен опытный образец широкополосной системы, проведены наблюдения с регистрацией в четырех полосах и получены корреляционные отклики. В этих экспериментах используется система преобразования и регистратор Mark 5C, разработанные в обсерватории Хайстек. Другая далеко продвинутая разработка системы преобразования ведется в Институте радиоастрономии, Италия.

Имеются в разработке и опытных образцах прототипы широкополосных облучателей и приемников, подходящих для антенн VLBI2010. Такие работы ведутся упомянутой группой Хайстек-Годдард, а также в рамках проектов SKA, ATA и др.

В мире также существуют несколько работающих и разрабатываемых корреляторов, способных обеспечить работу сети VLBI2010. В частности, такие работы ведутся в рамках проектов SKA, ALMA, EVLA и др. Имеются сторонники как аппаратных, так и программных решений. Предлагаются и гибридные конструкции. В последнее время

большую популярность приобрел программный коррелятор DiFX, изначально построенный в Австралии и в настоящее время активно развиваемый также в Бонне (MPIfR), Хайстеке, NRAO.

В России с начала работы комитета VLBI2010 (автор является членом комитета) исследования ведутся в таких направлениях как общая конфигурация системы, оптимальное планирование работы сети, требования к наблюдательным станциям, анализ наблюдений. В 2008 г. Главный метрологический центр Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГМЦ ГСВЧ), ВНИИФТРИ инициировал работу по модернизации системы определения параметров вращения Земли ГСВЧ на основе специализированной РСДБ-сети станций стандарта VLBI2010, решающей задачи как национальной службы ПВЗ, так и международной кооперации. В настоящее время ведется работа над техническими предложениями. В работе над этим проектом участвует несколько астрономических (ГАИШ МГУ, АКЦ ФИАН, ГАО РАН) и научно-технических (ОКБ МЭИ, НИИ Радио) институтов и организаций. Первые результаты работы по этому проекту приведены в (Красовский и др. 2009).

Литература

- Красовский П.А., Жаров В.Е., Костромин В.П., Пальчиков В.Г., Пасынок С.Л., Черепашук А.М., Шеффер Е.К., Сажин М.В., Белинский А.А., Илясов Ю.П., Лихачев С.Ф., Малкин З.М., Чеботарев А.С., Грачев В.Г., Харламов Г.Ю.* Модернизация комплекса средств определения ПВЗ ГСВЧ на основе создания Российской РСДБ сети малых высокоскоростных антенн. Тр. ВНИИФТРИ, 2009, вып. 54 (146).
- Niell A., Whitney A., Petrachenko B., Schlüter W., Vandenberg N., Hase H., Koyama Y., Ma C., Schuh H., Tuccary G.* VLBI2010: Current and Future Requirements for Geodetic VLBI Systems. In: D. Behrend, K. D. Baver (Eds.), IVS 2005 Annual Report, NASA/TP-2006-214136, 2006, 13-40.
- Petrachenko B., A. Niell, D. Behrend, B. Corey, J. Boehm, P. Charlot, A. Collioud, J. Gipson, R. Haas, T. Hobiger, Y. Koyama, D. MacMillan, Z. Malkin, T. Nilsson, A. Pany, G. Tuccari, A. Whitney, J. Wresnik.* Design Aspects of the VLBI2010 System. Progress Report of the IVS VLBI2010 Committee, June 2009. NASA/TM-2009-214180, 2009, 62 pp.; <ftp://ivsc.gsfc.nasa.gov/pub/misc/V2C/TM-2009-214180.pdf>.
- Schlüter W., Behrend D.* The International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS): current capabilities and future prospects. *J. of Geodesy*, 2007, V. 81, 379-387.
- Schuh H., Charlot P., Hase H., Himwich E., Kingham K., Klatt C., Ma C., Malkin Z., Niell A., Nothnagel A., Schlüter W., Takashima K., Vandenberg N.* IVS Working Group 2 for Product Specification and Observing Programs, Final Report (13th of February 2002). In: N. R. Vandenberg, K. D. Baver (Eds.), IVS 2001 Annual Report, NASA/TP-2002-210001, 2002, 13-45.

VLBI2010 PROJECT

Malkin Z.M.

Main (Pulkovo) Astronomical Observatory of RAS

Basing on the analysis of the modern and expected requirements to the accuracy of the VLBI observations, International VLBI Service for Geodesy and Astrometry developed requirements to the new-generation VLBI network VLBI2010. For realization of this project, the special IVS Committee VLBI2010 was established, which coordinates R&D works performing in several countries including Russia. In this paper, the main results obtained by the VLBI2010 Committee and the current status of the VLBI2010 project are discussed.

СРАВНЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СВОБОДНОЙ НУТАЦИИ ЯДРА

Малкин З.М.

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

Свободная нутация земного ядра (FCN – Free Core Nutation) является основным фактором, ограничивающим точность моделирования движения оси вращения Земли в небесной системе координат. К настоящему времени предложено несколько моделей FCN. В работе проведен сравнительный анализ современных моделей, включая модели, предложенные автором. Показано, что применение модели FCN позволяет существенно повысить точность учета нутации. Кроме того, выделенная из наблюдаемого движения оси вращения Земли составляющая FCN является важным источником геофизической информации.

1. Введение

Прецессионно-нутационное движение оси вращения Земли в пространстве, точнее в небесной или инерциальной (квазиинерциальной) системе координат, является одной из основных составляющих вращения Земли. Движение оси вращения Земли в пространстве описывается теорией прецессии и нутации, точность которой в настоящее время (официальная модель MAS IAU2000A) составляет около 0.1 мс дуги (mas). Однако сравнение этой теории с РСДБ-наблюдениями (радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами) показывает различия, достигающие величин порядка 0.3 mas. Основной из них является свободная нутация жидкого ядра Земли (FCN – Free Core Nutation) с номинальным периодом около 430 средних суток. На рис. 1. показаны разности между наблюдаемыми координатами небесного полюса X и Y и теорией нутации IAU2000A по данным Международной службы РСДБ для геодезии и астрометрии IVS (Schlueter и Behrend., 2007). Эта составляющая вращения Земли, в отличие от лунно-солнечных и планетных членов теории IAU2000A, носит нерегулярный характер и не может быть предсказана теоретически на достаточно длительный период времени на нужном уровне точности, почему, собственно, она и не была включена в модель MAS.

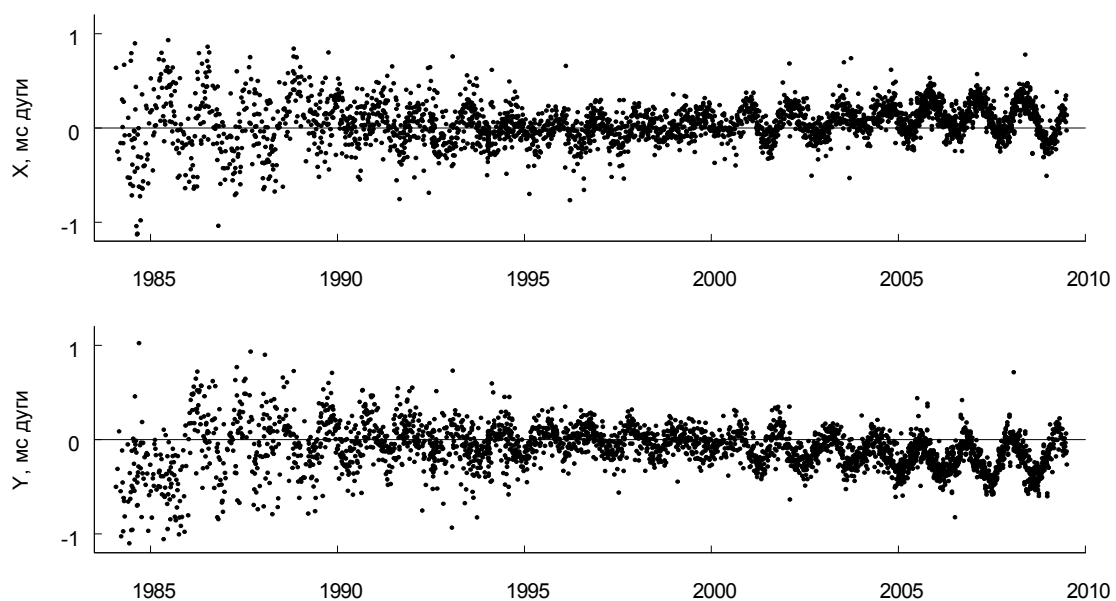


Рис. 1. Разности между наблюдаемыми углами нутации и теорией IAU2000A, mas.

Частота свободной нутации ядра является фундаментальной величиной, входящей в уравнение передаточной функции, связывающей амплитуду нутационных колебаний абсолютно твердой и реальной Земли. Период и амплитуда FCN зависят от ряда параметров внутреннего строения Земли таких, как структуры и динамического сжатия ядра, его моментов инерции, дифференциального вращения ядра и мантии, а также динамического взаимодействия оболочек Земли и их реологических характеристик. Однако наши знания обо всех этих факторах пока недостаточно полны для того, чтобы построить модель FCN с достаточной точностью. Поэтому наблюдательные данные и построенные на их основе эмпирические модели дают важную информацию для уточнения параметров теоретических моделей. С другой стороны, повышение точности эмпирических моделей позволяет повысить точность вычисления нутационного движения оси вращения Земли, что важно для многих практических приложений. Наконец, усилия по построению моделей FCN не в последнюю очередь стимулируются потребностью в высокоточном прогнозе углов нутации, что необходимо для решения ряда прикладных задач.

В этой статье, являющейся продолжением работы (Малкин, 2007), проводится детальное сравнение эмпирических моделей FCN Ламберта (Lambert, 2008) и автора (Malkin, 2007), единственных, поддерживаемых в настоящее время. К сожалению, недавно опубликованное исследование Губанова (2009) не может быть использовано для такого сравнения, поскольку его модель недоступна в числовом виде. Проведено сравнение моделей с точки зрения представления ими наблюдаемых значений углов нутации, а также вариаций амплитуды и фазы FCN. Результаты сравнения показали, что модель, предложенная автором, имеет в этом отношении преимущество. В сравнение также включена непараметрическая модель FCN, полученная сглаживанием наблюдательных данных. Показано, что она обеспечивает минимальную величину остаточных невязок в наблюдениях углов нутации.

2. Эмпирические модели FCN

Все известные эмпирические модели FCN построены на основе анализа разностей между координатами небесного полюса, определяемыми из РСДБ-наблюдений, и теорией IAU2000A. Первую модель FCN, широко использовавшуюся в практике, предложил Herring. Последовательные версии этой модели, отличающиеся добавлением новых наблюдательных данных, были включены в модели нутации KSV и MNB2000 (Herring и др., 2002). Вклад FCN в координаты небесного полюса по этой модели вычисляется следующим образом:

$$\begin{aligned}dX &= -A_1 \sin \varphi + A_2 \cos \varphi, \\dY &= -A_1 \cos \varphi - A_2 \sin \varphi,\end{aligned}\tag{1}$$

где $\varphi = -2\pi r(1+f_0)t$, $f_0 = -1.00231810920$ – частота FCN, которая соответствует периоду 431.39 звездных суток, $r = 1.002737909$ – коэффициент перехода от среднего к звездному времени, t – эпоха в юлианских днях, отсчитываемая от стандартной эпохи $t_0 = J2000.0 = 2451545$. Исходные значения амплитуд A_1 и A_2 вычислены на основе анализа разностей наблюдаемых и теоретических углов нутации на моменты времени 1979.0, 1984.0–2000.0 с интервалом 2 года, 2001.41 (последняя эпоха, после которой модель не поддерживается). Анализ производился на шести последовательных интервалах дат для обеих составляющих нутации независимо. При практическом применении этой модели амплитуды линейно интерполируются на нужный момент. Поскольку эта модель давно не поддерживается, а ее принципы построения и результаты применения очень близки к модели Ламберта (см. ниже), эту модель мы дальше рассматривать не будем.

Следующая модель была предложена автором (Malkin, 2004; Малкин, 2007). Обозначим ее ZM1. В соответствии с этой моделью вклад FCN вычисляется по формулам:

$$\begin{aligned} dX &= A(t) \sin \Phi(t), \\ dY &= A(t) \cos \Phi(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где $A(t)$ – амплитуда, а $\Phi(t)$ – фаза FCN. Переменная амплитуда FCN вычисляется по разностям между наблюдаемыми и теоретическими углами нутации:

$$A(t) = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}. \quad (3)$$

Исходные разности предварительно сглаживаются гауссовым полосовым фильтром с центральной частотой, близкой к f_0 , что позволяет отсеять высокочастотные и низкочастотные составляющие, лежащие за пределами полосы частот FCN. Одновременно со сглаживанием производится интерполяция на равноотстоящие эпохи, обычно с шагом 10 суток, что упрощает и ускоряет последующие вычисления. Можно отметить, что в работе Malkin и Terentev (2003) было проведено сравнение результатов вычислений, проведенных с исходными и сглаженными разностями, которое не показало заметных различий.

Переменная фаза $\Phi(t)$ вычисляется следующим образом. Сначала производится вейвлет-анализ разностей наблюдаемых и теоретических углов нутации, с помощью которого определяется изменение частоты FCN со временем $\omega(t)$. Далее фаза FCN находится путем интегрирования частоты:

$$\Phi(t) = \int_{t_0}^t \omega \cdot dt + \varphi_0, \quad (4)$$

где φ_0 – начальная фаза на эпоху J2000.0. Фаза вычисляется на те же эпохи, на которые определена амплитуда. Окончательно, вклад FCN вычисляется по (2). Заметим, что для вейвлет-анализа характерно наличие краевого эффекта, искажающего данные на крайних отрезках изучаемого интервала дат. Поэтому, хотя для построения модели использованы все наблюдения за 1979–2009 гг., итоговый ряд приводится только для периода 1984.0–2008.0.

В 2004 г. S. Lambert предложил модель FCN, базирующуюся на принципах, схожих с моделью МНВ. Обозначим ее как SL. В отличие от модели МНВ, анализ разностей наблюдаемых и теоретических углов нутации производится строго по двухлетним интервалам, при этом обе составляющие нутации используются одновременно так, что вклад FCN находится методом наименьших квадратов в комплексной форме:

$$dX + i dY = A \exp(i \omega_0 t) + X_0 + i Y_0, \quad (5)$$

где ω_0 – круговая частота FCN, соответствующая периоду –430.23 средних суток (что равно периоду модели МНВ), X_0 и Y_0 – смещение. В результате получаются формулы учета FCN, аналогичные модели МНВ. Модель SL постоянно поддерживается в актуальном состоянии, включая прогноз (Lambert, 2009). Начало ряда приходится на 1984.0.

3. Сравнение моделей

Сравнение описанных выше моделей FCN было проведено по двум критериям. В первом тесте модели сравнивались по уменьшению остаточных невязок в наблюдениях углов нутации. Во втором тесте сравнивалось качество представления изменений амплитуды и фазы FCN со временем.

Для полноты, мы также включили в это сравнение ряд FCN, который получен простым сглаживанием наблюдаемых разностей между наблюдаемыми и модельными углами нутации. Фактически, это ряд (обозначим его ZM2), получаемый на первом эта-

пе построения модели ZM1. Он легко прогнозируется как вперед, так и назад, что позволяет применять его для оперативных и прогнозных работ, а также для обработки старых наблюдений. Принципиальная разница между непараметрической моделью ZM2 с одной стороны и моделями ZM1 и SL с другой стороны заключается в том, что последние не включают в себя тренд, хорошо видный на рис. 1, в то время как ZM2 представляет полное уклонение наблюдаемых значений координат небесного полюса от модели IAU2000A.

Уменьшение остаточных невязок наблюдений при использовании моделей FCN проверялось на примере их спектра, а также вычислением их среднеквадратического значения. На рис. 2 показан спектр остаточных невязок до и после применения модели ZM1. Из рисунка видно, что после применения модели FCN в остаточных невязках практически исчезает соответствующий ей спектральный пик. Аналогичный результат получается с остальными моделями FCN, описанными в настоящей работе.

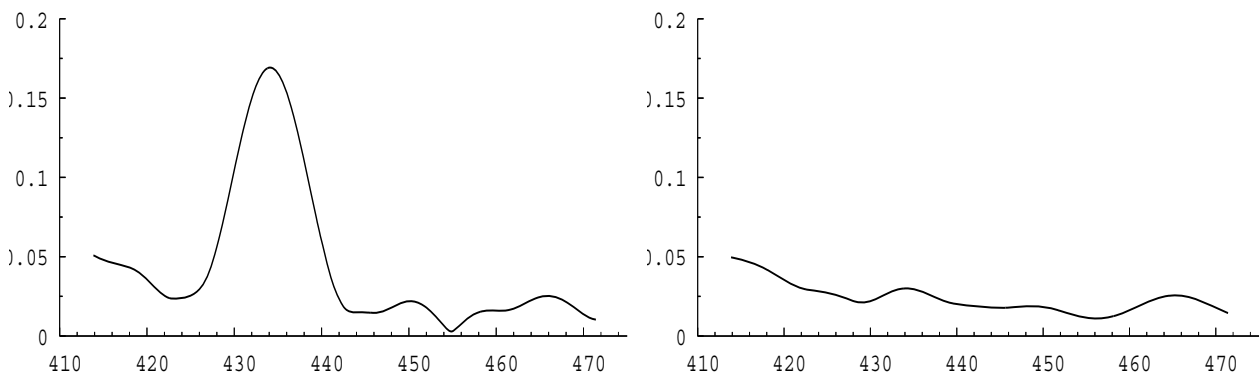


Рис. 2. Спектр остаточных невязок до (слева) и после (справа) применения модели FCN (период в днях, амплитуда в mas).

Численные данные об уменьшении остаточных невязок после применения различных моделей FCN приведены в табл. 1, где содержатся значения взвешенных среднеквадратических разностей (среднее для X и Y координат) между величинами углов нутации, определенными из РСДБ-наблюдений (сводный ряд IVS) и исправленными за модель FCN, и моделью IAU2000A. В первой строке таблицы приведены данные для всех имеющихся наблюдений до эпохи 2008.0 (общий интервал для всех сравниваемых моделей), во второй данные за последние три года. Значения среднеквадратических разностей вычислены в двух вариантах: «как есть» и после удаления постоянного сдвига. Это объясняется тем, что в последние годы разности между наблюдаемыми и модельными значениями углов нутации показывают заметный тренд, что ясно видно на рис. 1.

Таблица 1. Среднеквадратические значения остаточных разностей, мкс дуги.

| Интервал дат | Без учета сдвига | | | | С учетом сдвига | | | |
|---------------|------------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|
| | Модель FCN | | | | Модель FCN | | | |
| | Нет | SL | ZM1 | ZM2 | Нет | SL | ZM1 | ZM2 |
| 1984.0–2008.0 | 188 | 188 | 162 | 90 | 156 | 156 | 120 | 90 |
| 2005.0–2008.0 | 219 | 219 | 191 | 78 | 147 | 147 | 82 | 77 |

Из данных табл. 1 видно, что наличие тренда сказывается на величине остаточных разностей для моделей ZM1 и SL, в которых тренд удаляется при построении. В то же

время для модели ZM2 тренд практически не влияет на величину остаточных разностей, что является следствием того, что при построении этой модели тренд не удаляется. Отсюда можно сделать важный вывод об области оптимального применения различных моделей. Первые две модели наилучшим образом подходят для геофизической интерпретации наблюдаемых данных о свободной нутации жидкого ядра, в то время как ZM2 обеспечивает наиболее точный результат при практических вычислениях, связанных с преобразованием систем координат.

Сравним модели ZM1 и SL с точки зрения представления изменений амплитуды и фазы FCN. Для любой модели FCN, заданной в виде рядов приращений координат небесного полюса X и Y , амплитуда FCN может быть вычислена по (3), а фаза как $\arctg(X/Y)$. Для более наглядного представления изменений фазы из ее значений был вычтен одинаковый для обеих моделей линейный тренд, соответствующий значению периода FCN 430 средних суток. Результаты вычислений, приведенные на рис. 3, показывают, что все модели обнаруживают схожие вариации амплитуды и фазы FCN. Однако для модели ZM1 эти вариации носят более плавный характер, что, по-видимому, лучше соответствует реальным изменениям во вращении Земли. Из принципов построения моделей FCN можно видеть, что модель ZM1 обеспечивает практически непрерывное во времени определение параметров FCN с любым наперед заданным шагом, в отличие от модели SL для которой эти параметры определяются с интервалом порядка 2 лет, что приводит к скачкам в параметрах FCN, хорошо видимых на рис. 3.

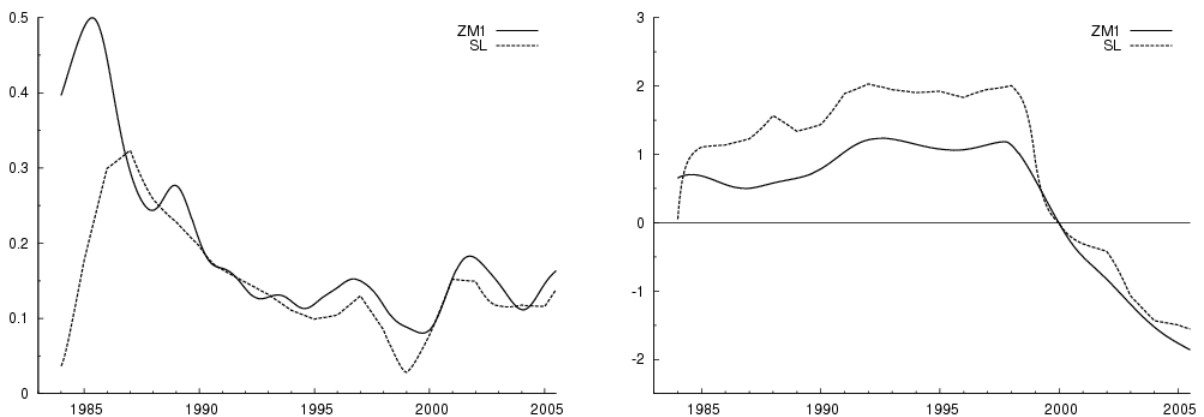


Рис. 3. Изменение амплитуды (слева, мас), и фазы (справа, радианы) для разных моделей FCN.

Заметим, что с математической точки зрения, полученное из анализа изменение фазы может быть следствием изменения периода нутационного колебания. Вообще говоря, можно говорить об изменениях и периода, и фазы, которые можно разделить только с привлечением геофизического анализа. В ряде работ, напр. Hinderer и др. (2000), Zharov (2005), показано, что период FCN остается постоянным в пределах ± 2 суток. Поэтому наиболее вероятной причиной найденной зависимости являются изменения именно фазы, которые могут быть сопоставлены с другими геофизическими наблюдениями (см., например, Shirai и др., 2005). Таким образом, изменения амплитуды и фазы, определенные на основе эмпирических моделей являются наиболее интересным материалом для дальнейшей геофизической интерпретации.

4. Заключение

В настоящей работе проведено сравнение трех поддерживаемых в настоящее время моделей FCN. Из результатов работы следует, что все современные модели позволяют достаточно эффективно учитывать FCN при решении задач координатных преобразований, при этом непараметрическая модель ZM2 имеет заметное преимущество.

Что касается параметрических моделей, наиболее интересных с точки зрения выделения геофизического сигнала (амплитуды и фазы FCN) из данных наблюдений, модель ZM1 имеет определенное преимущество в силу отсутствия скачков на границе интервалов, используемых при построении модели SL. Однако можно заметить, что этот недостаток модели SL легко может быть устранен при уменьшении величины сдвига между пробными интервалами до 10-15 суток.

В заключение отметим, что модели ZM1 и ZM2 обновляются ежедневно и доступны для пользователей на сайте ГАО РАН (http://www.gao.spb.ru/english/as/ac_vlbi/).

Литература

- Губанов В.С.* Динамика земного ядра по данным РСДБ-наблюдений. Письма в АЖ, 2009, т. 35, № 4, 304-311.
- Малкин З. М.* Эмпирические модели свободной нутации земного ядра. Астрон. вестник, 2007, т. 41, No. 6, 531-536.
- Herring T.A., Mathews P.M., Buffet B.A.* Modelling of nutation-precession: Very long baseline interferometry results. J. Geophys. Res., 2002. V. 107, No. B4, 2069-2080.
- Hinderer J., Boy J.P., Gegout P. et al.* Are the Free Core Nutation parameters variable in time? Phys. Earth Planet. Int. 2000, V. 117, No. 1, 37-49.
- Lambert S.L.*, Empirical Modeling of the Retrograde Free Core Nutation (Technical Note), 2009, <http://syrtel.obs-epm.fr/~lambert/fcn/notice.pdf>.
- Malkin, Z., Terentev D.* Investigation of the Parameters of the Free Core Nutation from VLBI data. Comm. IAA RAS. 2003. № 149.
- Malkin Z.M.* Comparison of VLBI nutation series with the IAU2000A model. Proc. Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels 2003, St. Petersburg, 2004, 24-31.
- Schluter, W., Behrend, D.* The International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS): current capabilities and future prospects. J. of Geodesy, 2007, V. 81, No. 6-8, 379-387.
- Shirai T, Fukushima T., Malkin Z.* Detection of phase disturbances of free core nutation of the Earth and their concurrence with geomagnetic jerks. Earth Planets and Space, 2005, V. 57, 151-155.
- Zharov V.E.* Model of the Free Core Nutation for Improvement of the Earth Nutation Series. Proc. Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels 2004, Paris. 2005, 106-109.

A COMPARISON OF EMPIRIC FREE CORE NUTATION MODELS

Malkin Z.M.

Main (Pulkovo) Astronomical Observatory of RAS

Free core nutation (FCN) is the main factor that limits the accuracy of the modeling of the motion of Earth's rotational axis in the celestial coordinate system. Several FCN models have been proposed. A comparative analysis is made of the known models including the model proposed by the author. The use of the FCN model is shown to substantially increase the accuracy of the modeling of Earth's rotation. Furthermore, the FCN component extracted from the observed motion of Earth's rotational axis is an important source for the study of the shape and rotation of the Earth's core. A comparison of different FCN models has shown that models proposed by the author are better than other models if used to extract the geophysical signal (the amplitude and phase of FCN) from observational data and provide better fit to observed nutation angles.

СБЛИЖЕНИЯ ПЛАНЕТ С РАДИОИСТОЧНИКАМИ В 2009-2050 гг. И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ

Малкин З.М., Львов В.Н., Цекмейстер С.Д.

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

Во время тесных видимых сближений планет Солнечной системы с астрометрическими радиоисточниками видимое положение последних изменяется из-за релятивистских эффектов, и таким образом эти явления могут служить тестом общей теории относительности, что и было успешно продемонстрировано в экспериментах 1988 и 2002 гг. по измерению смещений радиоисточников во время сближений с Юпитером. Анализ, проведенный в настоящей работе, показал, что при наблюдении источника вблизи края планетного диска, фактически во время покрытий, релятивистский эффект может быть измерен на современном уровне точности для всех планет. Однако покрытия радиоисточников довольно редкие явления. В то же время, из всех планет только Юпитер и Сатурн дают значимый релятивистский эффект при их угловом сближении с радиоисточником на расстояние нескольких радиусов планеты. В результате этого анализа составлен каталог предстоящих покрытий и сближений планет и геодезических радиоисточников на 2009–2050 гг., который может быть использован для планирования экспериментов по тестированию теорий гравитации и в других целях. Для всех вошедших в каталог явлений рассчитаны основные релятивистские поправки для наземных и космических (Земля – Луна) баз интерферометра.

1. Введение

К настоящему времени кроме общепринятой в среде физиков и астрономов общей теории относительности (ОТО) предложены альтернативные теории гравитации. Наиболее серьезные из них не противоречат имеющимся наблюдательным фактам, однако прогнозируют отличие природы от ОТО при условиях, отличающихся от наблюдаемых до сих пор, либо предсказывают отличие наблюдаемых величин от ОТО за пределами достигнутой точности наблюдений. Поэтому тестирование теорий гравитации с использованием разных методов и все более точных наблюдений является весьма актуальной астрономической и физической задачей.

Одним из предложенных тестов ОТО являются наблюдения радиоисточников методом радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) в моменты их видимых тесных сближений с планетами Солнечной системы (Treuhaf и Lowe, 1991; Koreikin, 2001; Fomalont и Koreikin, 2003, 2008). В частности, в этих работах описаны наблюдения релятивистской задержки сигнала радиоисточника в моменты близкого прохождения Юпитера в 1988 и 2002 гг. Аналогичные наблюдения Юпитера и Сатурна по предложению О.А.Титова запланированы Комитетом по наблюдательным программам Международной службы РСДБ для геодезии и астрометрии IVS в 2008–2009 гг. (<http://ivscc.gsfc.nasa.gov/program/opc.html>). Однако обработка результатов уже проведенных экспериментов показала, что не на все вопросы, которые ставили их инициаторы, были получены однозначные ответы, в частности, из-за недостаточной точности результатов, что объясняется, в первую очередь, довольно большим угловым расстоянием между Юпитером и радиоисточником. Поэтому необходимо проведение дальнейших наблюдений в наиболее благоприятных условиях, в первую очередь при более тесных сближениях (в дальнейшем мы будем иметь в виду видимые сближения) и покрытиях.

Нужно заметить, что проведенные до сих пор наблюдения носят, во многом, случайный характер, т.е. инициатор того или иного эксперимента использует ближайшее прохождение планеты рядом с известным астрометрическим радиоисточником. Другой

исследователь, желающий провести аналогичный эксперимент, вынужден проводить свой поиск предстоящих сближений. При этом наиболее интересные явления, т.е. наиболее тесные сближения, могут быть пропущены. К тому же наблюдения релятивистских эффектов, обусловленных отклонением и гравитационной задержкой радиосигнала вблизи планеты, требуют значительных, обычно международных, ресурсов и планируются загодя. Поэтому желательно иметь возможность заблаговременного планирования экспериментов при наиболее выгодных условиях.

Целью настоящей работы является составление каталога сближений планет Солнечной системы с астрометрическими радиоисточниками и покрытий радиоисточников планетами для удобного дальнейшего планирования наблюдений. В процессе работы оказалось, что две считавшиеся очевидными характеристики подобных экспериментов являются ошибочными. Во-первых, такие явления происходят намного чаще, чем принято считать. Во-вторых, один из наиболее интересных релятивистских эффектов, связанных со скоростью распространения гравитации, может эффективно наблюдаться не только для планет-гигантов, но и для остальных планет и даже для Плутона. Кроме того, развитие космической техники делает реальным проведение РСДБ-наблюдений с базами в несколько сот тысяч километров, на которых также могут наблюдаться основные релятивистские эффекты для всех планет, включая наиболее крупные карликовые.

Полный вариант работы, включающий расчеты сближений и покрытий на период до 2050 г., опубликован в статье (Малкин и др., 2009), которая рекомендуется для ссылок на это исследование.

2. Наблюдаемые эффекты

В случае наблюдения радиоисточника вблизи планеты можно наблюдать два релятивистских эффекта, вносящих вклад в измеряемую интерферометрическую задержку, определяемую как разность прихода фронта электромагнитной волны, излученной радиоисточником, на две антенны базы РСДБ. Этими эффектами являются задержка Шапиро Δ и задержка распространения гравитационного взаимодействия Δ_p , обусловленная распространением луча вблизи движущегося тела, в нашем случае планеты. Как показано в (Koreikin, 2001), их измерение позволяет определить два фундаментальных релятивистских параметра: ППН параметр γ (равен 1 в ОТО) и параметр распространения гравитационного взаимодействия δ (равен 0 в ОТО, т.е. скорость распространения гравитации равна скорости света). Величина указанных эффектов может быть оценена по формулам, полученным Koreikin (2001, уравнение (13)), которые после очевидных преобразований приводятся к виду

$$\Delta \cong \frac{2(1+\gamma)GMrB}{c^3 R d}, \quad \Delta_p \cong (1+\delta) \frac{\Delta v}{cd} \quad (1)$$

где GM – планетоцентрическая гравитационная постоянная, B – длина базы интерферометра, r – видимый угловой радиус планеты, d – угловое расстояние между направлениями со станции на источник и центр планеты, R – радиус планеты, v – ее орбитальная скорость, c – скорость света. Очевидно, что Δ и Δ_p достигают максимальной величины при наблюдениях на краю планетного диска, т.е. $d = r$. Для этого случая (1) может быть переписано в рамках ОТО как

$$\Delta \cong \frac{4GM B}{c^3 R}, \quad \Delta_p \cong \frac{\Delta v}{cr}. \quad (2)$$

Из (2) видно, что при наблюдении на краю диска Δ не зависит от размера видимого диска, т.е. от расстояния до планеты, а Δ_p достигает максимальной величины при максимальном удалении планеты от Земли. Числовые значения максимальных наблю-

даемых релятивистских эффектов приведены в табл. 1 для случая наземной и космической (Земля – Луна) базы интерферометра. Учитывая линейную зависимость рассматриваемых эффектов от B , приведенные значения легко могут быть пересчитаны на любую базу.

Таблица 1. Максимальная величина релятивистских эффектов при наблюдении на краю планетного диска, нс

| База, тыс. км | Эффект | Меркурий | Венера | Марс | Юпитер | Сатурн | Уран | Нептун | Плутон |
|---------------|------------|----------|--------|------|--------|--------|------|--------|--------|
| 8 | Δ | 0.01 | 0.06 | 0.02 | 2.1 | 0.77 | 0.27 | 0.33 | 0.00 |
| | Δ_p | 0.15 | 0.32 | 0.13 | 1.2 | 0.68 | 0.73 | 1.14 | 0.09 |
| 400 | Δ | 0.5 | 3.2 | 0.75 | 110 | 39 | 14 | 16 | 0.05 |
| | Δ_p | 7.3 | 16 | 6.7 | 62 | 34 | 37 | 57 | 4.3 |

Следует отметить, что релятивистские эффекты, имеющие величину порядка единиц нс, могут быть измерены с использованием наиболее простой интерферометрической техники определения групповой задержки. В то же время эффекты на уровне единиц пикосекунд могут быть измерены только методом дифференциальных фазовых измерений при тщательном планировании наблюдательного эксперимента. Есть вполне обоснованная надежда, что точность измерения релятивистских эффектов существенно возрастет с вводом в строй РСДБ-станций нового поколения в стандарте VLBI2010 (Behrend и др., 2008).

Таблица 2. Величина релятивистских эффектов при удалении центра планеты от радиоисточника на $30''$, нс

| База, тыс. км | Эффект | Меркурий | Венера | Марс | Юпитер | Сатурн | Уран | Нептун | Плутон |
|---------------|------------|----------|--------|------|--------|--------|------|--------|--------|
| 8 | Δ | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 1.1 | 0.20 | 0.02 | 0.01 | 0.00 |
| | Δ_p | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.33 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 400 | Δ | 0.04 | 0.51 | 0.05 | 56 | 9.8 | 0.78 | 0.60 | 0.00 |
| | Δ_p | 0.05 | 0.41 | 0.03 | 17 | 2.2 | 0.12 | 0.08 | 0.00 |

Результаты расчетов показывают, что почти все планеты в моменты максимального сближения с радиоисточниками обеспечивают вполне измеримые релятивистские эффекты даже на земных базах, особенно для Δ_p . Однако, уже при увеличении расстояния от центра планеты до радиоисточника до $30''$ величина релятивистских эффектов для земной базы становится практически неизмеримой с достаточной точностью для всех планет кроме Юпитера и Сатурна (табл. 2).

3. Предвычисление покрытий и сближений

На основании результатов, полученных в предыдущем разделе, можно сделать вывод, что имеет смысл предвычислять моменты покрытий для всех планет от Венеры до Нептуна, а более подробные обстоятельства сближений предвычислять для Юпитера и Сатурна. При этом будут охвачены все явления сближений планет с радиоисточниками, обеспечивающие наиболее заметные релятивистские эффекты в распространении сигнала. Их число представляется вполне достаточным для практического планирования экспериментов без привлечения наблюдений Меркурия, Марса и карликовых планет, для которых релятивистские эффекты хотя и могут быть измерены, но со сравнительно большой относительной ошибкой. Впрочем, опущенные в этой работе данные легко могут быть восполнены авторами по запросу заинтересованных лиц.

Основные расчеты обстоятельств сближений планет с радиоисточниками были выполнены с помощью программ APPROACH и OCCULT, которые используют данные и среду программной системы ЭПОС (Эфемеридная Программа для Объектов Солнечной системы, Львов, Цекмейстер, 2009). Координаты источников взяты из каталога Годдардского центра космических полетов НАСА, США (Petrov, 2008) с добавлением недостающих источников каталога ICRF-2 (Feu и др., 2004). Всего оказалось 3958 источников, список которых и их оптические характеристики могут быть найдены на http://www.gao.spb.ru/english/as/ac_vlbi/sou_car.dat.

Список покрытий радиоисточников планетами приведен в табл. 3, а обстоятельства сближений Юпитера и Сатурна с радиоисточниками – в табл. 4 и 5 соответственно. В таблицах показаны обстоятельства всех покрытий и сближений на расстояние, не превышающее 10', в 2009–2050 гг. Для Урана и Нептуна покрытий на рассмотренном интервале времени нет. Интересной особенностью полученного нами списка является наличие кратных сближений, возникающих из-за видимого петлеобразного движения планет. При этом планета приближается к радиоисточнику с разных сторон, что может вызвать дополнительный экспериментальный интерес для изучения влияния движущейся планеты на задержку сигнала (член Δ_p).

Таблица 3. Ближайшие покрытия планетами астрометрических радиоисточников

| Дата г м д | Планета | Источник | α, δ (J2000.0) | | Регионы видимости (в скобках – небольшая часть региона) |
|---------------|---------|----------|----------------------------|-----------|--|
| | | | h m s | ° ' " | |
| 2011 02 26.6 | Венера | 1946–200 | 19 49 53 | –19 57 13 | (Ю.Америка), Антарктида |
| 2011 05 03.8 | Марс | 0127+084 | 1 30 28 | + 8 42 46 | С.Америка |
| 2012 12 24.4 | Венера | 1631–208 | 16 34 30 | –20 58 26 | Африка, (Азия), Ю.Америка, Антарктида |
| 2015 08 06.8 | Венера | 0947+064 | 9 50 03 | + 6 15 04 | Америка |
| 2020 01 16.7 | Венера | 2220–119 | 22 22 56 | –11 44 26 | (Европа), Африка, Ю.Америка |
| 2020 07 17.7 | Венера | 0446+178 | 4 49 13 | +17 54 32 | Америка |

Таблица 4. Ближайшие сближения Юпитера с астрометрическими радиоисточниками

| Дата г м д | Источник | α и δ источника, J2000 | | d " | r " | Δ пс | Δ_p пс |
|---------------|----------|--------------------------------------|-----------|----------|----------|----------------|------------------|
| | | h m s | ° ' " | | | | |
| 2009 03 08.6 | 2104–173 | 21 07 27 | –17 08 10 | 277 | 16 | 127 | 4.1 |
| 2011 07 03.6 | 0210+119 | 2 13 05 | +12 13 11 | 341 | 18 | 116 | 3.0 |
| 2011 09 13.1 | 0229+131 | 2 31 46 | +13 22 55 | 149 | 23 | 328 | 20 |
| 2012 02 04.0 | 0201+113 | 2 03 47 | +11 34 45 | 490 | 19 | 83 | 1.5 |
| 2012 02 20.3 | 0210+119 | 2 13 05 | +12 13 11 | 342 | 18 | 114 | 3.0 |
| 2013 02 28.1 | 0420+210 | 4 23 02 | +21 08 02 | 216 | 19 | 191 | 8.0 |
| 2013 10 23.0 | 0723+219 | 7 26 14 | +21 53 20 | 123 | 20 | 343 | 25 |
| 2013 11 07.0 | 0725+219 | 7 28 21 | +21 53 06 | 388 | 21 | 114 | 2.6 |
| 2013 11 22.1 | 0723+219 | 7 26 14 | +21 53 20 | 351 | 21 | 132 | 3.4 |

В табл. 4 и 5 видимый угловой диаметр планет вычислен по их среднему радиусу. Значения Δ и Δ_p вычислены для длины базы 8 тыс. км. При этом использовалась формула, с очевидностью следующая из (1) (для ОТО):

$$\Delta = \frac{4GM B}{c^3 D d}, \quad (3)$$

где D – расстояние от Земли до планеты. Для других баз, в том числе космических, легко сделать пересчет путем пропорционального изменения приведенных значений. Как показали результаты эксперимента 2002 г. (Fomalont и Koreikin, 2003) релятивистская

задержка $\Delta p \approx 6$ пс (точнее, эквивалентное ей отклонение луча в 51 мкс дуги) оказалась вполне измеримой на радиоинтерферометре VLBA, США, дополненном 100-м антенной в Эффельсберге, Германия, с ошибкой около 20%. Более далекие сближения, очевидно, имеет смысл наблюдать с космическим интерферометром, для которого наблюдаемый эффект будет больше во столько раз, во сколько база космического интерферометра больше базы наземного.

Таблица 5. Ближайшие сближения Сатурна с астрометрическими радиоисточниками

| Дата г м д | Источник | α и δ источника, J2000 | | d " | r " | Δ пс | Δp пс |
|---------------|----------|--------------------------------------|-----------|----------|----------|----------------|------------------|
| | | h m s | ° ' " | | | | |
| 2009 02 10.2 | 1125+062 | 11 27 37 | + 5 55 32 | 80 | 9 | 92 | 7.7 |
| 2009 06 26.0 | 1109+076 | 11 12 10 | + 7 24 49 | 146 | 8 | 44 | 2.0 |
| 2015 06 19.1 | 1548–177 | 15 51 15 | –17 55 02 | 156 | 9 | 44 | 1.9 |
| 2015 11 19.1 | 1614–195 | 16 17 27 | –19 41 32 | 64 | 7 | 88 | 9.1 |

Необходимо отметить, что приведенные выше обстоятельства сближений вычислены для центра Земли. Для реального наблюдателя угловые расстояния будут отличаться от значений, приведенных, в табл. 4 и 5, на величину, достигающую примерно R_0/D , где R_0 – расстояние от центра Земли до середины базы интерферометра, в зависимости от позиционного угла и ориентации базы. Понятно, что это отличие максимально в эпохи противостояний и для наземного интерферометра может достигать до 3" для Юпитера и 1" для Сатурна. Что касается данных табл. 3, они рассчитаны для наземных наблюдений, для космического интерферометра расчет покрытий целесообразно проводить для его конкретной конфигурации.

4. Заключение

В настоящей работе проведено вычисление обстоятельств сближений планет Солнечной системы с астрометрическими радиоисточниками на период 2009–2050 гг. Особый интерес представляют собой покрытия радиоисточников планетами, в моменты которых релятивистские эффекты достигают своей максимальной величины. Это позволяет измерять указанные эффекты с минимальной относительной ошибкой, что имеет первостепенное значение для тестирования теорий гравитации. При этом могут эффективно использоваться все планеты от Венеры до Нептуна.

Наши расчеты показали, что видимые сближения планет с радиоисточниками и даже их покрытия планетами совсем не такие редкие события, как принято считать. При расширении списка радиоисточников в зоне эклиптики увеличится и число рассматриваемых здесь явлений, что еще больше расширит возможности проведения соответствующих экспериментов.

Литература

- Львов В.Н., Цекмейстер С.Д. ЭПОС – эффективный инструмент для исследования и эфемеридной поддержки наблюдений объектов Солнечной системы. Труды настоящей конференции, с. 179–184.
- Малкин З. М., Львов В. Н., Цекмейстер С. Д. Предстоящие сближения планет с радиоисточниками и возможности их использования для проверки ОТО. Астрон. вестник, 2009, т. 43, No. 4, 327–332.
- Behrend D., Boehm J., Charlot P., et al. Recent Progress in the VLBI2010 Development. In: Observing our Changing Earth: Proc. 2007 IAG General Assembly, Perugia, Italy, July 2–13, M.G. Sideris (Ed.), IAG Symposia, 2008. V. 133. P. 833–840.
- Fey A.L., Ma C., Arias E.F., et al. The second extension of the International Celestial Reference Frame: ICRF-Ext.2. Astron. J. 2004. V. 127. P. 3587–3608.

- Fomalont E.B., Kopeikin S.M.* The Measurement of the Light Deflection from Jupiter: Experimental Results. *Astrophys. J.* 2003. V. 598. P. 704–711.
- Fomalont E.B., Kopeikin S.M.* Radio interferometric tests of general relativity. A Giant Step: from Milli- to Micro-arcsecond Astrometry, *Proceedings IAU Symposium No. 248*, W.-J. Jin, I. Platais, M. Perryman (eds.). 2008. P. 383–386.
- Kopeikin S.M.* Testing the Relativistic Effect of the Propagation of Gravity by Very Long Baseline Interferometry. *Astrophys. J.* 2001. V. 556. P. L1–L5.
- Petrov L.* Goddard VLBI astrometric catalogue 2008b, <http://vlbi.gsfc.nasa.gov/solutions/>.
- Treuhaft R.N., Lowe S.T.* A measurement of planetary relativistic deflection. *Astron. J.* 1991. V. 102. P. 1879–1888.

CLOSE APPROACHES OF PLANETS TO GEODETIC RADIO SOURCES IN 2009–2050 AND THEIR USE FOR TESTING OF PHYSICAL THEORIES

Malkin Z.M., L'vov V.N., Tsekmejster S.D.

Main (Pulkovo) Astronomical Observatory of RAS

During close angular approaches of solar system planets to astrometric radio sources, the apparent positions of these sources shift due to relativistic effects and, thus, these events may be used for testing the theory of general relativity; this fact was successfully demonstrated in the experiments on the measurements of radio source position shifts during the approaches of Jupiter carried out in 1988 and 2002. An analysis performed within the frames of the present work, showed that when a source is observed near a planet's disk edge, i.e., practically in the case of occultation, the current experimental accuracy makes it possible to measure the relativistic effects for all planets. However, radio occultations are fairly rare events. At the same time, only Jupiter and Saturn provide noticeable relativistic effects approaching to the radio sources at angular distances of about a few planet radii. Our analysis resulted in the creation of a catalog of forthcoming occultations and approaches of planets to astrometric radio sources for the time period of 2008–2050, that can be used for planning experiments on testing gravity theories and other purposes. For all events included in the catalog, the main relativistic effects are calculated both for ground-based and space (Earth-Moon) interferometer baselines.

АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ МИССИИ

Малков О.Ю.

Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Физический факультет МГУ, Москва, Россия

В работе приводится короткий обзор астрометрических космических миссий: осуществленной (Hipparcos), нереализованных (Ломоносов, Струве, DIVA, FAME) и планируемых (Gaia, Свеча, Nano-JASMINE, JASMINE, SIM Lite, Дугомер). Обсуждаются обстоятельства запуска, методика наблюдений, научные задачи и полученные (ожидаемые) результаты.

Введение

Астрометрия – наука, изучающая геометрические и кинематические характеристики Вселенной, и ее главная задача – высокоточные измерения координат, расстояний и собственных движений небесных тел. Примерно в середине XX века наземные астрометрические наблюдения достигли своего порога точности (ошибка одного измерения даже на лучших инструментах составляет величину порядка 0.2 секунды дуги). Два главных препятствия, стоящих на пути увеличения точности (дрожание атмосферы, размывающее изображение звезд, и действие силы тяжести, приводящие к деформации телескопа) удастся преодолеть только с помощью нетрадиционных методов измерений. Такими методами являются радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами (дающая исключительную – порядка 0.001-0.0005 секунды дуги – точность позиционных наблюдений квазаров, но, к сожалению, практически не применимая к наблюдениям звезд) и космическая астрометрия.

До осуществления космического эксперимента Hipparcos астрометрическое сообщество никогда прежде не вовлекалось в космические исследования. В ходе его работы были получены фундаментальные результаты для всех областей астрономии, в статье обсуждаются данные, полученные в ходе миссии Hipparcos, а также ожидаемые результаты планируемых астрометрических космических миссий. Описаны также задачи, ставившиеся перед неосуществленными астрометрическими космическими проектами.

Астрометрическая миссия Hipparcos

Первый и на данный момент единственный завершивший свою работу астрометрический инструмент космического базирования Hipparcos (HIgh Precision PARallax COllecting) был разработан Европейским космическим агентством (ESA). Hipparcos был выведен на высокоэллиптическую (первоначально планировалась геостационарная) орбиту вокруг Земли в августе 1989 года, проработал три с половиной года и позволил увеличить точность астрометрических наблюдений на порядок. По результатам обработки наблюдений были опубликованы два звездных каталога. Один из них, Hipparcos [1], содержит измеренные с ошибкой порядка 0.001 секунды дуги координаты, собственные движения и параллаксы для 118 218 звезд, Позже была издана улучшенная версия каталога, в которой точность положений ярких ($H_p < 8^m$) звезд увеличена в 4 раза [2]. Во втором каталоге, Tycho [3], точность которого 0.007-0.06 секунды дуги, приводятся сведения для 1 058 332 звезд. Позже был опубликован каталог Tycho-2 [4], содержащий данные для 2539913 звезды и включающий в себя 99% всех звезд до 11 звездной величины.

Планируемые миссии

Весьма вероятным представляется сейчас осуществление в 2013-19 г.г. силами ESA проекта Gaia [5] (первоначальное название – Global Astrometric Interferometer for Astrophysics). Целью этого проекта является измерение координат, собственных движений и параллаксов миллиарда звезд в динамическом диапазоне 5^m – 20^m с точностью около 25 микросекунд дуги. Среди задач проекта – глобальный обзор области радиусом 100-200 парсеков с целью поиска планетных систем и тестирование альтернативных теорий гравитации. Предполагается, кроме того, что Gaia откроет сотни тысяч новых объектов, преимущественно слабых звезд (в т.ч. коричневых карликов) и тел Солнечной системы.

Другим перспективным космическим экспериментом является астрометрическая миссия Свеча, разрабатываемая в ГАИШ МГУ [см. настоящий сборник]. Цель эксперимента Свеча – создание высокоточного (25 μ as) каталога положений, параллаксов и собственных движений звезд до 21^m , а также высокоточного (0.001 - 0.003^m) многоцветного фотометрического звездного каталога в 10-16 спектральных полосах и каталога распределений энергии в спектре ярких звезд. Проект Свеча призван решить многие научные задачи галактической астрофизики, астрометрии и звездной астрономии. При сравнимых ожидаемых значениях точности и объема астрометрических наблюдений Свеча имеет ряд преимуществ перед проектом Gaia: более широкий спектральный и более глубокий динамический диапазон. Орбита миссии (геосинхронная) и режим передачи данных на Землю у проекта Свеча более благоприятны для осуществления и обработки наблюдений.

Еще одним астрометрическим инструментом космического базирования является японский проект JASMINE (Japan Astrometry Satellite Mission for INfrared Exploration) [6]. Основная цель проекта – исследование фундаментальной структуры и эволюции балджа Галактики, для чего JASMINE, как планируется, измерит тригонометрические параллаксы, положения и собственные движения примерно десяти миллионов звезд балджа до звездной величины z (0.9 микрон) = 15^m с точностью около десяти микросекунд дуги. Запуск планируется на 2017 г., продолжительность миссии – около пяти лет. JASMINE позиционируется как инфракрасное и низкоширотное расширение эксперимента Gaia. Предварительно на солнечно-синхронную орбиту ($h = 500$ - 800 km) будет запущен демонстрационный спутник Nano-JASMINE, цель которого – инфракрасная астрометрия ярких близких (до 300 пк) звезд.

Нереализованные миссии

Кроме того, разрабатывались, но не были реализованы еще несколько астрометрических обзорных орбитальных миссий. Среди них – два российских проекта.

Проект Ломоносов [7] разрабатывался в ГАИШ МГУ и, как предполагалось, должен был конкурировать с миссией Hipparcos и/или дополнять ее. Основная задача проекта – астрометрический обзор всего неба, т.е., $400 \cdot 10^3$ звезд до 10^m (10 звезд на квадратный градус) с точностью 1 mas. Цель проекта Ломоносов – создание к 1996 г. высокоточной координатной системы на 30-50 лет. Эта задача была аналогична задаче, поставленной перед экспериментом Hipparcos, но методика наблюдений была выбрана другая. Стратегия эксперимента заключалась в следующем: удержание аппарата, наведенного на опорную звезду (вблизи «антисолнца») с последующими поворотами и измерениями расстояний до отстоящих от нее на 90° программных звезд; затем перенаведение на другую опорную звезду. При этом в процессе успокоения ведутся фотометрические наблюдения программных звезд и спектрофотометрические наблюдения опорных звезд. Спутник планировалось вывести на высокоапогейную (120 тыс.км.) орбиту с периодом 48 часов и наклоном 50 - 60° .

Миссия Струве [8] (альтернативное название – Аист) была предложена ГАО РАН. Был запланирован астрометрический обзор всего неба: $20 \cdot 10^6$ звезд до 19.5^m (100 звезд на квадратный градус), полнота обзора – до 14^m ($15 \cdot 10^6$ звезд). Ожидаемая точность положений – 0.6 mas, точность собственных движений (для звезд с первой эпохой из данных Hipparcos) – 0.1 mas в год. Фотометрию планировалось осуществлять в семиполосной Вильнюсской системе. Предполагалась геостационарная орбита и вращение спутника с периодом 2.4 часа.

Кроме того, разрабатывался американский проект FAME (Full-sky Astrometric Mapping Explorer) [9]: астрометрический обзор всего неба, т.е. около $40 \cdot 10^6$ звезд в диапазоне $5^m - 15^m$. Ожидаемая астрометрическая точность – 50 μ as (70 μ as в год для собственных движений) для звезд $5^m - 9^m$ и 500 μ as (500 μ as в год для собственных движений) для звезд $10^m - 15^m$. Предполагалось также провести фотометрические наблюдения в четырех полосах SDSS (400-900 nm) с точностью одного измерения 0.001^m (для звезды 9^m). Спутник планировалось вывести на геосинхронную орбиту с периодом вращения вокруг оси 40 минут и периодом прецессии вокруг линии «спутник – Солнце» 20 дней.

Был также предложен немецкий проект DIVA (Double Interferometer for Visual Astrometry) [10]. Предполагалось провести астрометрические и фотометрические наблюдения 10^6 звезд до 10.5^m . Планируемая точность параллаксов – 0.8 mas, точность собственных движений – 2 mas в год. Фотометрия должна была быть широкополосная (точность – 0.002^m) и среднеполосная (точность – 0.02^m): всего 6 полос в диапазоне 400-1000 nm. Была запланирована высокоапогейная орбита с периодом 24 часа с периодом вращения спутника 2 часа.

Инициативы Струве, FAME и DIVA были призваны «заполнить пробел» между миссиями Hipparcos и Gaia. Финальные каталоги этих проектов, как планировалось, должны были превосходить по точности и количеству звезд каталог Hipparcos, а появиться должны были значительно раньше, чем результаты миссии Gaia.

Планируемые интерферометрические миссии

Помимо обзорных астрометрических космических проектов разрабатывается ряд инструментов, предназначенных для наблюдений заранее отобранных небесных объектов (т.е., работающих в режиме наведения).

Разрабатываемый американскими астрономами проект SIM Lite является «облегченной» версией планировавшегося ранее проекта SIM (Space Interferometry Mission) [11] – орбитальный интерферометр Майкельсона с базой 6 метров – за пять лет работы достигнет, как планируется, точности в 4 микросекунды дуги. Основная задача проекта – поиск планет земного типа у нескольких десятков ближайших звезд (задачей проекта SIM являлось измерение расстояний до 10000 звезд Галактики). Планируемая продолжительность миссии – 5 лет.

Сходный по времени реализации, но отличающийся от предыдущего по поставленным задачам и объему работ проект Дугомер разрабатывается в ИНАСАН [12, см. также настоящий сборник]. Его альтернативные имена: Астрометрия, Озирис, Селеста. Ожидаемая точность измерений координат звезд составит 20 микросекунд дуги. Среди задач проекта Дугомер – измерение параллаксов до десятка тысяч избранных объектов Галактики и реализация инерциальной системы небесных координат на ярких навигационных звездах, основанной на внегалактических источниках, на микросекундном уровне точности. Запуск инструмента намечен на 2018 год, срок активного существования космического аппарата – 5-7 лет.

В проектах Дугомер и SIM Lite используется интерферометрический метод наблюдений, предполагающий измерение дуг между парами звезд. Производительность

такого метода не очень велика, зато ожидаемая точность данных превосходит ожидаемую точность упомянутых выше обзорных проектов.

Заключение

Сведения об обсуждаемых в данном обзоре астрометрических космических миссиях сведены на Рисунке 1 и в Таблице 1

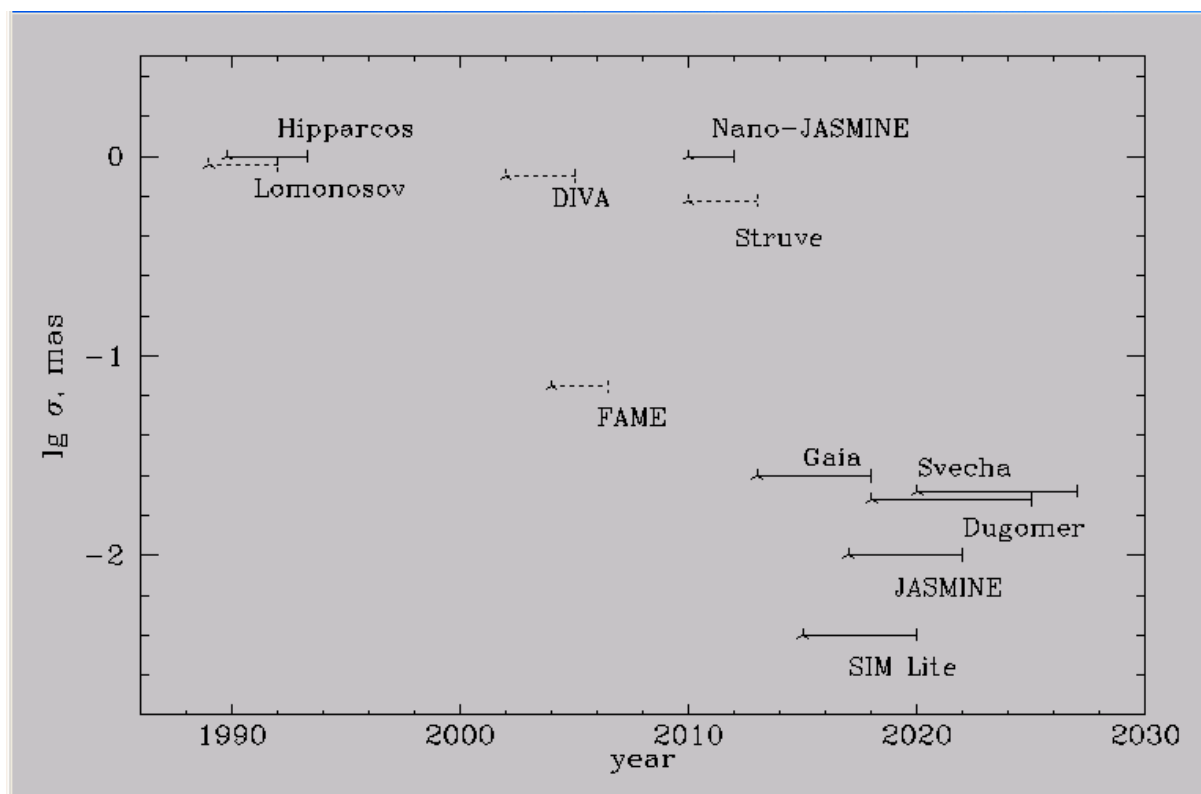


Рисунок 1. Время работы астрометрических космических проектов и получаемая позиционная точность. Неосуществленные миссии обозначены пунктиром.

Таблица 1. Содержание колонок: 1 – год запуска (для будущих проектов – ожидаемый, для несостоявшихся – планировавшийся), 2 – продолжительность миссии (лет), 3 – количество звезд в финальном каталоге ($\times 10^6$), 4 – предельная звездная величина, 5 – точность положений (миллисекунды дуги), 6 – количество фотометрических полос, 7 – орбита.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|------|-----|---------|------|-------|----|---------------------|
| Hipparcos | 1989 | 3.5 | 0.1 | 12.5 | 1 | 2 | высокоэллиптическая |
| Gaia | 2013 | 5 | 1000 | 20 | 0.025 | 3 | L2 |
| Свеча | 2020 | 7 | 10000 | 21 | 0.02 | 10 | геосинхронная |
| Nano-JASMINE | 2010 | 2 | 0.1 | 15 | 1 | 1 | солнечно-синхронная |
| JASMINE | 2017 | 5 | 10 | 15 | 0.01 | 1 | L2 или земная |
| SIM Lite | 2015 | 5 | 0.00006 | 20 | 0.004 | 1 | земная |
| Дугомер | 2018 | 7 | 0.01 | 18 | 0.02 | 1 | высокоэллиптическая |
| Ломоносов | 1989 | 3 | 4 | 10 | 0.9 | 4 | высокоэллиптическая |
| Струве | 2010 | 3 | 200 | 14 | 0.6 | 7 | геостационарная |
| DIVA | 2002 | 3 | 10 | 10.5 | 0.8 | 6 | высокоэллиптическая |
| FAME | 2004 | 2.5 | 400 | 15 | 0.07 | 4 | геосинхронная |

Современные астрометрические каталоги, созданные на основе наземных наблюдений (каталоги семейств GSC, UCAC, USNO-A, -B), содержат десятки и сотни миллионов звезд, однако их точность не превосходит десятков миллисекунд дуги. Выход астрометрии в космос повысил точность на один-два порядка, но результирующие каталоги (в т.ч. и каталоги, созданные на основе объединения наземных и космических наблюдений) пока заметно уступают «сугубо наземным» по количеству звезд. Возможность решить задачу совмещения хорошей точности астрометрических данных с большим количеством объектов, для которых эти данные получены, открывается при разработке новых астрометрических космических миссий.

Литература

- 1 *Perryman M.A.C., Lindegren L., Kovalevsky J., Hoeg E., Bastian U., Bernacca P.L., Creze M., Donati F., Grenon M., van Leeuwen F., van der Marel H., Mignard F., Murray C. A., Le Poole R. S., Schrijver H., Turon C., Arenou F., Froeschle M., Petersen C.S.* The HIPPARCOS Catalogue // *Astronomy Astrophysics*. 1997. V. 323, P. L49–L52.
- 2 *van Leeuwen F.* Hipparcos, the new Reduction of the Raw data // *Astronomy Astrophysics*, 2007. V. 474, P. 653
- 3 *Hoeg E., Bassgen G., Bastian U., Egret D., Fabricius C., Grossmann V., Halbwegs J.L., Makarov V.V., Perryman M.A.C., Schwekendiek P., Wagner K., Wicenec A.* The TYCHO Catalogue // *Astronomy Astrophysics*. 1997. V. 323, P. L57–L60.
- 4 *Hoeg 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 // *Astronomy Astrophysics*. 2000. V. 355, P. L27–L30.
- 5 *Perryman M.F.C.* Overview of the Gaia Mission // *Astrometry in the Age of the Next Generation of Large Telescopes*, ASP Conference Series, eds. P.K. Seidelmann and A.K.B. Monet. 2005. V. 338, P. 3–14.
- 6 *Yano T., Gouda N., Kobayashi Y., Yamada Y., Tsujimoto T., Suganuma M., Niwa Y., Yamauchi M.* Space Astrometry JASMINE // *A Giant Step: from Milli- to Micro-arcsecond Astrometry*, IAU Symp. 248, 2007. P. 296–297.
- 7 *Nesterov V.V., Ovchinnikov A.A., Cherepashchuk A.M., Sheffer, E.K.* The Lomonosov Project for Space Astrometry // *Inertial Coordinate System on the Sky*, IAU Symp. 141, eds. J.H. Lieske and V.K. Abalakin. 1990. P. 355–360.
- 8 *Chubey M.S., Kopylov I.M., Gorshanov D.L., Kanayev I.I., Yershov V.N., Il'in A.E., Kirian T.R., Vydrevich M.G.* The Aist-Struve Space Project Sky Survey // *New Horizons from Multi-Wavelength Sky Surveys*, IAU Symp. 179, eds. B.J. McLean, D.A. Golombek, J.J.E. Hayes and H.E. Payne. 1997. P. 125–126.
- 9 *Johnston K.J.* The FAME mission // *Future EUV/UV and Visible Space Astrophysics Missions and Instrumentation*, SPIE meeting, eds. J.C. Blades, and O.H.W. Siegmund. 2003. V. 4854, P. 303–310.
- 10 *Bastian U., Roser S., Hoeg E., Mandel H., Seifert W., Wagner S., Quirrenbach A., Schalinski C., Schilbach E., Wicenec A.* DIVA – an interferometric minisatellite for astrometry and photometry // *Astronomische Nachrichten*. 1996. V. 317, P. 281–288.
- 11 *Unwin S.C., Shao M., Tanner A.M., Allen R.J., Beichman Ch.A., Boboltz D., Catanzarite J.H., Chaboyer B.C., Ciardi D.R., Edberg S.J., Fey A.L., Fischer D.A., Gelino Ch.R., Gould A.P., Grillmair C., Henry T.J., Johnston K.V., Johnston K.J., Jones D.L., Kulkarni S.R., Law N.M., Majewski S.R., Makarov V.V., Marcy G.W., Meier D.L., Olling R.P., Pan X., Patterson R.J., Pitesky J.E., Quirrenbach A., Shaklan S.B., Shaya E.J., Strigari L.E., Tomsick J.A., Wehrle A.E., Worthey G.* Taking the Measure of the Universe: Precision Astrometry with SIM PlanetQuest // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 2008. V. 120, P. 38–88.
- 12 *Рыхлова Л.В., Куимов К.В. (ред.)* Космический астрометрический эксперимент ОЗИРИС. Фрязино, 2005. 350 с.

SPACE ASTROMETRY MISSIONS

Malkov O.Yu.

Institute of Astronomy RAS, Moscow, Russia

Faculty of Physics, MSU, Moscow, Russia

A brief review of space astrometry missions is given in the paper. It includes the accomplished Hipparcos mission, unrealized (Lomonosov, Struve, DIVA, FAME) and planning (Gaia, Svecha, Nano-JASMINE, JASMINE, SIM Lite, Dugomer) space projects. Spacecraft launch and orbit, methods of observation, scientific goals and final (expected) results of the missions are discussed.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАНДЛЕРОВСКОГО ДВИЖЕНИЯ ПОЛЮСА

Миллер Н.О.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

1. Введение

Под движением полюса подразумевается изменение положения оси вращения Земли относительно системы координат, связанной с Землей. В движении полюса Земли присутствует множество компонент, наиболее значимым из которых является Чандлеровское движение полюса (ЧДП) с периодом 428-435 суток. Наличие ЧДП было впервые объявлено в 1891 году Чандлером (Seth Carlo Chandler) из накопленных к тому времени наблюдений широты [1]. В спектре чандлеровского движения полюса имеется несколько пиков. Этот факт находит многочисленные интерпретации в литературе. Предлагаются различные модели, описывающие ЧДП – однокомпонентные, двухкомпонентные, трехкомпонентные, многокомпонентные и другие [2-4]. Однако имеются лишь предположения о причинах, объясняющих сложное поведение движения полюса Земли, а строгой физической модели ЧДП до сих пор не построено. В большинстве работ, посвященных исследованию ЧДП, анализируется поведение координат полюса, начиная с момента организации международной службы широты (1899г.) или позднее. Длинные ряды наблюдений, имеющиеся к настоящему моменту (около 170 лет), и появление новых методов анализа сложных нестационарных сигналов позволяют выявить новые долгопериодические закономерности ЧДП. В районе 1925 г. в поведении ЧДП имеется хорошо известная особенность – уменьшение амплитуды ЧДП почти в четыре раза, которое сопровождается одновременной сменой фазы. В данной работе разными методами показано, что эта особенность не является уникальной, а имеется еще два таких интервала на концах ряда в районе 1845 г. и 2005 г.

2. Используемые методы

Для анализа чандлеровской составляющей движения полюса были использованы следующие методы:

1) Сингулярный спектральный анализ (ССА), подробно описанный в [5]. Этот метод имеет хорошее разрешение, как по времени, так и по частоте, и позволяет отделять полезный сигнал от шума даже, если уровень шума меняется на разных участках ряда, что характерно для исследуемых рядов. Апробация этого метода для анализа рядов координат полюса имеется в работах [6, 7]. Многомерная реализация метода позволяет исследовать одновременно несколько рядов, выявляя общие гармоники. Причём главные компоненты у этих рядов общие, а собственные вектора разные. В результате процедуры восстановления получают гармоники, сохраняющие индивидуальные особенности, но характеризующие одну и ту же составляющую процесса.

2) Вейвлет анализ. В случае вейвлет-анализа для каждой конкретной задачи необходимо выбрать базис или тип Вейвлета. Для анализа координат полюса нами был использован Вейвлет Морле. Подробное обоснование такого выбора и сравнение этого метода с ССА приводится в [8].

3) Метод полосовой фильтрации. Чандлеровское колебание было получено с использованием эллиптического частотного полосового фильтра пятого порядка Золотарева-Кауэра (Ellip, Matlab Signal Processing Toolbox) с полосой пропускания на частоте ЧДП 0.76-0.88 г. (1.14-1.32 года). Пример использования других фильтров, и анализ получаемых результатов приводятся в работе [9].

4) Для оценки изменения амплитуды и фазы в случае координат полюса использовалось комплексное преобразование Фурье, а в случае изменений широты – преобразование Гильберта.

3. Данные

В данной работе использовались наиболее длинные ряды координат полюса IERS C01 (<http://hpiers.obspm.fr/iers/eop>), начиная с 1846 г. Для формирования этих рядов использовались наблюдения, полученные в различных обсерваториях мира, при этом применялись как различные методы наблюдений, так и различные методы их обработки. В ряд C01 вошли наблюдения, выполненные с помощью как современных, так и классических средств определения ПВЗ. Поэтому этот ряд не является однородным ни в систематическом, ни в случайном отношениях.

В Пулковской обсерватории имеются ряды наблюдения широты на разных инструментах, начиная с 1840 года. Это наблюдения на пассажном инструменте в первом вертикале (ПИПВ) за 1840-1941 гг., на большом вертикальном круге (БК) за 1840-1880 гг. и на зенит-телескопе Фрейберга-Кондратьева (ЗТФ-135) за 1904-2006 гг. В связи с военными действиями ЗТФ-135 был демонтирован, а в 1948 г. на нем вновь возобновились систематические наблюдения. Поэтому ряд наблюдений на ЗТФ-135 имеет семилетний пропуск в интервале 1941-1948 гг. Этот ряд отличается высокой плотностью и однородностью, особенно в период с 1948 по 1994 годы.

С помощью Фурье анализа и ССА изменения широты Пулкова, вычисленные из наблюдений на ЗТФ-135, были сопоставлены с рядом, полученным из международных

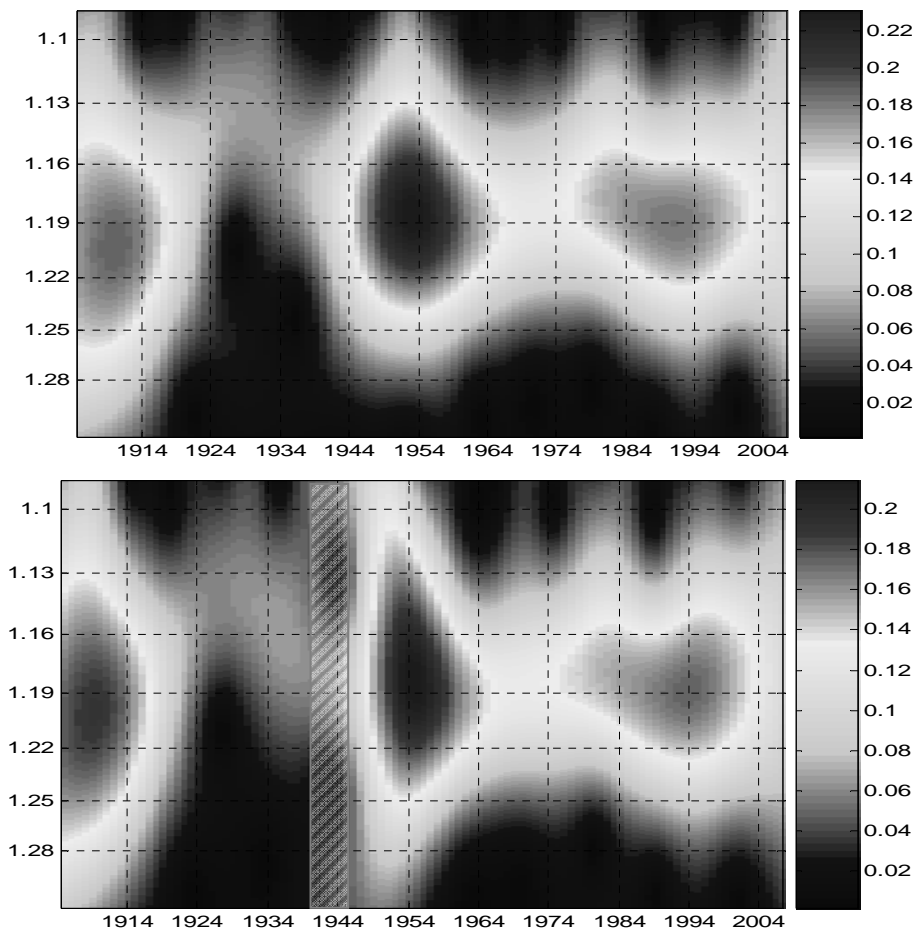


Рис. 1.

данных [10]. Сопоставление этих рядов с помощью Вейвлет анализа приводится на рис. 1. Из рисунка видно хорошее согласие этих двух рядов, за исключением области пропущенных наблюдений на ЗТФ-135. Эта область заштрихована. ССА позволяет реставрировать чандлеровский и годовой компонент в этом интервале [10]. В результате был сделан вывод, что годовой и чандлеровский компоненты движения полюса можно исследовать, используя наблюдения широты одной обсерватории, даже если в наблюдениях имеются разрывы. На основе анализа разными методами ранних Пулковских наблюдений (1840-1855) и ряда IERS C01 (1846-1858) ряд изменений широты был продлен в прошлое вплоть до 1840 гг. [11].

2. Результаты исследования

В данной работе исследовались ряды координат полюса X_p , Y_p , составленные из рядов IERS C01 1846-2008.5 гг. и C04 2008.5–2009.4 и объединенный ряд широты Пулкова за 1840-2009 гг. с шагом 0.1 года. Объединенный ряд широты Пулкова состоит из изменений широты Пулкова, полученных из наблюдений на пассажном инструменте в первом вертикале за 1840.3–1843 гг., на большом вертикальном круге Эртеля за 1842.4–1846.5 и из изменений широты Пулкова $\Delta\varphi$, вычисленных по формуле (1) из ряда IERS 1846-2009.4.

$$\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0 = X_p \cos \lambda + Y_p \sin \lambda = 0.863 X_p - 0.505 Y_p \quad (1)$$

где X_p , Y_p – координаты полюса, λ – долгота Пулкова.

Для выделения ЧДП из рядов X_p , Y_p координат полюса использовалась многомерная реализация метода ССА, а в случае исследования ряда $\Delta\varphi$ изменений широты Пулкова – одномерная (рис. 2).

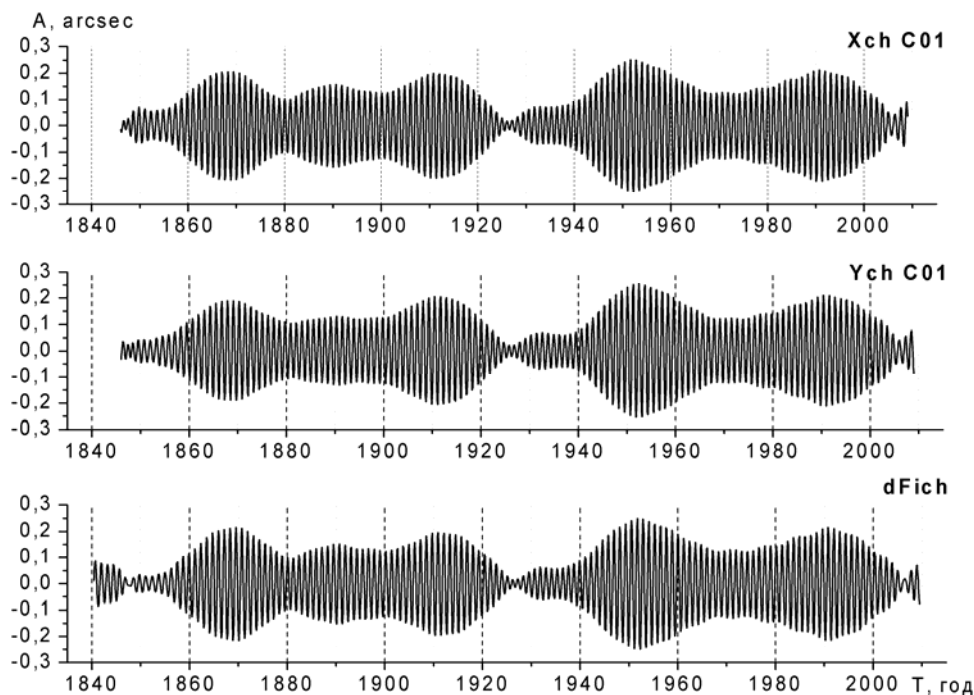


Рис. 2.

В обоих случаях длина окна была максимально возможной и равнялась половине длины ряда. На частоте чандлеровского колебания, аналогично Фурье анализу, было получено шесть компонент, вклад которых составляет около 90%.

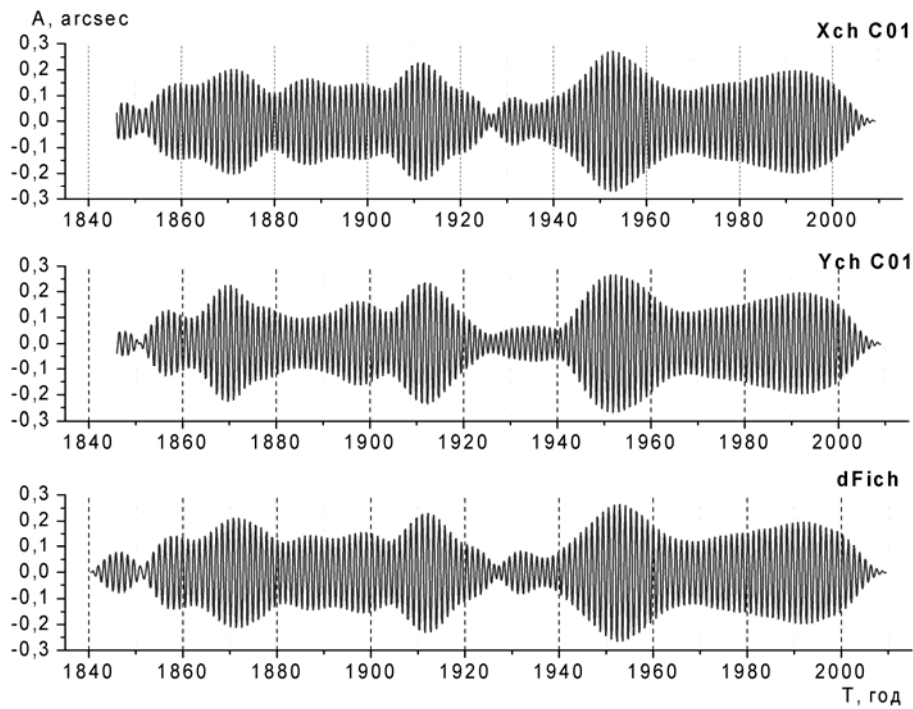


Рис. 3.

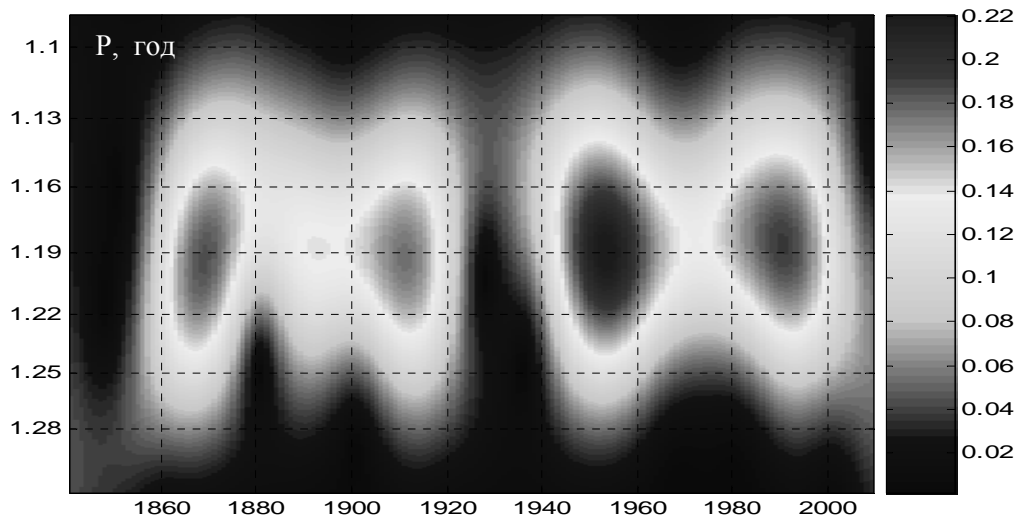


Рис. 4.

Аналогичные, результаты получаются при использовании различных методов полосовой фильтрации. Результаты и сопоставление методов приводятся в работе [9].

На рис. 3 представлена чандлеровская составляющая, полученная с использованием эллиптического частотного полосового фильтра пятого порядка Золотарева-Кауэра с полосой пропускания 0.76-0.88 1/г. (1.14-1.32 года). На рис. 4. приводится результат Вейвлет анализа. Во всех случаях в ЧДП имеется две похожие структуры на интервале 1840-1930 и 1930-2008 гг. и три области сильного уменьшения амплитуды. Уменьшение амплитуды сопровождается одновременной сменой фазы почти на 180° (рис. 5). Первая область находится в самом начале ряда между 1846 и 1856 гг. Это согласуется с результатами исследований, выполненными ранее другими авторами. Обзор этих результатов приведен в [11].

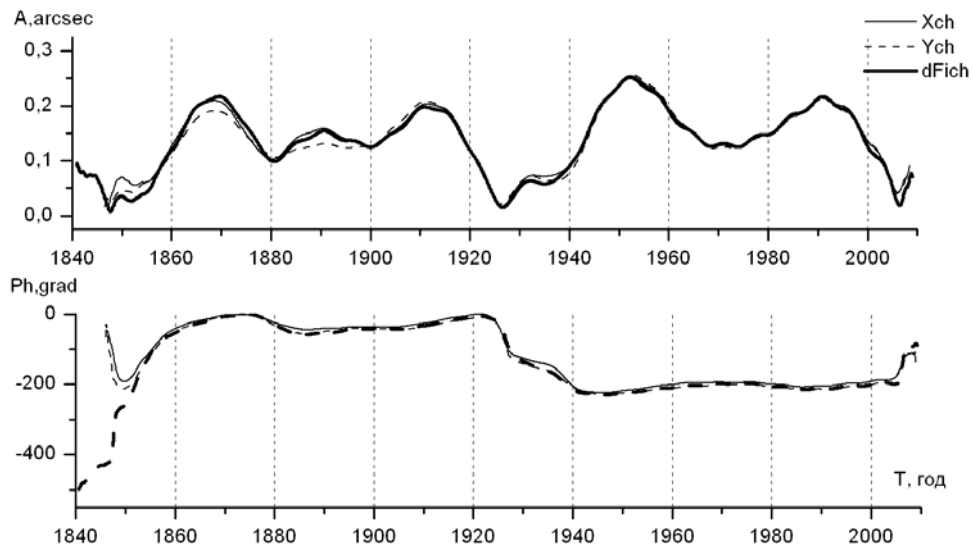


Рис. 5.

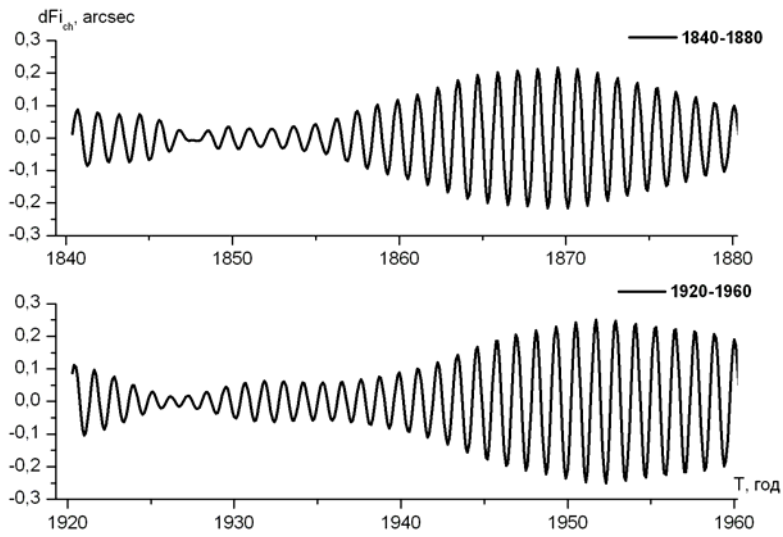


Рис. 6.

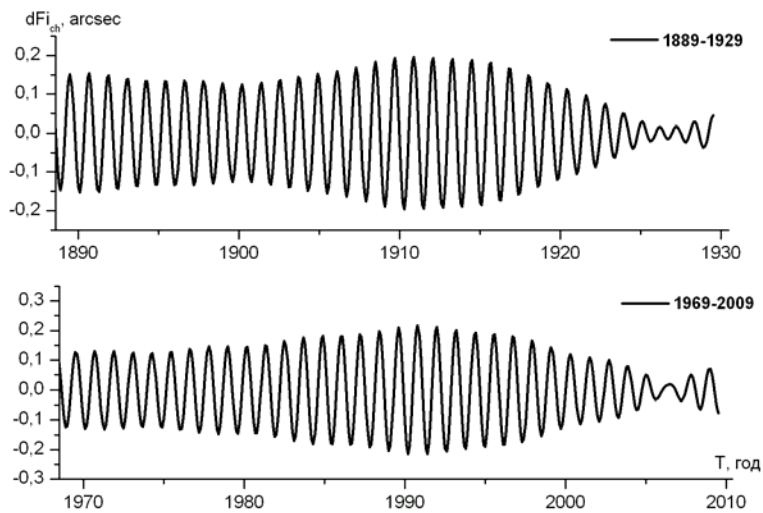


Рис. 7.

Второй хорошо известный минимум находится около 1929 г. [2, 3, 4]. В самом конце ряда около 2005 г. также наблюдается уменьшение амплитуды ЧДП. Некоторые особенности поведения движения полюса около 2005 г. отмечается в работе [12]. На рис. 6-7 сопоставляются две схожие области особенного поведения чандлеровской компоненты, полученной ССА из 170-летнего ряда изменений широты Пулкова. Методом наложения эпох и из динамического сопоставления спектров был получено значение периода повторения особенного поведения ЧДП, равное 80 годам. При этом значении периода получают наилучшие корреляции ($r = 0.8$), как спектров, так и самих компонент.

Литература

1. *Chandler S.C.* On the variation of latitude. *Astron. J.* 1891. 248. P.59-61.
2. *Moritz H., Mueller I.* Earth rotation. New York. NY 10017. 1987. P.617.
3. *Сидоренков Н.С.* Атмосферные процессы и вращение Земли. СПб. Гидрометеиздат. 2002. С.200.
4. *Guo J.Y., Greiner-Mai H., Ballani L., Jochmann H., Shum C.K.* On the double-peak spectrum of the Chandler wobble. *J. Geodesy.* 2005. 78. № 11-12. P. 654-659.
5. *Данилов Д.Л., Жиглявский А.А.,* 1997. Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница». СПбГУ. 1997. С. 308.
6. *В.Л. Горшков, Н.О. Миллер, Н.Р. Персиянинова, Е.Я. Прудникова.* Исследование геодинимических рядов методом главных компонент. *Изв. ГАО №214.* 2000. С.173-180.
7. *М.В. Воротков, В.Л. Горшков, Н.О. Миллер, Е.Я. Прудникова.* Исследование основных составляющих в движении полюса земли. *Изв. ГАО №216.* 2002. С.406-415
8. *Vityazev V.V.* Irregular variations in earth rotation: the singular spectrum analysis and wavelets. *Motion of Celestial bodies, Astrometry and Astronomical Reference Frames, Proc. of the JOURNEES 2000, Paris, 2000,* p. 287-291
9. *Malkin Z., Miller N.* Chandler wobble: two more large phase jumps revealed. arXiv: 0908.3732, 2009.
10. *Миллер Н.О., Прудникова Е.Я.,* 2009. «Сопоставление изменений широты Пулкова с международными наблюдениями за 1904-2006 годы», *Изв. ГАО РАН, №219.*
11. *Миллер Н.О., Прудникова Е.Я.* Ранние Пулковские наблюдения широты. Настоящий сборник трудов.
12. *S.B. Lambert, C. Bizouard, V. Dehant* Rapid variations in polar motion during the 2005–2006 winter season. *Geophysical Research Letters,* Vol. 33, 2006.

INVESTIGATION OF THE CHANDLER WOBBLE

Miller N.O.

Main (Pulkovo) Astronomical Observatory of RAS

In the paper Chandler wobble (CW), which was extracted from the latitude variation for 170 years (1840-2009) using singular spectrum analysis (SSA), was studied. The latitude variation at Pulkovo calculated from observations ZTF-135 and from IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) Polar coordinates were compared with the help of different methods. Also the conclusion has been made that long-period regularity can be investigated from latitude variation of single observatory, even if in observation there are gaps. To prolong the latitude variation series in existence back to 1840 year, the first latitude observations at Pulkovo were used. These observations were made with the Repsold transit instrument in the first vertical and the Ertel vertical circle 1840-1855. This investigation has shown that there are three intervals of change in the CW amplitude and corresponding jumps in the CW phase. Their presence can indicate the existence of about 80-year period in decreasing of the CW amplitude with associated sudden change in the CW phase.

РАННИЕ ПУЛКОВСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ШИРОТЫ

Миллер Н.О., Прудникова Е.Я.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

1. Введение

При исследовании чандлеровского движения полюса (ЧДП) были обнаружены три области резкого изменения амплитуды, сопровождаемые изменением фазы почти на 180° [1]. Такая особенность поведения ЧДП в середине интервала наблюдений, около 1930 г., хорошо известна. Другие две области находятся на концах ряда, и поэтому возникает потребность продления ряда назад, насколько это возможно.

Пулковские астрометрические наблюдения начались с 40-х годов XIX в. на большом вертикальном круге Эртеля (БВК) и пассажном инструменте Репсоляда, установленном в первом вертикале (ПИПВ). Оба инструмента были изготовлены специально для Пулкова и установлены в год открытия обсерватории (1839). Они предназначались для абсолютных определений координат звёзд. При определении рядов абсолютных склонений звезд образуются и ряды определения широты, которые могут использоваться для изучения движения полюсов.

Целью данной работы является исследование изменений широты Пулкова на интервале 1840-1856 года и сопоставление их с изменениями широты, полученными из ряда C01 IERS (<http://hpiers.obspm.fr/iers/eop>).

2. Наблюдения на пассажном инструменте Репсоляда, установленном в первом вертикале

Большой пассажный инструмент Репсоляда в Пулкове был специально установлен в первом вертикале для определения постоянных абберации и нутации. Все наблюдения на интервале 1840-1855 были выполнены В.Я. Струве. Им же была предложена и разработана методика наблюдений и их обработки. Метод наблюдения (метод Струве) [2] заключался в том, что в процессе наблюдений фиксировались моменты прохождения одной и той же звезды через нити в восточной и западной части первого вертикала.

На рис. 1 показан ряд изменения широты Пулкова, построенный на основе широты, вычисленной Б. Ванахом [3] из наблюдений В.Я. Струве по двум сериям наблюдений. Обе серии сильно отличаются между собой по плотности. В первой серии имеется в среднем около трех наблюдений в месяц, а во второй серии - два-три наблюдения в год. В первую серию (1840-1843) вошло около 300 наблюдений семи звезд, распределенных по всем часам прямого восхождения. Эти наблюдения были использованы В.Я. Струве для определения постоянной абберации. Начиная с 1843 года, наблюдались только три звезды, и за 12 лет было выполнено 169 наблюдений. Эта серия наблюдений (1843-1862 гг.) была использована М.О. Нюреном для определения постоянной нутации [4].

3. Наблюдения на большом вертикальном круге Эртеля

Большой вертикальный круг Эртеля (БВК) был предложен В.Я. Струве для рефракционных исследований, составления фундаментального каталога склонений, наблюдений зенитных расстояний Солнца во всех точках его орбиты с целью определения положения эклиптики. Наблюдения на этом инструменте при двух положениях круга дают возможность получить непосредственно зенитное расстояние близполюсных звезд в верхней и нижней кульминациях. Первым наблюдателем на этом инструменте был Х.И. Петерс. В 1895 г. А.А. Иванов переработал наблюдения Петерса спосо-

бом, который подробно описан в [5]. При анализе наблюдений 1842-1849 гг. Иванов отобрал все общие звезды из первого (1845) и второго (1865) Пулковских абсолютных каталогов. Затем склонения этих звезд из каталога 1865 г. он привел к эпохе 1845 г. и использовал эти значения для своих вычислений как истинные. Для Полярной звезды и для семи звезд, наблюдавшихся с целью определения их параллакса, за истинные склонения были приняты склонения каталога 1845 г. Кроме того, в ряд изменения широты не были включены звезды зенитные: с очень большим собственным движением и зенитное расстояние которых больше 76° .

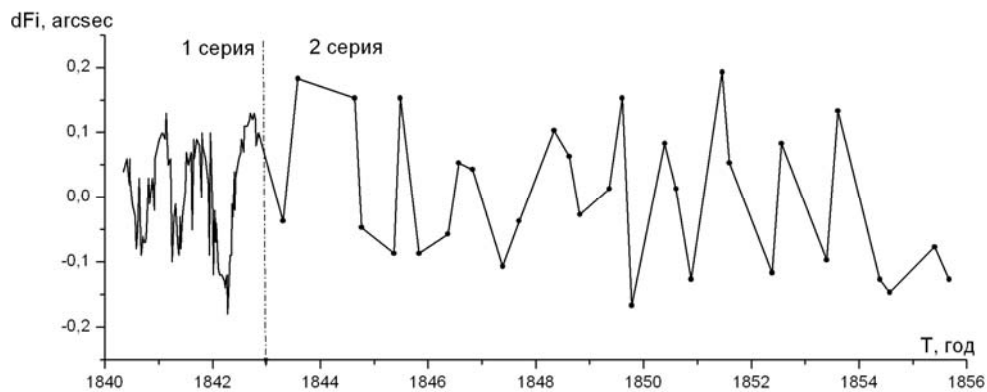


Рис. 1. Изменение широты Пулкова, построенной на основе широты, вычисленной Б. Ванахом [3] по двум сериям наблюдений В.Я. Струве.

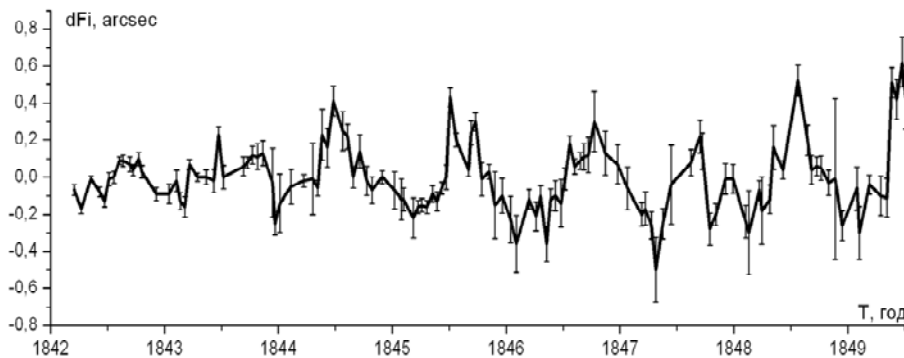


Рис. 2. Изменение широты Пулкова, вычисленной А.А. Ивановым [5] из 3119 наблюдений Х.И. Петерса для 1842-1849 гг.

4. Краткая хронология истории исследования изменчивости широты на интервале 1840-1868 гг. различными авторами

1844 г. Х.И. Петерс [6] по своим наблюдениям зенитных расстояний Полярной звезды на БВК (1842-1843) вычислил широту и *обнаружил её изменение*.

1873 г. М.О. Нюрн [7] исследовал изменение широты Пулкова. Петерс и Нюрн в своих исследованиях не заметили изменения широты с периодом, большим одного года, так как они априорно предполагали наличие периода Эйлера ($P = 305$ с.), и использовали это значение при своих вычислениях. Только при анализе всех наблюдений, выполненных для создания каталога 1885 г. на БВК, Нюрн получает $P \sim 430$ с.

1891 г. С. Чандлер [8] *впервые объявил о существовании периода в наблюдениях широты около 428 с.*

1892 г. Б. Ванах [3] исследовал наблюдения, выполненные на ПИПВ (1840-1880). Наблюдения за 1879-1882 показали *увеличение амплитуды периодических изменений широты по сравнению с предшествующими наблюдениями Струве.*

1895 г. А.А. Иванов [5] обработал наблюдения, выполненных на БВК. Результат оценки периода изменения широты в 1863-1871гг. - $P = 433$ с., а в 1842-1849 гг. - $P = 358$ с. Чандлер также получил, что на интервале 1842-1849 гг. исследуемый период почти равен годовому.

1901 г. С. Чандлер [9] предположил наличие двух гармоник $P_1=428.5$, $P_2 = 436$ с. Учитывая значения периодов, Чандлер [10] предложил модель, в которой новое уменьшение амплитуды этого колебания должно было произойти около 1910 г.

1917 г. Х. Кимура [11] исследовал полярное колебание с 1828-1922 гг. и вычислил вариации периода и амплитуды чандлеровского колебания. Для своего анализа он использовал наблюдения Гринвичской и Пулковской обсерваторий. Его результаты показали в 1840 г. существенное уменьшение амплитуды, подтверждая результаты Чандлера, Ванаха, Иванова.

1937 г. А.Я. Орлов [12] проанализировал ряды изменения широты, полученные А.А. Ивановым, Б. Ванахом и И.В. Бонсдорфом из наблюдений Х.И. Петерса на БВК и получил для чандлеровской волны на эпоху 1845.0 следующие выражения:

$$\varphi_C = 0''.08 \cos(\mu t + 143^\circ) - \text{для наблюдений Петерса на БВК в 1842-1849 гг.,}$$

$$\varphi_C = 0''.08 \cos(\mu t + 147^\circ) - \text{для наблюдений Струве на ПИПВ в 1840-1842 гг.,}$$

где $\mu = 2\pi/P$, $P = 1.184$ г. (1)

А.Я. Орлов отметил, что амплитуда чандлеровского колебания все время меняется, и для 1842-1849 гг. она в три раза меньше, чем для 1908-1912 гг. Начальная фаза в 1868г. почти на 40° отличается от ее значений в 1846, 1887 и 1910 гг. Эти различия не могут быть объяснены ошибками наблюдений. Таким образом, А.Я.Орлов делает вывод, «что между 1847- 1868 гг. движение полюса как бы замедлилось, а потом вновь приобрело свою скорость».

1975 г. Н. Секигучи [13] в результате исследования вариаций амплитуды и частоты чандлеровского колебания на интервале 1840-1860 гг., выведенных из наблюдений Гринвичской и Пулковской обсерваторий, нашел, что $P = 423.3$ с., $\min(A) = 0''.072$ около 1845 г. Исходя из этого, он делает вывод о сходстве этой особенности с той, что имеет место около 1930 г.

Таким образом, из анализа всех полученных результатов разными авторами, можно сделать вывод, что на интервале 1840-1855 гг. наблюдается уменьшение амплитуды до $\sim 0''.08$. Кроме того, имеется указание на изменение фазы ЧДП на интервале 1847-1868 гг.

5. Данные и их анализ

Для анализа изменения широты использовались три ряда, представленные на рис. 3-5.

В третий ряд вошли наблюдения [14]:

- 1) Гринвича на двух стенных кругах, обработанные Чандлером.
- 2) Пулкова на большом вертикальном круге Эртеля, обработанные А.Я.Орловым.
- 3) Вашингтона на стенном круге.

Изменение широты для третьего ряда вычислялось по формуле Костинского

$$\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0 = X_p \cos \lambda + Y_p \sin \lambda$$

где X_p , Y_p координаты полюса, λ - долгота Пулкова.

6. Методы исследования

Выделение чандлеровского и годового колебания было выполнено с использованием следующих двух методов:

1) Метода фильтрации (Filter) с заданной амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) с полосой пропускания $0.77-1.05$ год⁻¹. Фильтрация была выполнена с использо-

ванием частотного полосового эллиптического фильтра Золотарева-Кауэра пятого порядка (функция `ellip` Matlab Signal Processing Toolbox).

2) Метода сингулярного спектрального анализа (SSA-“Гусеница”). При использовании SSA все ряды обрабатывались дважды. Вначале с помощью SSA исключались средняя широта и шумовые компоненты, а затем снова выполнялось разложение SSA оставшегося ряда. Длина окна (M) принималась равной половине длины ряда. Восстановление ряда проводилось по первым основным компонентам, частоты которых близки к частотам чандлеровского и годового колебаний.

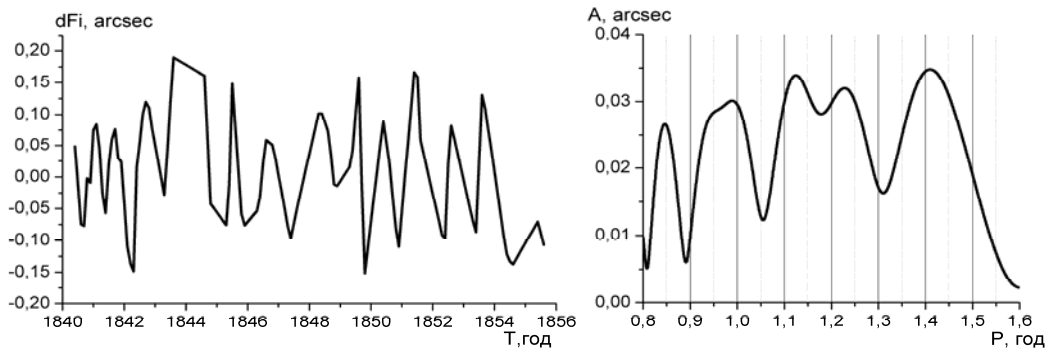


Рис. 3. Ряд 1 (1840-1855), полученный из широты, вычисленной Б. Ванахом [Wanach B, 1892] из наблюдений В.Я. Струве на ПИПВ.

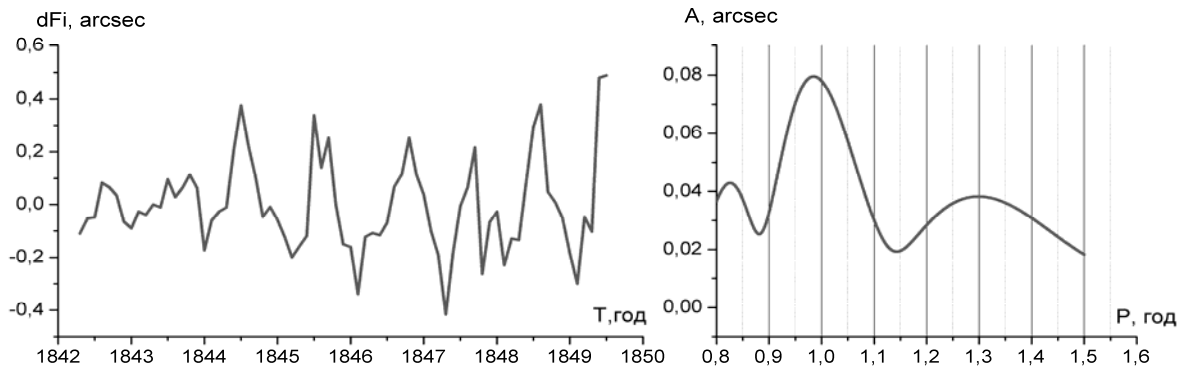


Рис. 4. Ряд 2 (1842-1849), полученный из широты, вычисленной А.А. Ивановым [А.А. Иванов, 1895] из наблюдений Х.И. Петерса на БВК.

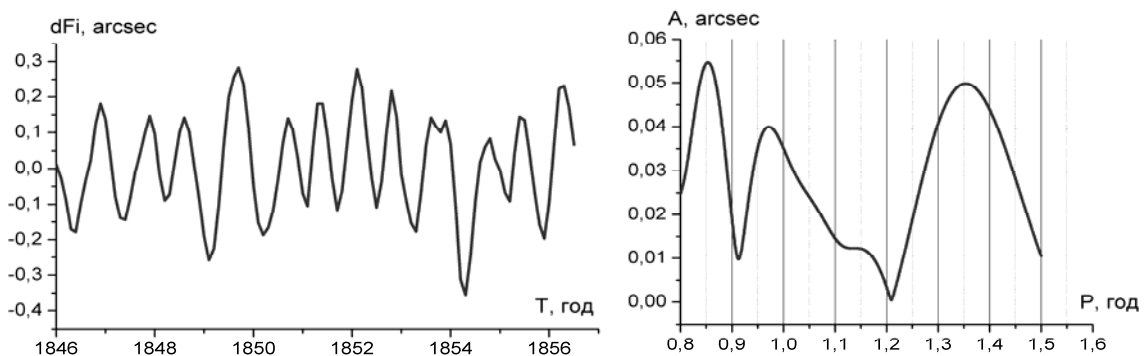


Рис. 5. Ряд 3 (1846-1858) IERS C01, полученный по данным Л.В. Рыхловой.

7. Результаты исследования

На рис. 6 приводится сумма чандлеровской и годовой компоненты, полученная с помощью разных методов фильтрации. Прослеживается хорошее совпадение минимумов и максимумов для рядов, вычисленных из наблюдений на двух разных инструмен-

тах Пулковской обсерватории на интервале 1843-1846. На интервале 1846-1849 кривые, полученные из рядов А.А. Иванова и Л.В. Рыхловой, также согласуются между собой. Для ряда наблюдений на ПИПВ (Б. Ваннах) имеется область около 1848 г., которая характеризуется падением амплитуды. Аналогичное падение амплитуды имеется у ряда С01 при использовании метода фильтрации. Амплитуда колебаний для ряда, полученного из наблюдений на ПИПВ, очень мала. Тем не менее, с 1852 года наблюдается не только почти полное совпадение фазы этого ряда с С01, но и близкое значение амплитуды. На интервале 1849-1852 гг. фазы этих двух рядов не совпадают.

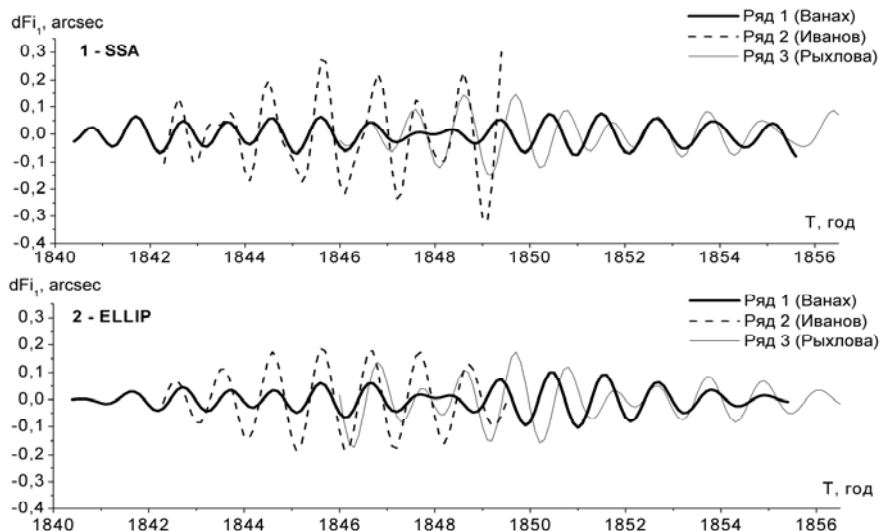


Рис. 6. Сопоставление рядов изменения широты, полученных при помощи двух методов фильтрации.

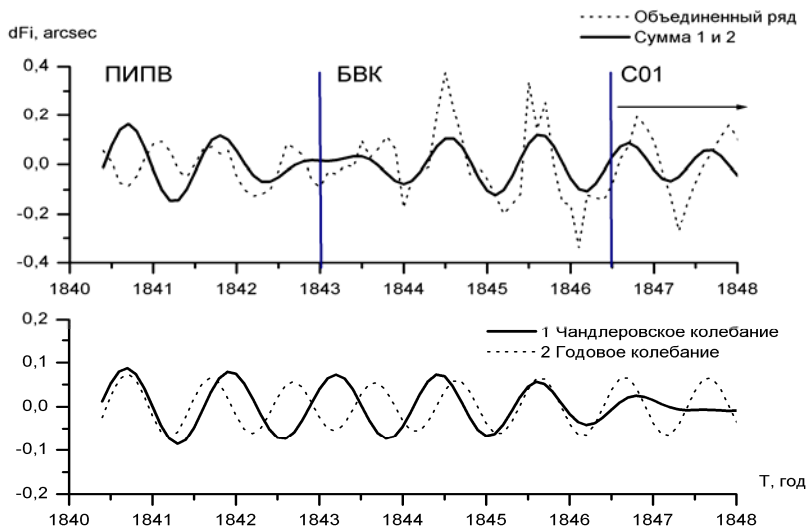


Рис. 7. На верхнем рисунке представлены: объединенный ряд, сумма чандлеровского и годового компонент, на нижнем – чандлеровская (1) и годовая компоненты (2).

В целом надо отметить, что оба метода фильтрации дают близкие результаты, но т.к. результаты, получаемые методом SSA, более близки к результатам, получаемым методом Орлова, то для вычисления годового и чандлеровского колебания широты целесообразно использовать метод SSA.

Объединенный ряд (рис. 7) состоит из изменений широты Пулкова, полученных из наблюдений на ПИПВ за 1840.3-1843 гг. и на БВК за 1842.4-1846.5 гг. Из выражений

(1), выведенных А.Я. Орловым, и анализа, выполненного в данной работе, следует, что эти два ряда хорошо согласуются между собой на интервале 1842.4-1843 гг. Поэтому на этом интервале было выполнено их объединение простым усреднением. После 1846.5 г. на данном рисунке выполнено объединение с данными из ряда C01. Объединенный ряд может быть использован для исследования изменений широты Пулкова за 170 лет (1840.4-2009.4).

8. Заключение

В работе был собран исторический материал, связанный с наблюдениями широты, полученными на двух инструментах Пулковской обсерватории в 1840-1856 гг., их обработкой и исследованиями. Собраны и проанализированы ранние широтные ряды Пулкова. Выполнен краткий обзор исследований разных авторов, в которых указывается на особое поведение ЧДП на интервале 1848-1860 гг. Получен объединенный ряд изменений широты Пулкова за 1840.4-1846.5 гг., который можно использовать для исследования движения полюса с 1840 г. (за 170 лет).

Литература

1. *Миллер Н.О.* «Об изменении амплитуды и фазы Чандлеровского движения полюса», «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка». 2008. №5, с.48-49.
2. *Цветков К.А.* Курс практической астрономии. ОНТИ. М.-Л. 1934, с.436.
3. *Wanach B.* Ableitung der Polhohenschwankungen aus altern Pulkowacher Beobachtungen in ersten Vertical. Astron. Nachr. 130. 1892. P.246.
4. *Васильев А.С.* Семьдесят лет истории Пулковского пассажного инструмента в первом вертикале. Известия РАО. 1912. Т. 17. №8, с. 275-285. №9, с.304-331.
5. *Иванов А.А.* Вращательное движение Земли. С-Петербург. 1895. С.95.
6. *Peters.* Resultate ans Beobachtungen des Polarsterns am Ertelschen Verticalkreise der Pulkowaer Sternwarte. Bulletin de l'Acad. Imp. Des Sciences de St.-Petersbourg, t.II,1844.
7. *Nyren.* Die Polhöhe von Pulkowa. Mémoires L'Acad. Impér. des sciences de St.-Petersb.1873. Ser. VII. T. XIX. No 10.
8. *Chandler S.C.* On the variation of latitude. Astron. J. 1891. №248, p.59-61.
9. *Chandler S.C.* On a new component of the polar motion. Astron. J. 1901. №490, P.79-80,
10. *Chandler S.C.* On a new component of the polar motion. Astron. J. 1901. №494, P.109-112.
11. *Kimura H.* Variations in the Fourteen Months Component of the Polar Motion.1917. V.78. P.163-167.
12. *Орлов А.Я.* Свободная нутация по наблюдениям в Пулкове с 1842 по 1912 г. Избранные труды. Т.1. АН Украинской ССР. Киев.1961, с.95-113.
13. *Sekiguchi N.* On the Latitude Variations of the Interval Between 1830-1860. Journal of the Geodetic Society of Japan. Vol. 21. No. 3. 1975. P. 131-141.
14. *Рыхлова Л.В.* Координаты полюса Земли за 1846.0-1891.5 годы. Сообщ. ГАИШ. 1970. №163. С.3-10.

THE EARLY LATITUDE OBSERVATIONS

Miller N.O., Prudnikova E.Ya.

The latitude observations at Pulkovo came into existence about 1840 year and were made with the Repsold transit instrument in the first vertical and the Ertel vertical circle. W. Struve in 1840-1856 years and H.I. Peters in 1842-1849 were the first observers on these instruments. In this paper to the results of investigations of particular conduct of chandler polar motion during this interval made by S. Chandler, A.A. Ivanov, H. Kimura, A.Ya. Orlov and N. Seciguchi. The purpose of this paper was a search and analysis of the earliest series of Pulkovo latitudes to appreciate the possibility of their using for investigating the polar motion during maximum accessible length of realization. Different methods were used to extract and analyse the sum of chandler and annual latitude variations. The supplement presents the set of the Pulkovo latitude variations for 1840-1848 years which can be used to prolong the latitude variation set in existence back to 1840 year.

ПРОГНОЗ ПАРАМЕТРОВ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ МЕТОДОМ НЕЙРОКОМПЬЮТИНГА

Милюков Д.А., Макаренко Н.Г., Малкин З.М.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

В данной работе рассматривается прогноз ПВЗ (X,Y) посредством ИНС. Для прогноза используется две схемы: векторная и одношаговая. В нашей работе векторная схема использовалась для прогноза на 10, 30, 50, 100, 200, 300, 400 и 600 дней. Одношаговая схема используется для горизонта в 10 дней. Обсуждается эффективность векторной схемы для коротко- и долгосрочных прогнозов. Всего для каждого горизонта осуществлялось 270 прогнозов в точках, отстоящих друг от друга на 10 дней, начиная со 2 февраля 2008 года. Статистика MAE сравнивалась с таблицей с сайта http://www.cbk.waw.pl/EOP_PCC/. Выяснилось, что векторная схема позволяет приблизиться к лучшему прогнозу сайта, а на некоторых отрезках улучшить прогноз, на участке от 50 до 250 дней для координат X, Y полюса. Одношаговая схема позволяет улучшить прогноза на участке от 1 до 7 дней для координат X полюса и на участке от 1 до 3 дней для координат Y полюса. Все работы осуществлялись в программной среде Matlab. По итогам работы создано ПО для получения прогноза в реальном времени.

Введение

Развитие высокоточных методов космической геодезии позволяет получать параметры вращения Земли (ПВЗ) с постоянно возрастающей точностью. С другой стороны, существует практическая потребность в доступности точных ПВЗ в реальном времени и их прогнозе. Эти данные необходимы в таких областях, как службы оперативного определения всемирного времени, наземная морская и космическая навигация и поддержка спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS. Для разных прикладных задач необходим прогноз с различной степенью упреждения (длительностью прогноза), т.е. интервалом времени между эпохой последних значений ПВЗ, полученных из наблюдений и эпохой использования предсказанных значений. Требуемая длительность прогноза ПВЗ варьируется от нескольких часов для оперативного обслуживания спутниковых навигационных систем и дифференциальной навигации до нескольких месяцев для морской и космической навигации. Для обеспечения наблюдательных программ в астрономии и космической геодезии требуется прогноз ПВЗ длительностью до нескольких недель, а для некоторых приложений, таких как издание астрономических и навигационных ежегодников, требуется прогноз длительностью до 1-2 лет. Для ряда теоретических работ интересно знать значения ПВЗ на годы и даже десятилетия [1, 2].

В данной работе проводился прогноз ПВЗ искусственными нейронными сетями (ИНС). Для построения таблицы обучения долгосрочных прогнозов использовалась т.н. векторная схема. Краткосрочный прогноз осуществлялся одношаговым способом. Мы считали, что применение векторной схемы может улучшить качество долгосрочного прогноза ПВЗ ИНС-ми, получить достаточную точность, сравнимую с другими методами, а, возможно, и превзойдя их.

Параметры вращения Земли

Для описания ориентации Земли традиционно используется пять параметров, определяющих положение оси вращения в теле Земли и инерциальной системе координат, а также скорость собственного вращения Земли вокруг оси. Положение оси враще-

ния в инерциальной системе координат, точнее в МНСО¹, задается углами прецессии и нутации.

Скорость вращения Земли вокруг оси определяется разностью шкал времени UT1-UTC, где UT1 – всемирное время и UTC – всемирное координированное время. Наконец, координаты полюса x_p и y_p задают положение мгновенной оси вращения Земли в системе отсчета, связанной с Землей (МЗСО²). Координаты полюса определяются в левосторонней прямоугольной системе, центр которой связан с полюсом, ось X направлена вдоль Гринвичского меридиана, ось Y по направлению меридиана 90° западной долготы.

Данные о ПВЗ публикуются в бюллетенях Международной службы вращения Земли и опорных систем координат (МСВЗ). Оперативные данные, публикуемые в Бюллетене А и вычисляемые в Морской обсерватории США содержат также официальный прогноз ПВЗ МСВЗ. Окончательные значения ПВЗ МСВЗ вычисляются в Парижской обсерватории и публикуются в виде ряда ПВЗ EOPC04, который содержит параметры вращения Земли с 1962 г. по настоящее время шагом в одни сутки. Прогнозирование ПВЗ основывалось на данных ряда. В настоящей работе выполнялся прогноз двух ПВЗ: x_p , y_p .

Нелинейный векторный прогноз

Данная работа посвящена проблеме предсказания ПВЗ методами нелинейной хаотической динамики. В отличие от традиционной авторегрессионной схемы, в которой будущее значение временного ряда представлено линейной комбинацией прошлых значений, в нелинейном подходе прогноз определяется нелинейной непрерывной функцией Φ от m переменных – прошлых значений ряда. Проблема предсказания заключается в построении наилучшего аппроксиматора функции Φ , заданной на конечном наборе значений ряда. В этой статье в качестве такого аппроксиматора используется искусственная нейронная сеть (ИНС) [3].

Использованная в работе процедура построения таблицы для обучения ИНС основывается на известной теореме Такенса [4]. Временной ряд рассматривается здесь как типичная проекция фазовой траектории динамической системы на вещественную ось. Теорема утверждает, что существует отображение этого временного ряда в евклидово пространство R^m подходящей размерности (число переменных функции Φ , в нашем случае число m), которое типично является вложением. Кроме того, получаемый в результате вложения геометрический образ является топологической копией истинного аттрактора динамической системы.

Таким образом для нашего ряда $\{x_k\}_{k=0}^N$ работает следующее уравнение:

$$x_{k+1} = \Phi(x_k, x_{k-1}, \dots, x_{k-m+1}) = \Phi(\overline{x}_k).$$

Задача прогноза имеет следующую форму. Для данного временного ряда и полученной для него реконструкции в R^m известны $(N - m + 1)$ векторов $\overline{x}_k = (x_k, x_{k-1}, \dots, x_{k-m+1}) \in R^m$, компонентами которых являются отсчеты временного ряда. Таким образом, у нас есть $(N - m + 1)$ строк в таблице обучения нашей ИНС.

¹ Международная небесная система отсчета. Невращающаяся инерциальная система с началом в барицентре Солнечной системы.

² Международная земная система отсчета. Вращающаяся с Землей система отсчета, определяющаяся положением геоцентра всей Земли вместе с океаном и атмосферой, шкалой, зависящей от потенциала тяжести, и ориентации осей.

В ряде случаев необходимо использовать лаг $\tau > 1$ (расстояние между компонентами вектора $\vec{x}_k = (x_{k-\tau}, x_{k-2\tau}, \dots, x_{k-(m+1)\tau}) \in R^m$). В этом случае число известных векторов составляет, очевидно, $(N - (m + 1)\tau)$. Такая схема построения таблицы обучения называется *векторной*.

Рассмотрим простой пример. Пусть для прогноза нашего ряда мы определим $m = 4, N = 10, \tau = 2$. Т.е. ряд состоит из 10 отсчетов, реконструкция строится в R^4 .

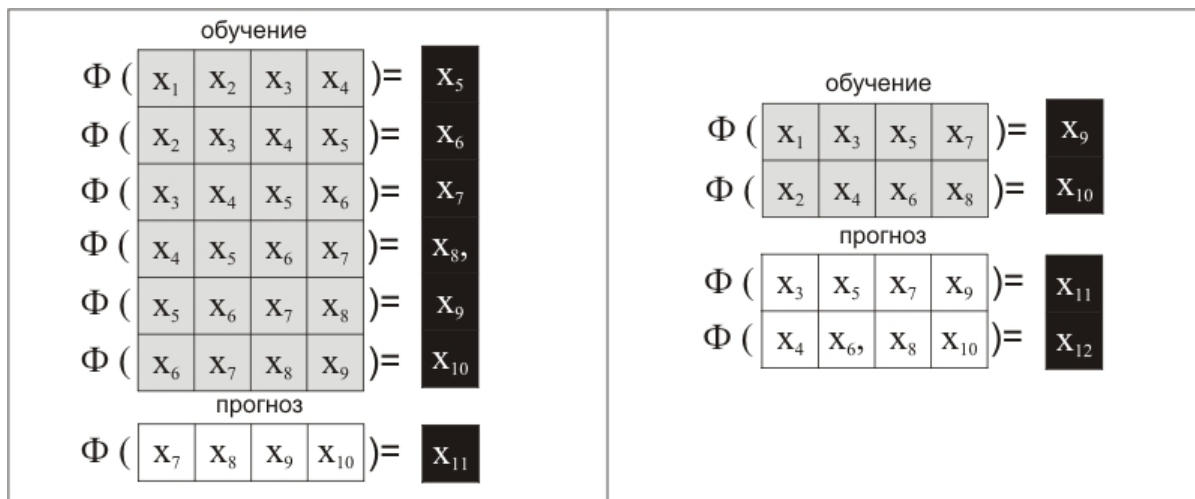


Рис. 1.

На Рис. 1 показаны две схемы построения таблицы обучения. Слева расположен - классический (одношаговый): все компоненты вектора отстоят друг от друга на единицу. Справа расположен векторный: компоненты векторов отстоят друг от друга на лаг $\tau = 2$. Видно, что в случае последнего мы можем предсказывать сразу τ значений ряда при достаточно состоятельной обучающей выборке. При этом мы избавляемся от роста ошибок, характерных для одношаговых схем, когда для каждого последующего прогноза добавляются спрогнозированное на предыдущем шаге значение отсчета.

ИНС

Для прогнозирования ПВЗ была использована трехслойная ИНС: 10-5-1. Параметры нейронов (весовые коэффициенты и поляризация) настраивались в процессе обучения (40 циклов) по принципу обратного распространения ошибки методом Левенберга-Марквардта. Для построения таблиц обучения использовалась размерность вложения $m=10$, временной лаг τ выбирался равным горизонту предсказания. Для каждого прогноза обучение запускалось 10 раз. Для получения окончательного прогноза проводили усреднение.

Ход работы

Чтобы оценить качество прогнозов, выполненных на нашей нейронной сети, делалось следующее. Начиная со 2 февраля 2008 года через каждые 10 дней (в прошлое) для x_p, y_p получали прогноз по двум схемам. Векторный на 10, 30, 50, 100, 150, 200, 400, 600 дней. Одношаговый на 10 дней. Всего таких прогнозов считалось 90.

Все, что написано в предыдущем абзаце, повторяли для даты 2 февраля 2005 года и 2 февраля 2002 года. Таким образом в сумме оказывалось 270 прогнозов для x_p и для y_p , охватывающие около 9 лет.

Для анализа точности прогноза оценивалась среднее отклонение:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}_i|$$

Результаты

В 2005 году была создана Кампания по сравнению прогнозов ПВЗ (КСП ПВЗ). Основная идея данного форума заключалась в сравнении качества прогнозов различных методов, техник и стратегий (в том числе с использованием ИНС), применяемых для прогноза ПВЗ. Актуальную сравнительную информацию по качеству прогнозов можно найти на интернет-сайте. Именно со сводной таблицей КСП ПВЗ мы сравнивали наши результаты. Из сводных данных видно, что качество прогноза ИНС оставляет желать лучшего. Какие же результаты были получены нами?

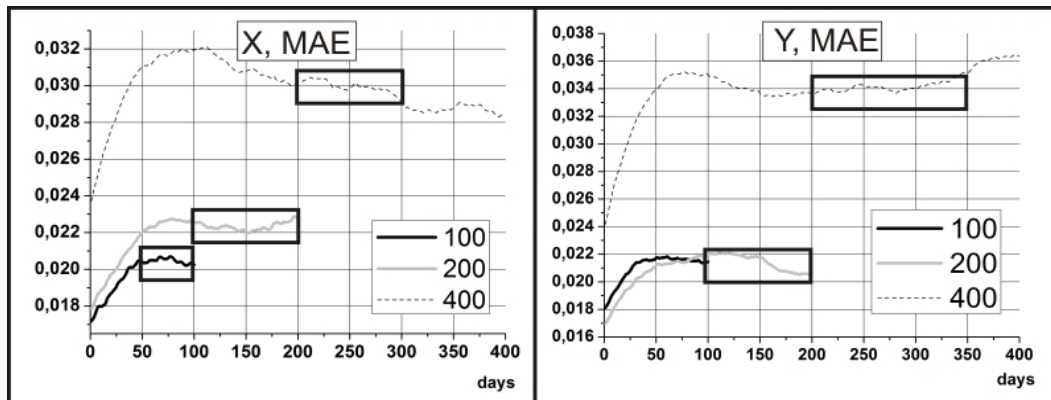


Рис. 2.

На Рис. 2 показано среднее отклонение для прогнозов координат x_p, y_p , выполненные по векторной схеме. Статистика показана для прогнозов на 100, 200 и 400 дней. Именно эти прогнозы демонстрировали лучшие результаты на некоторых отрезках.

На левом рисунке отмечены три области прямоугольником. Если эти области сравнить со сводной таблицей с сайта КСП ПВЗ, то можно увидеть следующее. Среднее отклонение от 50 до 100 дней соответствует такой для лучшего прогноза с указанного сайта. Среднее отклонение на участке от 100 до 200 дней явно лучше всех прогнозов. На участке от 200 до 300 дней статистика также соответствует лучшему прогнозу с указанного сайта.

На правом рисунке. Участок от 100 до 200 дней явно лучше. Участок от 200 до 350 дней соответствует или становится лучше, чем указано на сайте.

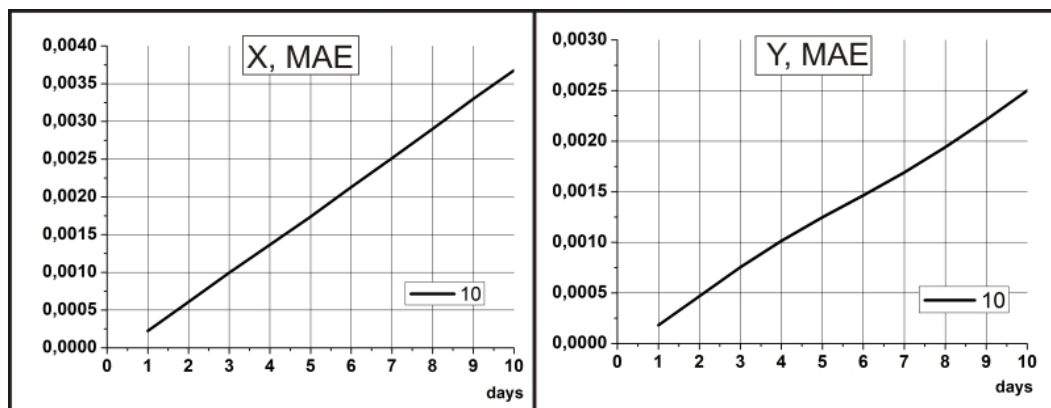


Рис. 3.

На Рис. 3 показано среднее отклонение для прогнозов координат x_p , y_p , выполненные по одношаговой схеме. Данные прогнозы делались только на 10 дней. Опять же, если сравнить данную статистику со сводной таблицей, то будет видно следующее. Для координаты x_p статистика лучше на участке от 1 до 7 дней. Для координаты y_p статистика лучше на участке от 1 до 3 дней. Прогноз на следующую дату в обоих случаях оказывается лучше в два раза, чем представлены на сайте.

Вывод

Мы показали, что использованная нами нейронная сеть позволяет делать долгосрочные прогнозы ПВЗ достаточной точности, а иногда превосходя по точности другие методики. Использование векторной схемы существенно улучшает качество прогноза нейронными сетями, что говорит об оправданности ее использования.

Также мы показали, что краткосрочный прогноз, выполненный посредством ИНС «классическим» (одношаговым) способом, оказывается существенно лучше тех, с которыми мы проводили сравнение.

Все это говорит о хорошей применимости данных методов прогнозов для практических задач.

Литература

1. *Зотов Л.В.* Анализ вариаций и их прогнозирования, кандидатская диссертация, М.: МГУ 2005.
2. *Dennis D. McCarthy and Brian J. Luzum.* Prediction of Earth orientation. Bulletin Gtodique 1991 Vol. 65 P. 18-21.
3. *Ежов А.А., Шумский С.А.* Нейрокомпьютинг и его приложения в экономике и бизнесе. М.: МИФИ 1998.
4. *Такенс Ф.* Хаос. Структуры в динамике. Конечномерные детерминированные системы. Москва-Ижевск. 2003

EARTH ORIENTAITION PARAMETERS FORECAST USING NEUROCOMPUTING

Milkov D.A., Makarenko N.G., Malkin Z.M.

The Main Astronomic Observatory RAS, Saint-Petersburg

The purpose of the work is forecast of EOP (X,Y) by ANN. We used the two scheme of prediction: vector and one-step. Vector scheme makes it possible to obviate the error growth with increase the time horizon. In our work we used the vector scheme for 10, 30, 50, 100, 200, 300, 400 and 600 days forecast. The one-step scheme was used for 10 days forecast. It was discussed the quality of vector scheme for short- and medium-terms prediction. For every time horizons we predict in 270 points of time-series. This points is 10 days distant from each other. The first point is 2nd February 2008. Our MAE statistic was compared with tables at http://www.cbk.waw.pl/EOP_PCC/. We find out that our 50-250 days vector scheme forecast is close to better forecast from with site and better in some segment for X, Y coordinates. Also our 1-7 days one-step scheme forecast for X and 1-3 days one-step scheme forecast for Y coordinates are better. All programs developed in MatLab. The result of the work is software for real-time forecast generation.

ХАРАКТЕРИСТИКИ АССОЦИАЦИЙ АСТЕРОИДОВ, СБЛИЖАЮЩИХСЯ С ЗЕМЛЕЙ

Нароенков С.А.

Институт астрономии РАН

Знание о населенности околоземного пространства небесными телами очень актуально в наши дни. Причины этого – освоение космического пространства с практическими целями, наличие огромного объема новых знаний, появившихся в последние два десятилетия. Огромные объемы информации, накопленные и получаемые при наблюдениях объектов, сближающихся с орбитой Земли, требуют хранения и оперативной обработки, предоставляя все больше возможностей для исследования распределений малых тел Солнечной системы. Поиск семейств среди астероидов, метеороидов и комет, сближающихся с Землей, является актуальной задачей. Астероиды в процессе эволюции могут сталкиваться, разрушаться, образуя группы осколков – тогда появляется семейство астероидов, имеющее одно родительское тело. На сегодняшний день нет достаточно ясной картины о происхождении и путях пополнения семейств околоземных астероидов. Поэтому необходимо разработать и применять критерии выделения малых тел, входящих в комплексы и семейства, схожими не только по орбитальными признаками, но и общностью происхождения. Астероиды, сближающиеся с планетами Земной группы, можно рассматривать как постоянный источник астероидной опасности. Орбиты таких тел могут сместиться под влиянием соседних планет на интервале времени около ста лет, результатом чего может быть их столкновение с Землей. Имея в наличии средние параметры орбиты для семейства, мы сможем сравнить эти параметры орбиты с параметрами орбит метеороидов, упавших на Землю, для того чтобы определить наиболее опасные семейства.

Первоначальной работой, в которой был описан критерий схожести орбит 2-х тел, была работа [1]. В этой работе использовался данный критерий для поиска потоков (ассоциаций) среди метеороидов. В работе [2] впервые был применен этот критерий для поиска ассоциаций среди астероидов, сближающихся с Землей. Для поиска ассоциаций астероидов, использовались методы кластерного анализа. Необходимыми компонентами кластерного анализа являются:

1. Функция расстояния между орбитами 2-х телами.
2. Правило для вычисления границы D_c – граничного значения, в сравнении с которым делается предположение о близости орбит 2-х тел.
3. Алгоритм для поиска ассоциаций среди множества тел.

Функция расстояния

Для выделения семейств астероидов был использован критерий геометрической близости орбит, первоначально разработанный для выделения метеороидных потоков среди радио метеороидов, известный как D-критерий. На данный момент существует несколько модификаций D-критерия для определения схожести орбит [2,3]. Приведем в качестве примера критерий разработанный Драммондом [4]. Этот критерий позволяет вычислить расстояние между двумя орбитами в 5-ти мерном пространстве.

$$D(M, N) = \left(\frac{e_M - e_N}{e_M + e_N}\right)^2 + \left(\frac{q_M - q_N}{q_M + q_N}\right)^2 + \left(\frac{I_{MN}}{180^\circ}\right)^2 + \left(\frac{e_M + e_N}{2}\right)^2 \cdot \left(\frac{\Theta_{MN}}{180^\circ}\right)^2, \quad (1)$$

где

$$\Theta_{MN} = \arccos[\sin \beta_M \sin \beta_N + \cos \beta_M \cos \beta_N \cos(\lambda_M - \lambda_N)],$$

$$\lambda = \Omega + \arcsin(\cos i \tan \omega)$$

$$\beta = \arcsin(\sin i \sin \omega)$$

$$\left[2 \sin \frac{I_{MN}}{2}\right]^2 = \left[2 \sin \frac{i_M - i_N}{2}\right]^2 + \sin i_M \sin i_N \left[2 \sin \frac{\Omega_M - \Omega_N}{2}\right]^2$$

где q, e, ω, i, Ω являются параметрами орбиты двух астероидов.

Алгоритм поиска

Введем определение для поиска ассоциаций среди малых тел:

Пусть $Ok = \{q, e, w, i, \text{Node}\}k$, $k = 1 \dots N$, набор из N орбит малых тел, среди которых будем искать ассоциации. Пусть Om – изначальная орбита, для которой ведется поиск ассоциаций. Пусть D_{km} – расстояние между орбитами Ok и Om . Тогда ассоциацией будем считать подмножество орбит, для которых $D_{km} < D_c$.

Определим начальное значение $D_c = 0.13$. На первом шаге возьмем объект Ok ($k = 1$) из выборки N астероидов. Обозначим его как изначальный объект Om . Рассчитаем расстояние D_{km} между орбитами для всех пар астероидов Om и Ok ($k = 2 \dots N$). Обозначим через множество S все астероиды, для которых выполняется условие $D_{km} < D_c$. Количество астероидов, для которых выполняется это условие, обозначим как M . Для этого множества S рассчитаем параметры средней орбиты по формуле

$$X = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i, \text{ где величина } x_i \text{ соответствует элементам орбиты астероида } q, e, \omega, i, \Omega.$$

На втором шаге обозначим символом Om среднюю орбиту подмножества S и снова рассчитаем расстояние D_{km} между орбитами для всех пар астероидов Om и Ok ($k = 1 \dots N$). Переобозначим через множество S все астероиды, для которых выполняется условие $D_{km} < D_c$. Количество астероидов, для которых выполняется это условие, обозначим как M . Для этого множества S снова рассчитаем параметры средней орбиты по

формуле $X = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i$, где величина x_i соответствует элементам орбиты астероида

q, e, ω, i, Ω . Будем повторять шаг 2 до тех пор, пока центр подмножества S не сойдется в одну точку, т.е. от шага к шагу не перестанут изменяться параметры средней орбиты X . В итоге у нас получится подмножество объектов с близкими элементами орбит, которое группируется вокруг одного центра. На последнем шаге необходимо будет определить точные границы ассоциации астероидов. Для этого построим гистограмму всех D_{km} , полученных на последнем шаге. Наша исходная ассоциация должна быть четко различима на гистограмме, как множество объектов со схожим параметром D_{km} и отличаться от всего прочего набора объектов. Такая ассоциация в дальнейшем удаляется из поиска. Также удаляются из поиска объекты, для которых не были обнаружены пары с условием $D_{km} < D_c$.

Примеры выделения семейств

Рассмотрим на примере одного из астероидов поиск ассоциации астероидов. Исходным объектом для поиска будет астероид 1221/Амог. Проведя вычисление для всех астероидов, и ограничив величину $D_c = 0.13$, получим некоторое количество астероидов, для которых посчитаем среднюю орбиту. Она будет уже отличаться от исходной орбиты астероида 1221/Амог. Проведя несколько таких итераций (а в случае астероида Амог количество таких итераций равно – 5) получим среднюю орбиту. Рассчитаем расстояние D_{km} между средней орбитой и всеми астероидами и построим гистограмму для этих значений.

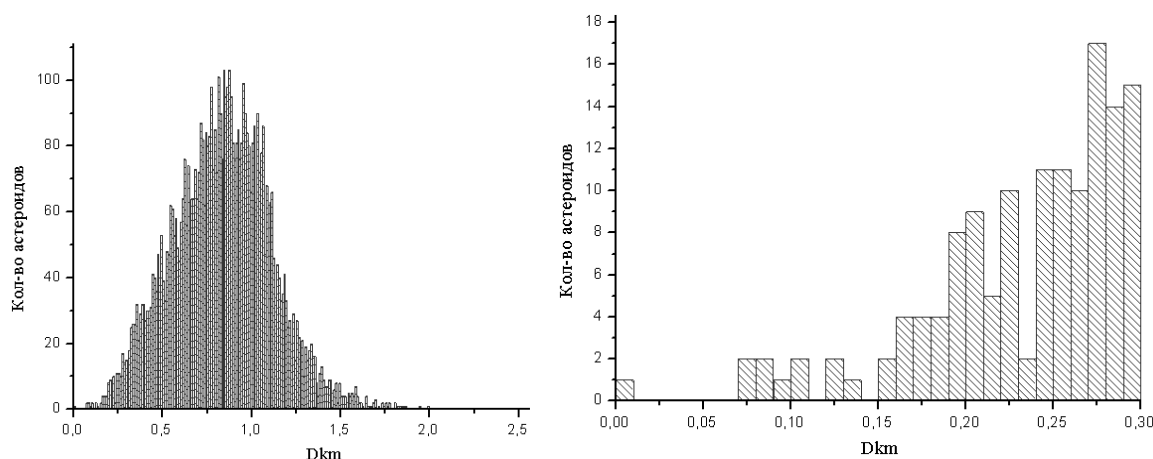


Рис. 1. Гистограмма значений Dkm. Исходный объект – 1221/Amor.

Как видно из рисунка 1, ближе всего к средней орбите находятся несколько астероидов, которые создают группы объектов. После величины $D_{km} > 0.15$ таких ассоциаций на гистограмме нет. В таблице 1 представлены объекты, которые попали в ассоциацию астероидов.

Таблица 1. Ассоциация астероидов 1 (первоначальный объект 1221/Amor)

| Имя | Dkm | E | q | Inc | Node | W |
|------------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| Mean | 0 | 0,48731 | 1,05872 | 12,27807 | 177,2522 | 27,73136 |
| 20255/1998 FX2 | 0,0774 | 0,49238 | 1,09176 | 9,96272 | 181,0673 | 17,49491 |
| 38071/1999 GU3 | 0,07833 | 0,50709 | 1,0297 | 12,73584 | 195,5924 | 8,81764 |
| 2008 EX84 | 0,08506 | 0,55033 | 1,05357 | 15,35737 | 174,7087 | 31,90742 |
| 1221/Amor | 0,08507 | 0,4343 | 1,08623 | 11,8763 | 171,3945 | 26,46183 |
| 2009 CC3 | 0,09739 | 0,53457 | 1,02605 | 11,34271 | 194,9903 | 15,30462 |
| 2608/Seneca | 0,10713 | 0,57623 | 1,06103 | 14,99102 | 168,4687 | 35,65518 |
| 141354/2002 AJ29 | 0,10723 | 0,45206 | 1,08959 | 10,92668 | 204,0435 | 0,30068 |
| 14402/1991 DB | 0,12071 | 0,4021 | 1,02609 | 11,42312 | 158,3446 | 51,19765 |
| 2005 CV38 | 0,1277 | 0,43674 | 1,06442 | 11,88686 | 146,6594 | 62,44232 |
| 1998 HH1 | 0,13229 | 0,51103 | 1,05346 | 16,02288 | 203,6587 | 359,8178 |

Для примера приведем еще несколько примеров ассоциаций:

Таблица 2. Астероиды, попавшие в Ассоциацию №2.
Исходный объект – 1627/Ivar. Dc – 0.09

| Имя | Dkm | E | q | Inc | Node | W |
|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| Mean | 0 | 0,45328 | 1,17396 | 7,73548 | 117,2793 | 179,8372 |
| 2005 MP13 | 0,01096 | 0,45144 | 1,17963 | 7,31595 | 114,891 | 182,3479 |
| 2000 KL33 | 0,05853 | 0,43061 | 1,20271 | 6,91025 | 134,1616 | 160,2436 |
| 1999 LN28 | 0,05893 | 0,46645 | 1,14282 | 9,1867 | 115,6924 | 186,5034 |
| 163252/2002 GD11 | 0,06326 | 0,43986 | 1,1934 | 9,00047 | 95,70649 | 200,8534 |
| 1998 ME3 | 0,07015 | 0,48235 | 1,12757 | 5,99234 | 129,6125 | 165,2999 |
| 2001 NE13 | 0,07575 | 0,42025 | 1,2221 | 7,69753 | 130,0268 | 162,2257 |
| 2002 LH3 | 0,08671 | 0,45358 | 1,15997 | 6,39412 | 87,37461 | 202,8561 |
| 1627/Ivar | 0,08986 | 0,397 | 1,12351 | 8,44852 | 133,1929 | 167,6247 |

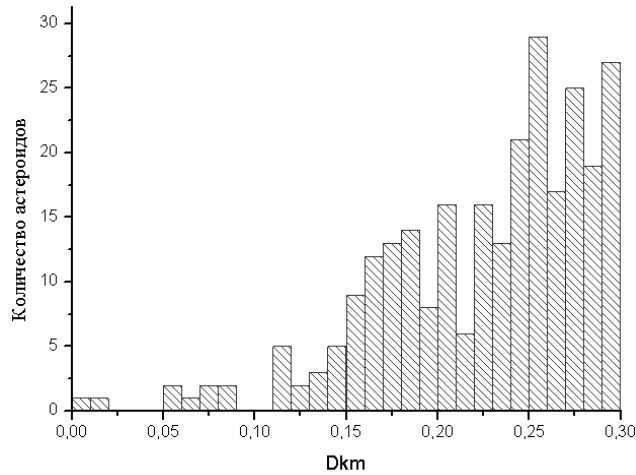


Рис. 2. Гистограмма значений Dkm. Исходный объект – 1627/Ivar.

На рисунке 2 четко выделена граница ассоциации. Можно определить значение $D_c = 0,08$. После этого значения D_c видно пустой участок, где нет астероидов, затем астероиды снова появляются.

Таблица 3. Астероиды, попавшие в Ассоциацию 3.
Исходный объект – 2202/Pele. $D_c = 0,1$

| Имя | Dkm | E | q | Inc | Node | W |
|------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| Mean | 0 | 0,5189 | 1,14802 | 9,67823 | 172,387 | 209,4997 |
| 2202/Pele | 0,06478 | 0,51167 | 1,11857 | 8,74059 | 170,014 | 217,8996 |
| 2005 QS176 | 0,0697 | 0,47528 | 1,16352 | 8,50065 | 175,0028 | 201,4587 |
| 1998 QH1 | 0,07858 | 0,55267 | 1,13513 | 12,39427 | 162,104 | 215,5059 |
| 2001 RX17 | 0,08951 | 0,53064 | 1,22624 | 10,43711 | 167,4325 | 218,3952 |
| 2002 RO137 | 0,09689 | 0,45116 | 1,18262 | 7,01501 | 180,0134 | 198,0705 |

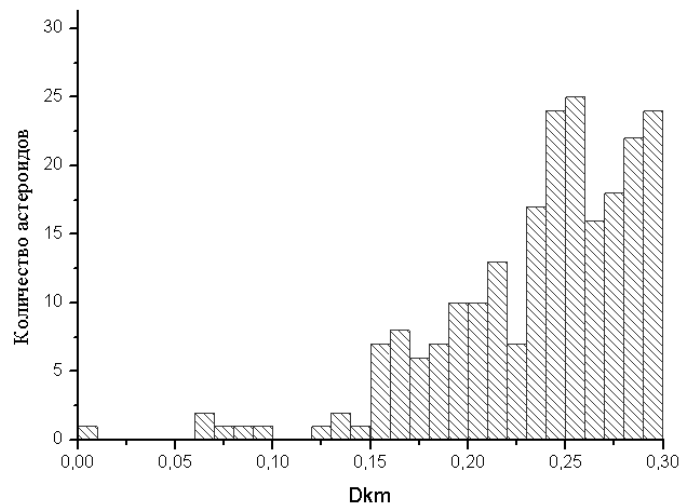


Рис. 3. Гистограмма значений Dkm. Исходный объект – 2202/Pele.

Результаты поиска

Поиск ассоциаций был проведен для астероидов, сближающихся с Землей. Для таких астероидов значение перигелийного расстояния должно быть меньше чем 1,3 а.е. На май 2009 года количество таких астероидов по каталогу Бовелла (Bowell) составля-

ло 6127 шт. Из этого количества АСЗ 983 (16% от общего числа) астероида образовали 111 ассоциаций. В таблицах 1-3 представлены несколько ассоциации, найденные в результате исследований. Результаты, полученные в данном исследовании, согласуются с результатами, полученными в работе Drummond (2000). В этой работе исследовались 708 АСЗ, известные на 2000 год. В результате было получено 29 ассоциаций астероидов. Несколько ассоциаций полученных в моей работе не только совпадают с результатами Драммонда, но и увеличены за счет новых открытых астероидов. Дальнейшие исследования полученных семейств позволит проследить эволюцию астероидов и выяснить как образовались эти семейства, а также поставить наблюдательные задачи с целью пополнения наших знаний об астероидах.

Литература

1. *Southworth, R.B., Hawkins G.S.*, 1963, *Smith.Cont.Aph.*, 7, 261
2. *Drummond, J.D.* 1991. Earth-approaching asteroid streams. *Icarus* 89, 14-25.
3. *T.J. Jopek, Cl.Froeschle.* 1997. A stream search among 502 TV meteor orbits. An objective approach. *Astron. Astrophys.* 320, 631-641
4. *Drummond, J.D.* 2000. The D Discriminant and Near-Earth Asteroid streams. *Icarus* 146, 453-475

CHARACTERISTICS OF NEA ASSOCIATIONS

Naroenkov S.A.

Institute of Astronomy RAS

For Near-Earth asteroids was studying asteroids associations. The search of associations was performed on the sample of 6127 NEAs. For grouping asteroid associations was used D-criterion.

ВОЗРАСТНАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ КИНЕМАТИКИ ПОДСИСТЕМЫ РАССЕЯННЫХ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИКИ

Никифоров И.И.^{1,2}, Казакевич Е.Э.¹

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, НИИИ им. В.В. Соболева*

²*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН*

1. Введение

Данные о рассеянных скоплениях (РС) звезд традиционно привлекаются для пространственно-кинематического (нелокального) моделирования Галактики, включающего оценивание расстояния до ее центра, R_0 (см., например, ссылки в [5, 9]). Однако случаи самостоятельного использования РС (без комбинирования с объектами других типов, создающего дополнительную систематику) были до недавнего времени редки [1, 3], основывались на малой статистике и не позволяли уверенно судить о надежности результатов. Тестирование по поздним данным возможностей РС как опорных объектов в задаче оценивания R_0 путем моделирования поля лучевых скоростей в [9,10] обнаружало высокую статистическую неопределенность оценок R_0 по РС ($\sigma_{R_0} \sim 2-3$ кпк) даже в случае наиболее надежных данных. В противоположность [9, 10], в [13] и [2] из сходного анализа с привлечением собственных движений РС выведены формально гораздо более точные оценки $R_0 = 7.95 \pm 0.62$ кпк и 7.4 ± 0.3 кпк. Однако в [2, 13] были применены, к сожалению, не вполне корректные процедуры нахождения доверительного интервала R_0 как нелинейного параметра. Поэтому вопрос о точности определения R_0 по РС остался открытым. Кроме того, в [9, 10] было выявлено существенное различие результатов для разных возрастных групп РС, происхождение которого не было установлено.

В настоящей работе ставится задача на основании новых данных более детально изучить вопрос о неопределенности оценок R_0 по РС и постараться выяснить причины указанной возрастной неоднородности системы РС Галактики.

2. Данные

Было сформировано два набора данных о РС. Для первого набора (LD, $N = 252$) гелиоцентрические расстояния, r , и возраста, $\lg t$, были взяты из каталога Локтина и др. [8], версия 2; галактические координаты, l и b , гелиоцентрические лучевые скорости, V_r , скоплений – из каталога Диаса и др. [6], версия 2.9.

Второй каталог (COCD–CRVOCA, $N = 363$) объединяет данные каталогов Пискунова и др. [11] (величины l , b , r , $\lg t$) и Харченко и др. [7] (величины V_r).

Распределение РС выборок LD и COCD–CRVOCA и некоторых их подвыборок в проекции на плоскость Галактики представлено на рис. 1.

3. Метод

Использовалась простейшая, осесимметричная, модель для лучевой скорости V_r :

$$V_{\text{mod}}(l, b, r) = [\omega(R) - \omega_0] R_0 \sin l \cos b - u_0 \cos l \cos b - v_0 \sin l \cos b - w_0 \sin b, \quad (1)$$

где расстояние от объекта до оси Галактики $R(l, b, r) = (R_0^2 + r^2 \cos^2 b - 2R_0 r \cos l \cos b)^{1/2}$, $\omega(R)$ – угловая скорость вращения системы РС на расстоянии R от оси вращения Галактики; ω_0 – угловая скорость вращения системы РС на расстоянии R_0 ; u_0 , v_0 , w_0 – компоненты пекулярной скорости Солнца относительно системы РС в направлениях $(l, b) = (0^\circ, 0^\circ)$, $(l, b) = (90^\circ, 0^\circ)$ и $b = 90^\circ$, соответственно.

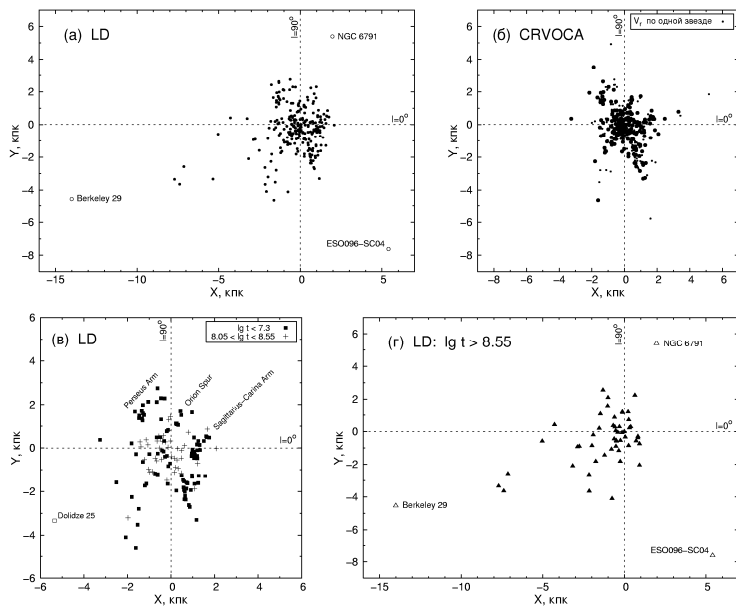


Рис. 1. Распределение рассеянных скоплений в проекции на плоскость Галактики: (а) выборка LD; (б) выборка COCD-CRVOCA; (в), (г) возрастные подвыборки LD. Светлые символы обозначают скопления, принудительно исключенные из выборок в ходе моделирования.

Если представить линейную скорость вращения $\theta(R) = \omega(R) R$ полиномом $\theta(R) = \sum_{i=0}^n \theta_i(\Delta R)^i$, $R \equiv R - R_0$, то (1) преобразуется в модель

$$V_{\text{mod}}(l, b, r) = \left[-2A\Delta R + \sum_{i=2}^n \theta_i(\Delta R)^i \right] \frac{R_0}{R} \sin l \cos b - u_0 \cos l \cos b - v_0 \sin l \cos b - w_0 \sin l, \quad (2)$$

где A – постоянная Оорта, θ_i – коэффициенты разложения в ряд $\theta(R)$. Величина w_0 по данным этого типа определяется плохо. Здесь принято $w_0 = 8$ км/с [3].

Уравнение

$$V_r = V_{\text{mod}}(R_0, A, \theta_2, \dots, \theta_n, u_0, v_0; l, b, r) \quad (3)$$

составлялось для каждого объекта с измеренными l, b, r, V_r . Система уравнений (3) решалась методом наименьших квадратов (МНК) при заданном n относительно вектора неизвестных $\vec{a} = (R_0, A, \theta_2, \dots, \theta_n, u_0, v_0)$.

В процедуру обработки каждой исходной выборки объектов входило:

1. Нахождение формальных неопределенностей σ_{a_m} всех параметров a_m , включая нелинейный параметр R_0 , как проекций многомерной доверительной области на соответствующие оси параметров. В предположении, что выборка достаточно велика, чтобы σ_{a_m} не выходили из области линейаризации $V_{\text{mod}}(\vec{a})$, как можно показать [4,5,12], в терминах обозначений, удобных на практике,

$$\sigma^2(\vec{a}) = \sum_{j=1}^N \left[\frac{V_r - V_{\text{mod}}(\vec{a})}{\tilde{\varepsilon}_j} \right]^2, \quad \sigma_0^2 \equiv \min[\sigma^2(\vec{a})], \quad \sigma_1^2(a_m) \equiv \min_{a_m = \text{const}} [\sigma^2(\vec{a})], \quad (4)$$

где $\tilde{\varepsilon}_j$ – относительная «ошибка», приписанная скорости V_r j -го уравнения, границы доверительного интервала параметра a_m даются численным решением уравнения

$$\sigma_1^2[(a_m)_0 \pm \sigma_{a_m}] = \sigma_0^2 \left(1 + \frac{1}{N_{\text{free}}} \right), \quad (5)$$

где $(a_m)_0$ – точечная оценка параметра a_m , N_{free} – число степеней свободы. Этот аппарат проиллюстрирован на рис. 2.

2. Оптимизация сглаженности модели (2): поиск ее оптимального порядка n [Н99].

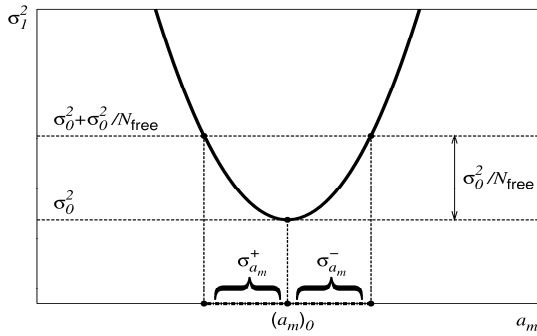


Рис. 2. К процедуре определения формальных доверительных интервалов параметров модели.

3. Объекты с большими невязками итеративно исключались по алгоритму с подвижной границей исключения, зависящей от объема выборки [5].

Мы не привлекаем здесь данных о собственных движениях, μ , РС, т.к. обобщение метода с указанными выше свойствами на совместное решение по V_r и μ представляет собой довольно сложную задачу. К тому же, основную информацию о величине R_0 доставляют данные о V_r , данные о μ влияют на R_0 лишь опосредованно, через уточнение кинематических параметров.

4. Результаты

Поскольку формула (5) точна только в области линеаризации, необходимо проверить методом Монте-Карло корректность больших доверительных интервалов для R_0 , полученных при ее помощи. Для каждой выборки РС и построенной для нее модели было сгенерировано по 10000 каталогов лучевых скоростей, имеющих нормально распределенные отклонения от модели V_{mod} с дисперсией σ_0^2 . Для каждого из этих псевдослучайных каталогов было получено модельное решение. Результаты представлены на рис. 3 и 4.

Как и ожидалось, распределение R_0 оказалось заметно асимметричным, распределения линейных параметров – почти нормальные (рис. 3б и 3в). Численное моделирование подтверждает правомерность применения уравнения (5) для определения формальных полуинтервалов: МК- и формальные оценки σ_{R_0} в целом близки (рис. 4а), при некоторой тенденции к заниженности последних, растущей с увеличением σ_{R_0} (рис. 4б). Примерно в 85% случаев смещения формальных полуинтервалов меньше 10%; нет случаев, когда они выше 15% (рис. 4в).

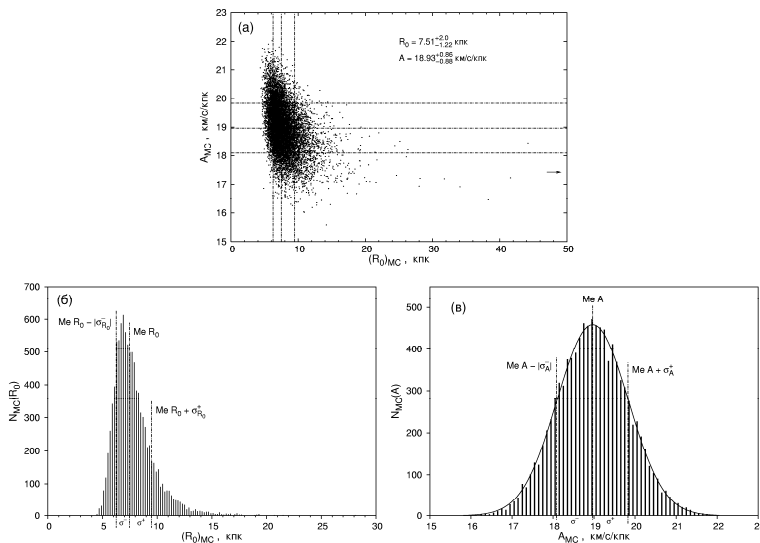


Рис. 3. Пример распределений точечных оценок R_0 и A , полученных методом Монте-Карло. Штрих-пунктирные линии обозначают границы доверительных интервалов 1σ (вероятность $\approx 68.3\%$). Сплошная линия на панели (в) – аппроксимация нормальным законом.

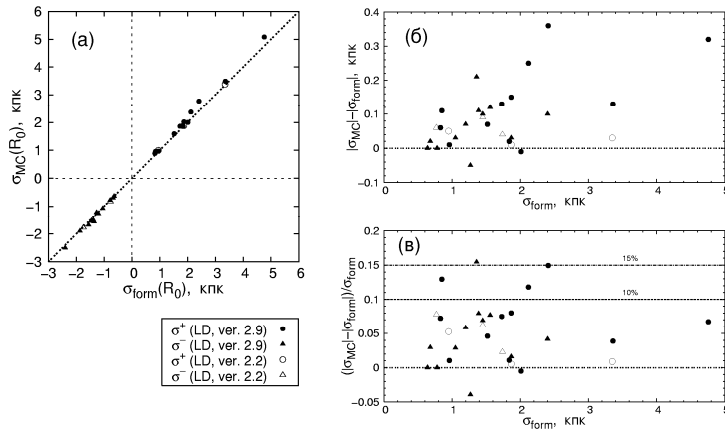


Рис. 4. Сравнение формальных ошибок и ошибок, найденных методом Монте-Карло, для параметра R_0 по различным выборкам РС.

Модельные решения для ряда выборок РС каталога LD представлены в табл. 1. Для объема выборки N даны два значения – исходное и после отбрасывания РС с большими невязками; для всех параметров приведены МК-ошибки на уровне 1σ . Зависимости кинематических параметров от возраста РС показаны на рис. 5.

Таблица 1. Основные результаты для выборки LD

| Выборка | N | n | R_0 , кпк | A , км/с/кпк | v_0 , км/с | u_0 , км/с | σ_0 , км/с |
|--------------------------------------|---------|-------------|--|-------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| $lg t < 7.3$ † | 91/85 | 1 | $10.2^{+5.1}_{-2.5}$ | $18.39^{+0.89}_{-0.91}$ | 14.3 ± 1.8 | 9.8 ± 1.8 | 10.3 |
| $lg t < 8.05$ † | 155/146 | 1 | $9.2^{+3.5}_{-1.9}$ | $18.27^{+0.84}_{-0.86}$ | 14.8 ± 1.4 | 11.0 ± 1.4 | 11.2 |
| $lg t < 8.1$ † | 160/151 | 1 | $7.51^{+2.0}_{-1.2}$ | $18.93^{+0.86}_{-0.88}$ | 13.5 ± 1.4 | 11.1 ± 1.4 | 11.3 |
| $lg t < 8.55$ † | 198/187 | 1 | $7.36^{+2.0}_{-1.3}$ | $18.39^{+0.86}_{-0.87}$ | 12.4 ± 1.3 | 11.1 ± 1.3 | 11.8 |
| $lg t > 8.55$ † | 45 | 1 | $5.52^{+1.9}_{-1.6}$ | $19.0^{+3.2}_{-3.3}$ | 8.2 ± 1.4 | $12.9^{+4.9}_{-4.6}$ | 19.7 |
| $lg t > 8.55$, искл. NGC 6791 † | 44 | Нет решения | | | | | |
| $7.3 < lg t < 9.6$ ‡ | 145 | Нет решения | | | | | |
| Все, $R < 16$ кпк | 250/246 | 1 | $6.22^{+0.97}_{-0.78}$ | $18.18^{+0.91}_{-0.96}$ | $11.1^{+1.4}_{-1.5}$ | 11.9 ± 1.5 | 15.1 |
| Все, $R < 16$ кпк, искл. NGC 6791 | 249/245 | 1 | $7.99^{+2.4}_{-1.6}$ | 17.53 ± 0.98 | 11.6 ± 1.5 | 11.6 ± 1.4 | 15.0 |

† $R < 12$ кпк, ‡ $R < 10$ кпк

Результаты показывают, что система РС Галактики кинематически неоднородна. Для РС с возрастaми $8.05 < lg t < 8.55$ значения v_0 малы, что соответствует положительным возмущениям спиральной волны плотности для внешних областей рукава; молодые РС ($lg t < 7.3$) с большими значениями v_0 , т.е. отрицательными возмущениями, находятся на внутренней границе рукава (см. также рис. 5в, 5г, 1в). РС с $lg t$ меньше или порядка 8 имеют небольшие значения u_0 , отражающие радиальные возмущения, направленные внутрь, ожидаемые для максимума плотности рукавов.

В качестве оптимальной (с точки зрения статистической значимости и однородности выборки) оценки можно рассматривать результат $R_0 = 7.51^{+2.0}_{-1.2}$ кпк, полученный для выборки РС с $lg t < 8.1$. Тем не менее, даже эта «оптимальная» оценка остается довольно неопределенной. Можно сказать, что это же значение возраста $lg t < 8.1$ определяет также возрастную границу однородности выборки.

Как видно из табл. 1, решение обеспечивают выборка РС с возрастaми $lg t < 7.3$, а также единственный объект NGC 6791 с $lg t \approx 9.6$ вследствие их положения в Галактике ($1 \sim 90^\circ$ или 270° на больших r , см. рис. 1в и 1г). Скопление NGC 6791 оказывает суще-

ственное влияние на результат, хотя его скорость $V_r = -57$ км/с явно не соответствует его положению на солнечном круге; вероятно, расстояние до него занижено. Этот и другие подобные объекты также исключены из рассмотрения (светлые значки на рис. 1в и 1г). Их влиянию, как и воздействию спиральной волны плотности, по-видимому, и следует приписать обнаруженные в [9, 10] возрастные расхождения в результатах пространственно-кинематического моделирования.

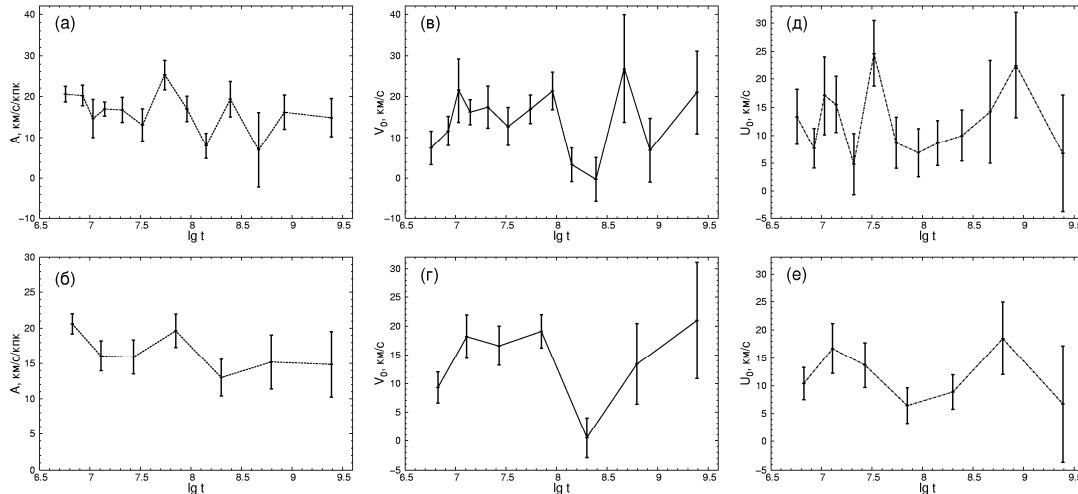


Рис. 5. Зависимости A , v_0 и u_0 от промежутка возрастов РС (по данным выборки LD).

Таблица 2. Основные результаты для выборки COCD-CRVOCA

| Выборка | N | n | R_0 , КПК | A , км/с/кпк | v_0 , км/с | u_0 , км/с | σ_0 , км/с |
|------------------|---------|-----|--|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| Все | 361/349 | 2 | $24.2^{+17}_{-7.1}$ | 14.4 ± 0.6 | 13.9 ± 1.1 | 9.4 ± 1.1 | 12.8 |
| Все † | 221/220 | 3 | $7.06^{+2.0}_{-1.3}$ | 15.9 ± 1.1 | 11.7 ± 1.2 | 10.0 ± 1.1 | 10.6 |
| $\lg t < 8.1$ | 246/238 | 3 | $11.9^{+6.9}_{-3.1}$ | 16.6 ± 1.1 | 14.5 ± 1.5 | 7.1 ± 1.3 | 12.0 |
| $\lg t < 8.1$ † | 171/170 | 3 | $7.31^{+2.7}_{-1.4}$ | 16.4 ± 1.2 | 12.5 ± 1.5 | 8.8 ± 1.2 | 10.7 |
| $\lg t > 8.55$ † | 198/197 | 2 | $8.6^{+3.1}_{-1.8}$ | 14.6 ± 0.8 | 12.5 ± 1.3 | 9.7 ± 1.1 | 10.5 |

† Исключены РС с лучевыми скоростями, полученными по одной звезде ($n_{V_r} = 1$)

Для выборки COCD-CRVOCA наименьшая неопределенность R_0 получается при исключении РС с лучевыми скоростями, измеренными лишь по одной звезде (табл. 2). В этом случае достигается и согласие с «оптимальной» оценкой R_0 по выборке LD.

5. Выводы

А. Формальные доверительные интервалы R_0 близки к интервалам, найденным численным моделированием, для широкого промежутка их значений. Обычно разница не превышает 10-15% при тенденции к заниженности формальных интервалов.

Б. Неоднородность кинематики РС следует приписать влиянию спиральной структуры. Относительно однородными можно считать лишь подсистему РС с $\lg t < 8.1$. При включении в выборку более старых РС, очевидно, нужно учитывать возмущения от волны плотности.

В. Оценки R_0 и по новым данным о РС остаются довольно неопределенными даже в статистическом смысле. Однако тенденция к некоторому прогрессу все же заметна.

Наилучшая по точности оценка получается из анализа молодых РС ($\lg t < 8.1$) по данным выборки LD: $R_0 = 7.51^{+2}_{-1.2}$ кпк.

Г. Отдельные далекие объекты в направлениях $l \sim 90^\circ$ или 270° или в окрестности круга $R = R_0$ создают фиктивно высокую точность оценки R_0 : даже незначительные ошибки в наблюдательных данных для этих объектов могут приводить к большому систематическому смещению R_0 . Подобные объекты следует исключать из рассмотрения.

Работа поддержана грантом РФФИ 08-02-00361 и грантом Президента РФ для государственной поддержки коллективов ведущих научных школ РФ НШ-1323.2008.2.

Литература

1. Бархатова К.А., Герасименко Т.П., Блюм М.Э., Люханов К.Б., 1985, Бюл. Абастуманск. астрофиз. обсерв., 59, 169.
2. Бобылев В.В., Байкова А.Т., Лебедева С.В., 2007, Письма в „Астрон. журн.“, 33, 809.
3. Герасименко Т.П., 2004, Астрон. журн., 2004. 81, 124.
4. Никифоров И.И., 1999, Астрофизика, 42, 399.
5. Никифоров И.И., 2003, Пространственно-кинематическое и динамическое моделирование Галактики, Дис. кандидата физ.-мат. наук (СПб: СПбГУ), 197 с., <http://www.astro.spbu.ru/astro/publications/disser/NikiforovII/>
6. Dias W.S., Alessi B.S., Moitinho A., Lepine J.R.D., 2002, Astron. and Astrophys., 389, 871.
7. Kharchenko N.V., Scholz R.-D., Piskunov A.E., Roeser S., Schilbach E., 2007, Astron. Nachr. 328, 889.
8. Loktin A.V., Gerasimenko T.P., Malysheva L.K., 2001, Astron. and Astrophys. Trans., 20, 607.
9. Nikiforov I.I., Kazakevich E.E., 2006, Astron. and Astrophys. Trans., 25, 189.
10. Nikiforov I.I., Kazakevich E.E., 2009, Dynamics of Galaxies, Proceedings of the International Conference, SPbU, Pulkovo (in press).
11. Piskunov A.E., Kharchenko N.V., Roeser S., Schilbach E., Scholz R.-D., 2006, Astron. and Astrophys., 445, 545.
12. Press W.H., Flannery B.P., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., 1989, Numerical Recipes in Pascal: The Art of Scientific Computing (Cambridge etc.: Cambridge University Press), 759p.
13. Shen M., Zhu Z., 2007, Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics, 7, 1, 120.

AGE INHOMOGENEITY OF KINEMATICS OF GALACTIC OPEN CLUSTER SYSTEM

Nikiforov^{1,2} I.I., Kazakevich E.E. ¹

¹Sobolev Astronomical Institute of St. Petersburg State University

²Central Astronomical Observatory of the Russian Academy of Sciences at Pulkovo

The problem of uncertainty of R_0 estimations from spatially-kinematic modeling the open cluster (OC) system of the Milky Way is considered in detail. Using Monte Carlo simulations the formal (linear) confidence intervals for R_0 was demonstrated to be accurate to 10-15% (and commonly underestimated). Results for OCs of different ages testify that an inhomogeneity of OC kinematics is associated with an influence of spiral wave density. Only a subsystem of young OCs ($\lg t < 8.1$) can be considered as relatively homogeneous. Estimations of R_0 even from recent comprehensive OC data remain rather uncertain---best value from young OCs is $R_0 = 7.51^{+2}_{-1.2}$ кпк. Yet a trend has been toward to some refinement for last years. Objects responsible for fictitious high precision of R_0 estimates must be excluded from consideration.

КОЭФФИЦИЕНТЫ STF РЯДА ДЛЯ ПРОИЗВОДНЫХ ПРОИЗВОЛЬНОГО ПОРЯДКА ОТ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В ВИДЕ STF-РЯДА

Пасынок С.Л.^{1,2}

¹Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических, и радиотехнических измерений, 141570, п. Менделеево, Московская область, Россия

²Государственный Астрономический Институт им. П.К. Штернберга,
119899, Университетский проспект 13, Москва, Россия

e-mail: pasynok@sai.msu.ru

1. Введение

Наряду с известной и общеупотребительной формой представления угловой части геофизических функций в виде разложения в ряд по сферическим функциям в некоторых областях используется также и альтернативная форма представления угловой части функции – разложение в ряд по полностью симметричным и бесследовым тензорам, обозначаемым как STF-тензора. В качестве примеров можно привести работы [1-4]. Для решения ряда задач необходимо раскладывать геофизические функции в ряд Тейлора по малому параметру. Коэффициенты ряда Тейлора пропорциональны производным и поэтому уже не являются полностью бесследовыми тензорами. Для того, чтобы представить ряд Тейлора в стандартном виде с полностью симметричными и бесследовыми коэффициентами необходимо все производные представить в соответствующем виде.

Кроме того, так как возможно в будущем будут востребованы многомерные (а не только трехмерные) сферические функции [5], то все выкладки будут проводиться для наиболее общего многомерного случая.

2. Элементы теории STF тензоров

Разложение функции F , заданной на единичной сфере, в ряд по STF тензорам имеет вид:

$$F = \sum_{N=0}^{\infty} F_{\langle N \rangle} n_N \quad (1)$$

где

$$F_{\langle N \rangle} = \frac{\prod_{j=1}^N (\delta_{ii} + 2(j-1))}{N!} \langle F f_N \rangle \quad f_N = \sum_{L=0}^{[N/2]} a(N, L) \delta_{(2L} n_{N-2L)} \quad (2)$$

и использованы обозначения работы [3] ($n_L = n_{j_1} n_{j_2} \dots n_{j_L}$, $F_N = F_{j_1 \dots j_N}$, и по повторяющимся индексам проводится суммирование (правило суммирования Эйнштейна) так что $F_i G_i \equiv \sum_i F_i G_i$, δ_{ij} – символ Кронекера и т.д. В частности, δ_{ii} есть размерность пространства. Угловые скобки (в индексе) означают операцию взятия симметричной и бесследовой по этим индексам части тензора, n_j – компоненты единичного вектора, а большие угловые скобки означают усреднение по δ_{ii} -мерной единичной сфере).

Коэффициенты $a(N, L)$ в (2) определяются формулой:

$$a(N, L) = \frac{N!}{(2N - 4 + \delta_{ii})!!} \frac{(-1)^L (2N - 4 + \delta_{ii} - 2L)!!}{(2L)!!(N - 2L)!} \quad (3)$$

В трёхмерном случае эту формулу можно найти в [3] (формула A2). А в случае пространства произвольной размерности для того, чтобы убедиться в справедливости (3), достаточно взять след тензора f_N по любой паре индексов и прямым вычислением убедиться в равенстве его к нулю.

3. Вычисление m-ой производной от STF-ряда

Чтобы использовать (1) при решении дифференциальных уравнений m-го порядка, необходимо вычислить m-ую производную от ряда (1). Анализ закономерностей изменения при дифференцировании вида (1) приводит к выводу, что m-ая производная имеет вид:

$$F_{,M} = \sum_{N=0}^{\infty} \sum_{K=0}^{\min(N,M)} \sum_{L=0}^{\left\lfloor \frac{M-K}{2} \right\rfloor} \sum_{P=0}^{M-K-L} \frac{C_{NMK}^{LP}}{r^{M-P}} \frac{\partial^P F_{\langle N-K(K) \rangle}}{\partial r^P} \delta_{2L} n_{M-2L-K} n_{N-K} \quad (4)$$

где C_{NMK}^{LP} – некоторые числовые коэффициенты, подлежащие определению.

Доказательство (4) и вывод алгоритма вычисления коэффициентов C_{NMK}^{LP} были проведены с помощью применения метода математической индукции. В результате был получен алгоритм:

а) если M-K нечётное и $L = \left\lfloor \frac{M-K+1}{2} \right\rfloor$, то:

$$C_{NM+1K}^{\left\lfloor \frac{M-K+1}{2} \right\rfloor P} = \left(M - K + 2 - 2 \left\lfloor \frac{M-K+1}{2} \right\rfloor \right) C_{NMK}^{\left\lfloor \frac{M-K-1}{2} \right\rfloor P}$$

$$K = 1, \dots, \min(N, M)$$

где:

$$P = 0, \dots, M - K - \left\lfloor \frac{M-K-1}{2} \right\rfloor$$

б) если M-K чётное или M-K нечётное, но $L \neq \left\lfloor \frac{M-K+1}{2} \right\rfloor$, то:

$$C_{NM+1K}^{L0} = (M - 2L - K + 2) C_{NMK}^{L-1P} - \frac{(M - 2L + 1)(N + 2(M - L - K))}{M - 2L - K + 1} C_{NMK}^{L0}$$

при $L \neq 0$

$$C_{NM+1K}^{00} = - \frac{(M + 1)(N + 2(M - K))}{M - K + 1} C_{NMK}^{00}$$

$$C_{NM+1K}^{LM-L-K+1} = (M - 2L - K + 2) C_{NMK}^{L-1M-L-K+1} - \frac{M - 2L + 1}{M - 2L - K + 1} C_{NMK}^{LM-L-K}$$

при $L \neq 0$

$$C_{NM+1K}^{0M-K+1} = \frac{M + 1}{M - K + 1} C_{NMK}^{0M-K}$$

$$C_{NM+1K}^{LP} = \frac{M - 2L + 1}{M - 2L - K + 1} \left\{ C_{NMK}^{LP-1} - (N - P + 2(M - L - K)) C_{NMK}^{LP} \right\} + (M - 2L - K + 2) C_{NMK}^{L-1P}$$

где: $\begin{cases} L \neq 0 \\ P = 1, \dots, M - K - L \end{cases}$

$$C_{NM+1K}^{L0} = \frac{M+1}{M-K+1} \left\{ C_{NMK}^{0P-1} - (N-P+2(M-K))C_{NMK}^{0P} \right\}$$

$P = 1, \dots, M-K-L$

Начальные условия:

$$C_{N10}^{01} = 1 \text{ (и вообще: } C_{NM0}^{0M} = 1), C_{N10}^{00} = -N, C_{N11}^{00} = N$$

в) $C_{MMM}^{00} = \frac{N!}{(N-M)!}$ где $M=1, \dots, N$

4. Ряд Тейлора для STF-ряда

Рассмотрим:

$$F(x_i + a_i) = \sum_{M=0}^{\infty} \frac{1}{M!} \partial_M F \Big|_{x_i=a_i} a_M \text{ если } \frac{a}{r} < 1$$

Тогда, с учётом (2):

$$\begin{aligned} F(x_i + a_i) &= \sum_{M=0}^{\infty} \sum_{N=0}^{\infty} \sum_{K=0}^{\min(N,M)} \sum_{L=0}^{\lfloor \frac{M-K}{2} \rfloor} \sum_{P=0}^{M-K-L} \frac{C_{NMK}^{LP}}{M!} \frac{1}{r^{M-P}} \frac{\partial^P F_{\langle N-K \rangle}}{\partial r^P} \delta_{2L} n_{M-2L-K} n_{N-K} a_M = \\ &= \sum_{M=0}^{\infty} \sum_{N=0}^{\infty} \sum_{K=0}^{\min(N,M)} \sum_{L=0}^{\lfloor \frac{M-K}{2} \rfloor} \sum_{P=0}^{M-K-L} \frac{C_{NMK}^{LP}}{M!} \frac{a^{2L}}{r^{M-P}} \frac{\partial^P F_{\langle N-K \rangle}}{\partial r^P} a_K a_{M-2L-K} n_{N+M-2(L+K)} \end{aligned}$$

Или, учитывая $F = \sum_{W=0}^{\infty} F_{(W)} n_W$, получим:

$$F_{(W)} = \sum_{M=0}^{\infty} \sum_{N=0}^{\infty} \sum_{K=0}^{\min(N,M)} \sum_{L=0}^{\lfloor \frac{M-K}{2} \rfloor} \sum_{P=0}^{M-K-L} \frac{C_{NMK}^{LP}}{M!} \frac{a^{2L}}{r^{M-P}} \frac{\partial^P F_{\langle N-K \rangle}}{\partial r^P} a_K a_{M-2L-K}$$

$$W = N + M - 2(L+K)$$

Теперь, используя следующие формулы:

$$F_{\langle 2K \rangle} = \sum_{N=K}^{\infty} \tilde{a}(2N, N-K) F_{(i_1 \dots i_{n-k} i_1 \dots i_{n-k} \langle 2K \rangle)}$$

(3)

$$F_{\langle 2K+1 \rangle} = \sum_{N=K}^{\infty} \tilde{a}(2N+1, N-K) F_{(i_1 \dots i_{n-k} i_1 \dots i_{n-k} \langle 2K+1 \rangle)}$$

где коэффициенты $\tilde{a}(N, L)$ таковы, что:

$$n_N = \sum_{L=0}^{\lfloor N/2 \rfloor} \tilde{a}(N, L) \delta_{2L} n_{\langle N-2L \rangle}$$

и вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} \tilde{a}(N, 0) &= 1 & \tilde{a}(N, 1) &= -a(N, 1) & \tilde{a}(N, L) &= a(N, 0, L-1) \\ a(N, L, 1) &= a(N, 1) a(N-2, L+1) - a(N, L+2) \\ a(N, L, K) &= a(N, L+1, K-1) - a(N, 0, K-1) a(N-2K, L+1) \end{aligned}$$

нетрудно найти $F_{\langle N \rangle}$ такие, что $F = \sum_{N=0}^{\infty} F_{\langle N \rangle} n_N$.

5. Резюме

В работе получены формулы, формализующие операцию взятия производной от геофизических функций, представленных в виде STF ряда и разложение таких функций в ряд Тэйлора.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 08-05-00256 и 08-02-00971.

Литература

1. *Misner C., Thorn K.S., Wheeler J.A.*, 1973, Gravitation, San Francisco: W. H. Freeman & Company.
2. *Thorn, K.S.* (1980), Multipole expansions of gravitational radiation, Rev. Mod. Phys. 52, 299-339.
3. *Blanchet L., Damour T.*, 1986, Radiative gravitational fields in General Relativity, I, General structure of the field outside the source. Phil. Trans. Roy. Soc. London, Vol. A320, p. 370-430.
4. *С.Л. Пасынок*, Учёт тензора присоединённых масс в задаче о свободных колебаниях внутреннего ядра Земли, Вестник МГУ, Физика, Астрономия, 1999, N1, с. 46-49.
5. *С.Л. Пасынок*, Многомерное обобщение статистического метода Шарлье-Грамма, Труды ИПА РАН (материалы всероссийской конференции "Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение" (КВНО-2007), прошедшей Санкт-Петербурге (ИПА РАН) со 2 по 5 апреля 2007 г.), Выпуск 17, 2007 г., с. 268-280.

STF-COEFFICIENTS FOR DERIVATIVES OF ANY ORDER FROM STF-FORM GEOPHYSICAL FUNCTIONS

Pasynok S.L.^{1,2}

¹*National Research Institute for Physicotechnical and Radio Engineering Measurements,
141570, Mendeleevo, Moscow region, Russia.*

²*Sternberg Astronomical Institute of Moscow State University,
119899, Universitetsky prospect 13, Moscow, Russia.
e-mail: pasynok@sai.msu.ru*

Now alongside with the form of representation of geophysical functions angular dependence as row of spherical harmonics it starts to be used an alternative method - representation of geophysical functions angular dependence as row of completely symmetric trace free (STF) tensors. In this connection there is a question on representation of a derivative of the any order from such functions as rows of the same kind. In this paper this task has been solved and algorithm of coefficients calculation of such rows has been formulated.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ЛИБРАЦИИ ЛУНЫ В ЯПОНСКОМ КОСМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ ILOM

Петрова Н.К.^{1,2}, Гусев А.В.¹, Кавано Н.³, Ханада Х.³

¹*Казанский государственный университет, Казань, Россия*

²*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

³*Национальная астрономическая обсерватория Японии, Мизусава, Япония*

Введение

Большой объем информации о Луне может быть получен из наблюдения физической либрации, а также из ее теоретического моделирования. Начало нового тысячелетия отмечено рядом работ, в которых дается обзор результатов и проблем в этой области [1, 6, 7, 10, 14-20]. Изучение вращения небесного тела открывает возможности проникать в сложную внутреннюю структуру небесного тела, особенно в тех случаях, когда другие (геофизические) методы недоступны.

Безусловно, огромный вклад в знание о внутреннем строении Луны дали такие космические эксперименты, как Clementine (1994, NASA, США), Lunar Prospector (1998-1999, NASA, США). Очередной всплеск интереса к Луне – ее внутренним и внешним характеристикам - наблюдается в настоящее время. Уже в новом тысячелетии серия космических экспериментов, направленных на глобальное исследование нашего уникального в Солнечной системе спутника, стартовала с проекта SMART-1 (2003 – 2006, ESA), открывшего новые технологические возможности лунных экспериментов, обеспечивающих широкий спектр данных о Луне. 2007 год – это год триумфального включения в лунные исследования космических агентств Японии, Китая, Индии. Речь идет, в первую очередь, о японской миссии SELENE (Kaguya), впервые обеспечившей за более чем годовой срок пребывания на лунной орбите высокоточное топографическое и гравитационное картирование всей лунной поверхности, включая ранее недоступные области обратной стороны и зоны лимба [2, 11, 12]. Можно надеяться, что когда будут опубликованы новые данные с 14 новейших различных инструментов, установленных на низкоорбитальном спутнике Кагуя, новый поток информации существенно обогатит наши знания о Луне. Китайский спутник ChagE-1 [4] и индийский Chandrayan [3] продемонстрировали серьезные возможности своих стран в области лунных исследований и дополнили их новыми данными о гравитационном поле, массах, коре геохимическом составе окололунного пространства.

Лунный разведчик LRO (NASA, USA), запущенный в июне 2009 года, с первых же дней своего функционирования на лунной орбите поставляет на Землю уникальные снимки высоко разрешения лунной поверхности. Миссия LRO - это первый серьезный шаг в реализации долговременной программы установки обитаемых лунных баз, запланированных многими странами на 20-е годы. В задачу LRO входит подобрать наиболее подходящее место для дислокации базы. Для этого ему предстоит найти кислород, воду и источники энергии, «разведать», насколько опасна радиационная обстановка в окололунном пространстве для человека. Эти задачи будут решать шесть научных инструментов LRO.

Несмотря на столь активные исследования с помощью космических аппаратов, интерес к Луне не ослабевает. Наоборот, в 2008 году Японское правительство официально приняло на финансирование второй этап космической программы SELENE – проект ILOM, который предусматривает установку (в 2013 г. или позднее) оптического телескопа с фокусным расстоянием 2 м и апертурой 10 см на одном из полюсов Луны. Основная задача проекта – наблюдение физической либрации Луны (ФЛЛ) непосред-

венно с ее поверхности для выявления тонких эффектов, связанных с характеристиками внутреннего строения нашего спутника. Здесь имеются в виду коэффициенты упругости Лява, параметры диссипации на границе возможного жидкого ядра и вязко-упругой мантии, параметры лунного ядра – его размеры, эллиптичности, химический состав. Для приема и регистрации в телескопе будет установлена ПЗС-матрица размером 4000×4000 пикселей. Планируемая точность измерения звездных координат 1 миллисекунда дуги.

В рамках совместных Российско-Японских грантов российская сторона берет на себя обязанности по теоретическому обеспечению проекта. В первую очередь, проводится исследование существующих теорий ФЛЛ и их адекватное применение к предстоящему анализу высокоточных данных, предварительное моделирование звездных треков для выявления их чувствительности к динамической модели Луны, к наличию жидкого ядра, его параметрам. Ведется разработка компьютерного моделирования будущих наблюдений с целью определения моментов прохождения звезды через первый меридиан и ее полярного расстояния в эти моменты.

Установка телескопа и моделирование звездных треков

Лазерная локация Луны, продолжающая уже более 40 лет, дает богатейшую информацию об очень тонких эффектах лунного спин-орбитального движения. В частности, через наблюдение физической либрации Луны удалось прийти к предположению, что Луна содержит жидкое ядро – момент, позволяющий сделать перспективные выводы и о происхождении системы Земля-Луна, и об ее эволюции [10, 20]. Проект ILOM (In situ Lunar Orientation Measurement) предполагает наблюдение за звездами с помощью небольшого телескопа, установленного на одном из лунных полюсов, непосредственно с поверхности Луны.

Очевидны преимущества такого эксперимента перед лазерной локацией: а) движение телескопа будет напрямую показывать вращение Луны относительно звезд, т.е. относительно инерциальной системы координат (Рис. 1а); б) в отличие от лазерной локации наблюдения свободны от орбитально-вращательного движения Земли. Высокоточная ПЗС-технология наблюдений, разрабатываемая японскими исследователями [8] позволяет надеяться получить миллисекундную точность наблюдения положения звезды в поле зрения телескопа и тем самым выявить новые эффекты в либрации Луны.

Рис. 1а демонстрирует схему эксперимента ILOM. Главные оси инерции Луны, жестко связанные с ее телом, образуют динамическую систему координат (ДСК), положение которой в пространстве описывается теорией физической либрации Луны. В идеале, предполагается, что ось телескопа будет направлена вдоль наибольшего момента инерции C , а оси в поле зрения ориентированы вдоль других главных осей инерции: ось x совпадает с наименьшим моментом инерции A , ось y ориентирована по направлению среднего момента B (Рис. 1б). Направление оси x совпадет первым лунным меридианом, т.е. со средним направлением на Землю.

В плане будущих наблюдений с поверхности Луны было бы интересно посмотреть, насколько чувствительны траектории звезд к физической либрации Луны, к точности динамической модели, к положению телескопа на лунной поверхности.

Моделирование движения лунного полюса

Задача построения траекторий звезды в поле зрения полярного телескопа сводится к получению ее положения в динамической системе координат, которая участвует в обратном прецессионном движении со скоростью $-0,0009242175$ радиан/сутки и либрационном движении, которое описывается теорией ФЛЛ.

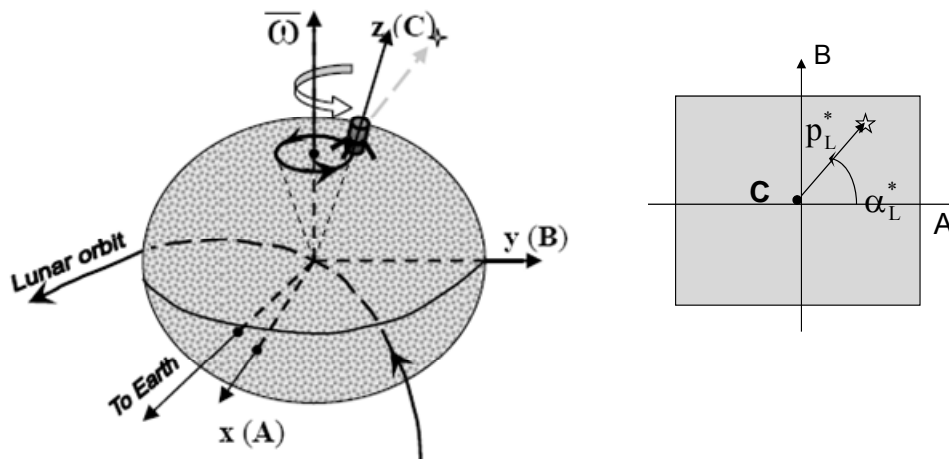


Рис. 1. а) Предполагаемая установка телескопа на лунном полюсе. б) направление осей телескопа в его поле зрения по осям инерции Луны

Вначале нами было исследовано движение фиктивной точки с координатами северного лунного полюса. В эклиптической системе его долгота $\lambda = 90^\circ - \Omega$ и широта $\beta = 90^\circ - I$, где Ω - эклиптическая долгота узла лунного экватора на эпоху наблюдения, а $I \sim 1^\circ 32'$ - угол наклона экватора Луны к эклиптике. Положение звезды определяется полярным углом и полярным расстоянием. Расчеты проводились на 1 год, начиная с эпохи JD2013. В силу быстрого прецессионного движения звездные траектории незамкнуты и образуют спирали. На рис. 2 показаны спирали движения полюса вследствие прецессии (5 месяцев) а) без либрации, на б) - с либрацией.

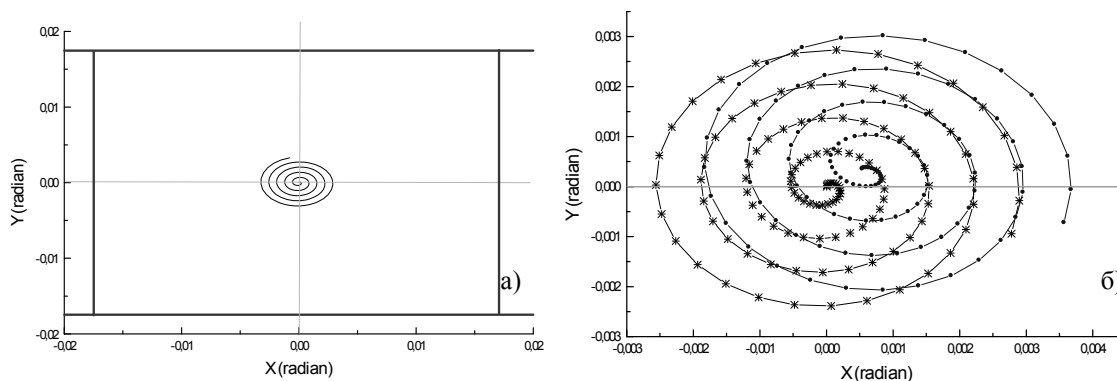


Рис. 2. Траектории полюса вследствие а) только прецессии (без либрации), и б) прецессии с либрацией. На а) траектории показаны в масштабе всего телескопа, на б) - более крупно - центральная область телескопа: * - траектория без либрации, • - добавлена либрация

Либрация вызывает общее смещение спиралей к Земле (рис. 2б). Величина полярного расстояния фиктивного полюса от центра телескопа колеблется в пределах от 100 до 110 секунд дуги, в зависимости от принятой в теории ФЛЛ динамической модели. Определение величины этого смещения из предстоящих наблюдений дает ключ к уточнению параметров динамической фигуры Луны - коэффициентов Стокса, безразмерных моментов инерции.

Построение треков реальных звезд

Согласно параметрам телескопа, из звездных каталогов Hipparcos и UCAC2-BSS нами были выбраны звезды до 12 звездной величины (предположительно предельная

для японского телескопа величина), которые попадают в поле зрения лунного телескопа. Это те звезды, координаты которых лежат в окрестности $0,5^\circ$ относительно прецессионного движения лунного полюса (рис. 3). Неоценимую помощь в работе со звездными каталогами нам была оказана сотрудником отдела астрономического ежегодника ИПА Свешниковым М.Л.

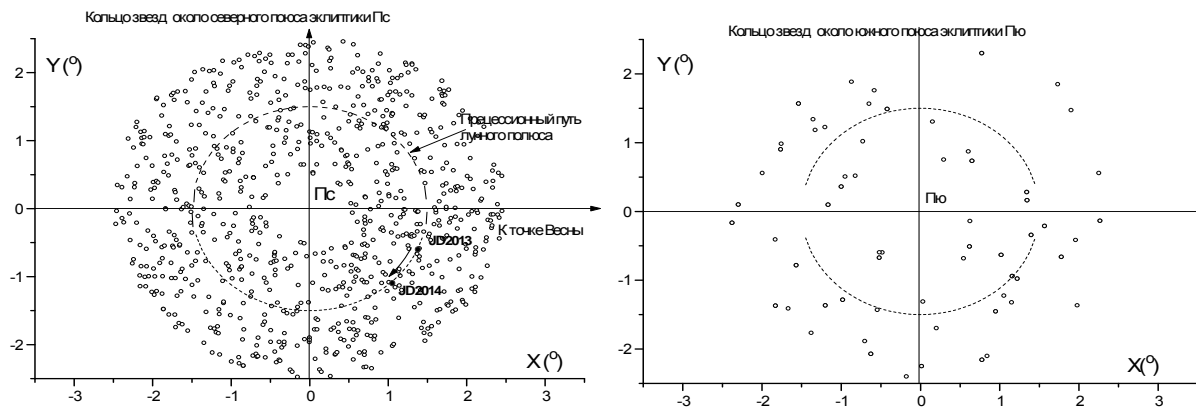


Рис. 3. Кольцо звезд в окрестности прецессионного движения южного и северного полюсов Луны в эклиптикальной системе координат.

Количество звезд, удовлетворяющих заданным требованиям, для северного полушария значительно больше, чем для южного. Вероятно, разность обусловлена малым количеством ярких звезд для южного полушария. В окрестности движения северного лунного полюса на период JD2013 - JD 2014 оказалось порядка 50 звезд. Треки для них строились в системе поля зрения телескопа, задаваемой ДСК. Для перехода к этой системе от координат звезд каталогов мы использовали матрицы поворота с учетом прецессии, абберации и собственного движения звезд, основываясь на аналитической теории ФЛЛ [13, 16].

Оказалось, что в отличие от наблюдаемых с Земли траекторий, на небе Луны звезды описывают разного вида траектории (рис. 4). Удивительным оказалось увидеть треки петлеобразного характера: звезда вначале приближается к центру телескопа по закручивающейся спирали, а затем уходит от него по раскручивающейся спирали (рис. 5а). Такой эффект наблюдается для звезд, эклиптикальная долгота которых на начало наблюдения оказывается меньше долготы лунного полюса. Причина столь необычного движения звезд в небе Луны объясняется комбинацией быстрого прецессионного движения полюса и медленного собственного вращения Луны. Напомним, период прецессии лунного полюса примерно 18,6 года, а период вращения – 27,3 дня. Для сравнения, те же значения для Земли - 26000 лет и 1 день. В результате, полярное расстояние звезды от центра телескопа вначале убывает (с учетом либрации – периодически), а затем – возрастает (рис. 5б).

Исследование чувствительности треков к модели динамической фигуры Луны

Аналитические таблицы ФЛЛ легко позволяют вводить в расчеты любую динамическую модель лунной фигуры. Для проверки чувствительности звездных треков к динамической фигуре Луны, мы искусственно не учитывали прецессионное движение звезды. В этом случае перемещение звезды в поле телескопа более заметно. Нами были рассчитаны треки для трех динамических моделей, представленных в таблице. На рис. 6а слева построены либрационные траектории полюса для двух моделей (1) и (2). «Расщепление» траекторий, построенных по разным моделям, превышает $0.5''$. Даже

небольшое изменение динамических параметров при сравнении моделей (2) и (3) вызывает смещение траекторий порядка 20-30 миллисекунд дуги.

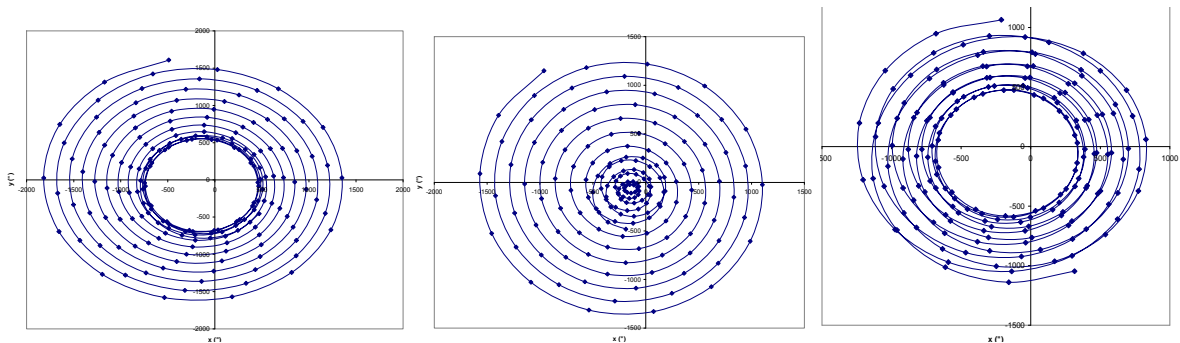


Рис. 4. Разновидности звездных треков в поле зрения лунного телескопа.

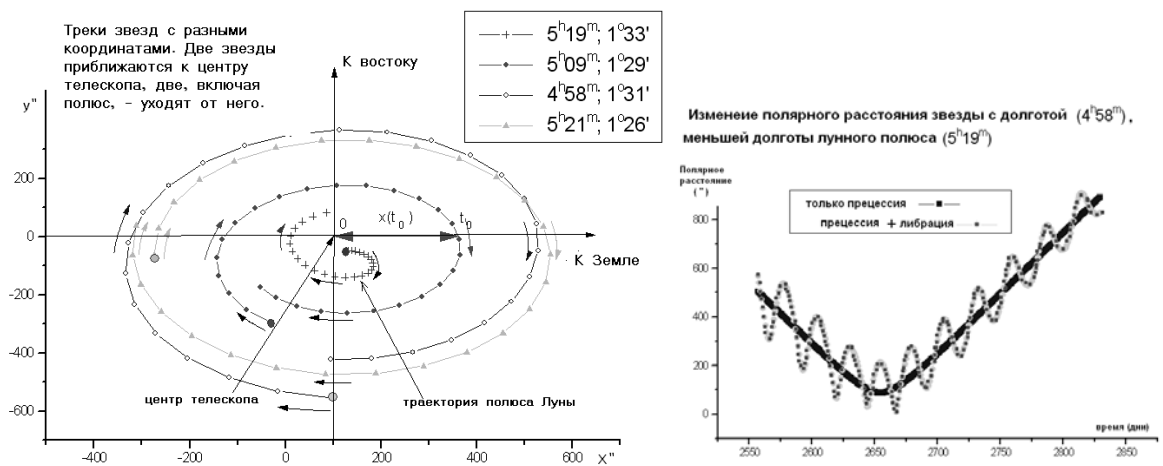


Рис. 5. а) треки звезд с разными эклиптическими долготами; б) изменение полярного расстояния для звезд, долгота которых меньше долготы полюса.

Параметры динамических моделей Луны, используемых для моделирования

| C/MR^2 | $\gamma \times 10^{-4}$ | $\beta \times 10^{-4}$ | $C_{30} \times 10^{-4}$ | $C_{31} \times 10^{-4}$ | $C_{32} \times 10^{-4}$ | $C_{33} \times 10^{-4}$ | $S_{31} \times 10^{-4}$ | $S_{32} \times 10^{-4}$ | $S_{33} \times 10^{-4}$ | |
|----------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---|
| 0,392 | 2,2737 | 6,3126 | -1,044 | 2,86 | 0,48 | 0,27 | 0,88 | 0,17 | -0,11 | 1 |
| 0,394 | 2,2788 | 6,3172 | -0,866 | 3,24 | 0,4869 | 0,173 | 0,467 | 0,1696 | -0,028 | 2 |
| 0,3932 | 2,27871 | 6,31486 | -0,866 | 3,24 | 0,4869 | 0,173 | 0,467 | 0,1696 | -0,028 | 3 |

1 – модель LURE2; 2 – модель, полученная из анализа лазерных данных [5]; 3 – модель, полученная по анализу данных LP [9] для второй гармоники селенопотенциала, параметры для третьей гармоники в модели (3) взяты из модели (2).

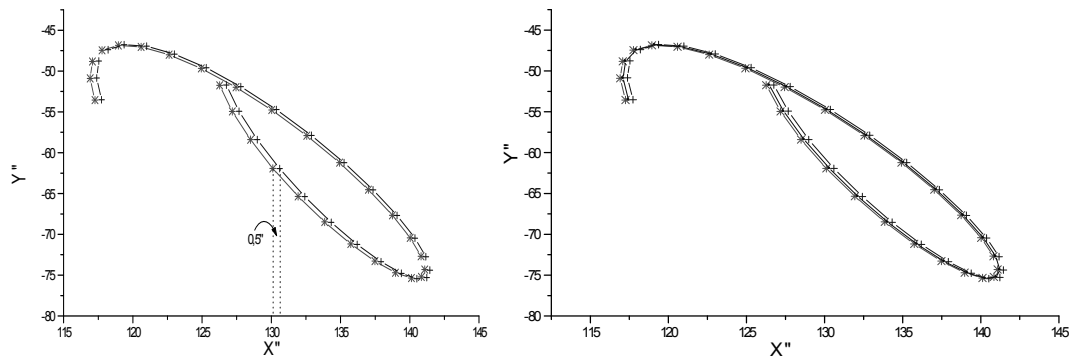


Рис. 6. Траектории звезды, рассчитанные для двух динамических моделей Луны (1) и (2) табл. 4 (слева) и для трех динамических моделей (1–3) (справа). Расщепление траекторий.

Заключение

Моделирование звездных треков для телескопа на поверхности Луны показало:

1. Физическая либрация вызывает общее смещение всех треков в направлении на Землю. Величина этого смещения зависит от качества динамической модели Луны. Тем самым открывается возможность через планируемые наблюдения уточнить параметры динамической модели.

2. Для других параметров динамической модели уточнение можно проводить по либрационным трекам, освобожденным от прецессионного движения полюса.

3. Характер суточного и годовичного движения звезд для наблюдателя на Луне описывается различного вида спиралями – закручивающимися и раскручивающимися – в зависимости от координаты звезды и лунного полюса.

Данные исследования получили поддержку в рамках Российско-Японского гранта RFFI-JSPS N 07-02-91212, (2007 – 2009 г.) и RFFI-JSPS N 09-02-92113, (2009-2010)

Литература

1. *Гусев А.В., Петрова Н.К.*, 2008, “Вращение, физическая либрация и внутреннее строение Луны”, Монография, Изд-во Казанск. гос. ун-та, Казань, 208 с.
2. *Araki et al.*, 2009, Lunar Global Topographic Map by the KAGUYA Laser Altimeter, Proc. of Int. Congress “ASTROKAZAN-2009”, Kazan, p. 164 -168.
3. *Bhandari N.*, 2005. J. Earth Syst. Sci. **114**, No. 6, pp. 701–709.
4. *Chen B., et al.*, 2009. Lunar gravity anomaly and the Moon evolution based on CE-1 topography data. Proc. of Int. Congress “ASTROKAZAN-2009”, Kazan, p. 138-142.
5. *Dickey et al.*, 1994, LLR: A continuing Legacy of the Apollo Program. Science. v.265. p. 482.
6. *Gusev A., Petrova N.*, 2008, The Moon-2012+: Spin-orbit evolution, geophysics and selenodesy of the Moon. Advances in Space Research, v. 42, p. 289-293.
7. *Gusev A., Kawano N., Petrova N.*, 2007, Investigation and exploration of the Moon: scientific achievements, fundamental problems, international perspectives, “Actual problems of aviation and aerospace systems: processes, models”, v.3 (25), Embry-Riddl (USA), p.94–111.
8. *Hanada et al.*, 2009, Different kinds of observation of Lunar Rotation and Gravity for SELENE-2. Proc. of Int. Congress “ASTROKAZAN-2009”, Kazan, p. 172-175.
9. *Konopliv A.S.; Binder A.B.; Hood L.L. et al.*, 1998, Science, v. 281, pp. 1476-1480.
10. *Kopeikin S., Pavlis E., Pavlis D., Brumberg V., Efroimsky M., Escape A., Getino J., Gusev A., Muller J., Petrova N., Ni W.-T.*, 2008. Prospects in the orbital and rotational dynamics of the Moon with the advent of sub-centimeter lunar laser ranging. Adv. Space Res. v.42, p.1-28.
11. *Namiki N., T. Iwata, K. Matsumoto et al.*, 2009, Farside Gravity Field of the Moon from Four-Way Doppler Measurements of SELENE (Kaguya), *Science*, v.323, pp. 900–905.
12. *Namiki N., Sugita S., Matsumoto K. et al.*, 2009, Comparative study of compensation mechanism of Lunar impact basins from new gravity field model of SELENE (Kaguya). Proc. of Int. Congress “ASTROKAZAN-2009”, Kazan, p. 184-191.
13. *Petrova N.*, 1996, Analytical extension of lunar libration tables. Earth, Moon, Planets. 73, 71-99.
14. *Petrova N., Gusev A.*, 2001, "New Trends in the Development of the Lunar Physical Libration Theory". Cel. Mech. Dyn. Astr. V. 80, No. 3/4. P. 215-225.
15. *Petrova N., Gusev A., Kawano N., Hanada H.*, 2008, Adv. Space Res., v. 42, p. 1398–1404.
16. *Petrova N., Gusev A., Hanada H., Kawano N.*, 2008, "Free librations of the two-layer Moon and the possibilities of their detection". Advances in Space Research, v. 42, p. 1398–1404.
17. *Williams J.G.*, 2001, Lunar rotational dissipation in solid body and molten core, JGR, 106, p.27, 933-27, 968.
18. *Williams J.G.*, 2007, A scheme for lunar inner core detection, Geophys. Res. Letters, v.34, L03202.
19. *Williams J.G., Boggs, D.H.*, 2009, Lunar core and mantle, What does LLR see? Proc. of 16th Int. Workshop on Laser Ranging, Oct. 13-17, 2008, Poznan, Poland, 18 pp.
20. *Wieczorek M.*, 2006, Constitution and structure of the lunar interior. New Views of the Moon, pp.221-364.

**INVESTIGATION OF THE LUNAR PHYSICAL LIBRATION
IN THE JAPANESE SPACE PROJECT ILOM**

Petrova N.^{1,2}, Gusev A.¹, Kawano N.³, Hanada H.³

¹Kazan State University, Russia

²Kazan Power Engineering University, Russia

³National Astronomical Observatory of Japan, Japan

A brief description of targets and problems of the future Japanese project ILOM, which is planned be realised in 2013-2014 years is given in the article. One of the important elements of the project is the placing of a small optical telescope on the Lunar surface with the purpose to detect the Lunar physical libration with unprecedented accuracy 0.001 arcsec. At the present stage of researches the development of computer simulation of the future observation is being done with the purpose of detection of the transition moments of a star through the prime meridian and of polar distance of the star at these moments. Rotation of the Moon is being calculated under the analytical theory developed in the Russian-Japanese grant. A list of stars brighter than 12^m, whose coordinates are close to the Lunar precession pole motion, was constructed on the basis of several star catalogues. Analyses of simulated stellar tracks observable from the Lunar surface (in a polar zone) revealed 1) sensitivity of the tracks to dynamical model of the Moon in a limit of 20-50 milliseconds of arc and 2) significant difference from daily parallels of stars in comparison with the Earth.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ЛИБРАЦИИ ЛУНЫ В ЯПОНСКОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОЕКТЕ, ОСНОВАННОМ НА МЕТОДЕ ОБРАТНОЙ РСДБ

Петрова Н.К.^{1,2}, Гусев А.В.^{1,2}, Кикичи Ф.³, Кавано Н.³, Ханада Х.³

¹Казанский государственный университет, Казань, Россия

²Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

³Национальная астрономическая обсерватория Японии, Мизусава, Япония

Введение

После успешного завершения первого этапа лунной космической миссии SELENE (Kaguya) – японские исследователи [1-2] планируют второй этап лунной космической миссии – SELENE II, включающий наблюдения как в окололунном пространстве, так и с поверхности Луны. Физическая либрация Луны (ФЛЛ) является одним из главных объектов наблюдений в будущем проекте. Для этой цели помимо проекта ILOM [7], планировался так называемый эксперимент Inverse VLBI (Обратная РСДБ), состоящий в следующем. На видимой стороне Луны предполагается установить два посадочных модуля – радиомаяки. Для краткости будем называть их «модулями». Для корректировки их местоположения будет использован низкоорбитальный спутник (Рис. 1). Предполагается, что один модуль (Ландер) займет фиксированное положение на поверхности, а второй – Ровер (передвижной аппарат) – будет перемещаться относительно Ландера на определенном расстоянии. Сложности обеспечения мягкой посадки аппаратов не позволяют делать их слишком тяжелыми. Поэтому запасы топлива для обеспечения передвижения и, главное, - для трансляции радиосигналов, предполагаются небольшими, достаточными для их работы *не более 1 месяца* и передвижения Ровера *не более чем на 1 км* от Ландера и не дольше, чем 1 месяц работы.

Успешный опыт применения метода дифференциальной РСДБ в проекте SELENE (Kaguya) [3] вдохновил японских исследователей использовать его в эксперименте I-VLBI. Предполагается, что оба радиомаяка будут одновременно посылать радиосигналы, которые будут приниматься на Земле несколькими антеннами. Разность расстояний Ландер – Земля и Ровер – Земля, измеряемая методами РСДБ, может быть получена с высокой точностью 0,1–0,3 мм. В рамках российско-японского гранта перед российской стороной была поставлена задача - оценить перспективы данного эксперимента для повышения точности наблюдений углов физической либрации Луны. Другими словами, необходимо оценить, как оптимально разместить радиомаяки на видимой стороне Луны и достаточно ли расстояния в 1 км между ними, чтобы получить миллисекундную точность в углах ФЛЛ.

1. Постановка проблемы

Схема эксперимента представлена на рис. 1. Разность расстояний ΔL между модулями и наземной антенной будет измеряться с точностью 0,1–0,3 мм в зависимости от частоты радиосигнала. На рис. 2 модули показаны в системе лунного экватора и первого меридиана. В простейшей геометрической интерпретации представлены углы физической либрации по долготе - τ и широте - ρ . Нами были проанализированы две конфигурации модулей: Ландер находится ближе к центру лунного диска, а Ровер – а) или на экваторе, или б) на большей широте в районе первого меридиана. Задача заключается в том,

чтобы определить зависимость углов либрации от величины $\Delta L = RE - LE$ и найти погрешность в либрационных углах от погрешности в определении ΔL .

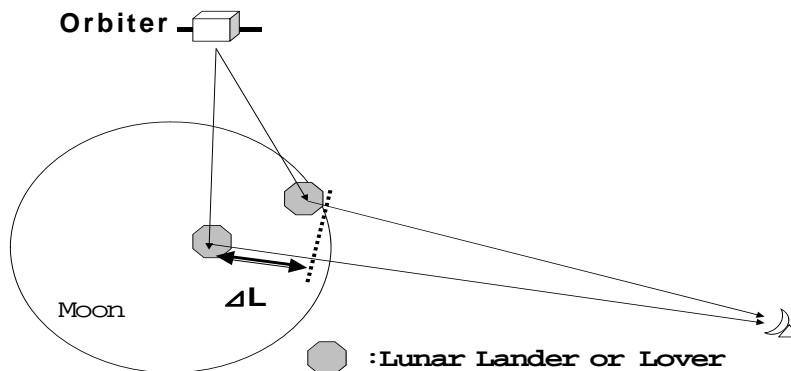


Рис. 1. Предполагаемое расположение радиомаяков на Луне.

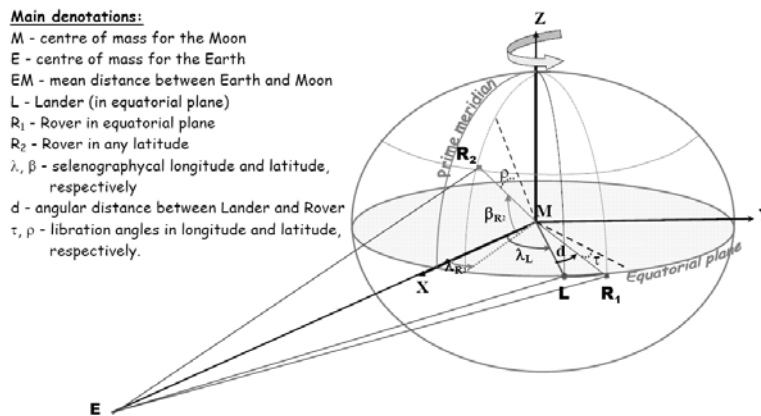


Рис. 2. Различные конфигурации системы Ландер (L) – Ровер (R) относительно лунного экватора и первого меридиана.

2. Приближенная модель эксперимента

Для упрощения задачи нами были сделаны следующие предположения.

- Предполагаем, что Луна движется по *круговой орбите* с полуосью $a = 378000$ км. Это предположение избавляет модель от оптической либрации.
- На данном этапе приближения мы не рассматриваем суточный параллакс и вращение Земли, т.е. предполагается, что принимающая антенна жестко связана с линией EM. Эти эффекты усложняют модель в плане математического описания, но не влияют на оценку точности углов ФЛЛ.
- Вводим систему координат (Рис. 2), ось X которой направлена вдоль EM - среднего направления на Землю, ось Z направлена вдоль оси вращения, а ось Y образует правостороннюю систему координат. Фактически, описанная система координат соответствует системе Кассини, которая равномерно вращается, отслеживая направление на Землю. Тело же Луны, а соответственно, и расположенные на ней посадочные модули, будут менять свое положение в выбранной системе вследствие либрации. Отклонение вращения Луны от равномерного может быть описано двумя углами - τ и ρ, представляющие либрационные углы по долготе и широте. Численное значение этих углов можно оценить на любой момент по теории ФЛЛ, мы использовали теорию [5].
- Мы пренебрегаем несферичностью Луны и предполагаем, что $ML = MR = R = R_{Moon} = 1738$ км.

– Расстояние между Ландером и Ровером (максимум 1 км) мало по сравнению с радиусом Луны, поэтому дуга $\cup LR$ может рассматриваться, как прямая LR . Тогда угловое расстояние между L и R можно оценить по формуле:

$$d \approx \sin d = \frac{LR}{R} \approx 6 \cdot 10^{-4}$$

и рассматривать величину d параметром. Угол либрации τ - тоже малая величина, его максимально возможное значение 125 секунд дуги или, в радианах, $\sim 6 \cdot 10^{-4}$ [6]. И, наконец, отношение $\xi = \frac{R}{a} \approx 5 \cdot 10^{-3}$ - еще один малый параметр задачи. Эти оценки позволяют упростить математическое описание задачи, применяя разложение сложных функций по степеням малых величин.

Геометрическая картина для долготной и широтной либрации с учетом сделанных предположений будет одинакова, а следовательно, и ход математических рассуждений и оценок будет аналогичен для обоих типов либрационных колебаний. Поэтому мы ограничиваемся рассмотрением только либрации в долготе.

3. Математическое описание задачи

Рассмотрим случай, когда Ландер и Ровер находятся в плоскости лунного экватора. Проекция системы на экватор представлена на Рис. 3, где и введены основные обозначения. λ - долгота Ландера относительно первого меридиана. d – разность долгот между Ландером и Ровером.

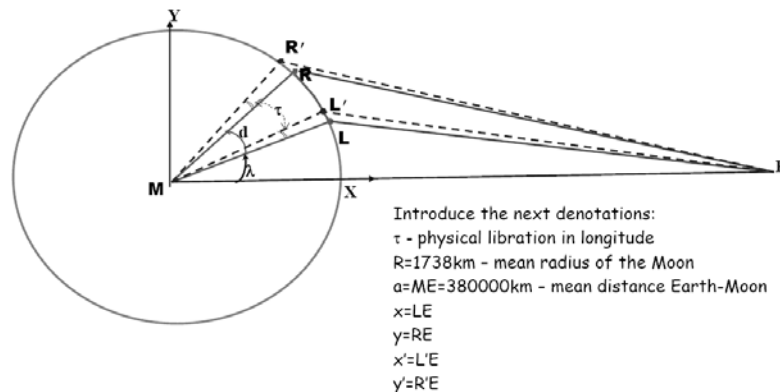


Рис. 3. Смещение системы Ландер – Ровер ($L R$) вследствие либрации τ

Вследствие либрации τ в каждый момент времени система точек (L' , R') смещается относительно первоначального положения (L , R). Рассматривая геометрию треугольников $\triangle MLE$, $\triangle MRE$, $\triangle ML'E$, $\triangle MR'E$ и используя разложения по малым величинам (см. [6]), мы получили искомую зависимость между разностью расстояний ΔL и либрационным углом τ :

$$\Delta L = d \cdot R [A(\lambda) + B(\lambda, d) + \tau(\cos \lambda + r \cos 2\lambda)], \quad (1)$$

где

$$A(\lambda) = \sin \lambda + \frac{1}{2} r \sin 2\lambda + r^2 \left(\frac{1}{2} \sin^2 \lambda - \cos^2 \lambda \right) \text{ и } B(\lambda, d) = \frac{1}{2} d \cos \lambda + d \cdot r \left(\frac{1}{2} \cos^2 \lambda - \sin^2 \lambda \right).$$

Из соотношения (1) мы можем видеть, что разность ΔL зависит от либрации τ только для малых долгот λ . Для крайних зон коэффициент в скобках при τ стремится к

r , т.е. очень мал. Поэтому расположение модулей в краевой зоне для определения либрации нецелесообразно.

Выполнив обратное преобразование, получим зависимость τ от ΔL :

$$\tau = \frac{\left[\frac{\Delta L}{d \cdot R} - A(\lambda) - B(\lambda, d) \right]}{\cos \lambda + r \cos 2\lambda} \quad (2)$$

Погрешность $\delta\tau$ может быть определена вариацией полученного соотношения. При этом полагаем, что долгота λ известна точно: $\delta\lambda = 0$, так в данном случае важна не абсолютная величина долготы модулей, а их разность и небольшие погрешности в оценке долготы вблизи первого меридиана не влияют на результат. Таким образом, оценить погрешность $\delta\tau$ можно по формуле:

$$\delta\tau(\delta\Delta L, \delta d, \lambda) = \frac{1}{\cos \lambda + r \cos 2\lambda} \left[\frac{\delta\Delta L}{d \cdot R} - \frac{\Delta L}{d^2 \cdot R} \delta d - \frac{1}{2} \cos \lambda (1 - r \cos \lambda) \delta d \right] \quad (3)$$

Формула три показывает, как зависит погрешность оценки ФЛЛ от погрешности в измерении ΔL и базы d . Очевидно, что при уменьшении расстояния между Ландером и Ровером погрешность в либрации возрастает.

Численные оценки по формуле (3) для заданного расстояния $d = 1$ км показали, что при погрешности $\delta\Delta L = 0.3 \text{ мм} = 3 \cdot 10^{-7}$ км величина ΔL может достигать ~ 1 метра для зоны первого меридиана, порядка 700 метров - для средних долгот, и 1 км - для краевой зоны. А величина погрешности в либрации возрастает от 60 миллисекунд дуги для центральной части до 80 миллисекунд - для средних долгот, и до 12 секунд - для краевой зоны.

Заключение

При запланированной точности 0,3 мм определения разности хода радиолучей между двумя радиомаяками в методе I-VLBI, удаленными друг от друга не более чем на 1 км не позволит определить физическую либрацию с точностью большей, чем 60 миллисекунд. Чтобы улучшить качество эксперимента до 1 миллисекунды, необходимо разнести модули, как минимум, на 60 км, что не позволяют сделать технические возможности эксперимента на данный момент. Поэтому, японские исследователи пришли к выводу, что организовывать подобный эксперимент для Луны нецелесообразно. Однако есть возможность, и она сейчас активно изучается в национальной астрономической обсерватории Японии, организовать подобный эксперимент для Марса [2].

Литература

1. Hanada et al., 2009, Different kinds of observation of Lunar Rotation and Gravity for SELENE-2. Proc. of Int. Congress "ASTROKAZAN-2009", Kazan, p. 172-175
2. Kikuchi F., T. Iwata, N. Kawano, S. Sasaki, and Q. Liu, (2009) Applications of VLBI technique for lunar and Mars exploration. Abstracts of the General Assembly EGU2009, Vienna, Austria, 19-24 April, 2009. EGU2009-4930
3. Kikuchi, F., et al. (2009), Picosecond accuracy VLBI of the two subsatellites of SELENE (KAGUYA) using multifrequency and same beam methods, Radio Sci., 44, RS2008, doi:10.1029/2008RS003997.
4. Gusev A. and N. Petrova (2009) Estimation of the Lunar physical libration accuracy in the Japanese Lunar Space project based on Inverse VLBI. Abstracts of the General Assembly EGU2009, Vienna, Austria, 19-24 April, 2009. EGU2009-1161

5. *Petrova N.* (1996) Analytical theory of physical libration. *Earth, Moon and Planets*, v. 73, No 1, p. 71-99.
6. *Petrova N., Gusev A., Kawano N., Kikuchi F., Hanada H.* (2009) Radio-beacons on the Moon - Inverse VLBI - and estimation of the Lunar physical libration accuracy in Japanese space experiment Proc. of Int. Congress "ASTROKAZAN-2009", Kazan, p. 202 -206.
7. *Петрова Н.К., Гусев А.В., Кавано Н., Ханата Х.* (2009) Исследование физической либрации луны в японском космическом эксперименте ILOM. (настоящий выпуск)

MODELLING OF THE MEASUREMENTS OF LUNAR PHYSICAL LIBRATION IN THE JAPANESE SPACE PROJECT BASED ON THE INVERSE-VLBI.

Petrova N.^{1,2}, Gusev A.^{1,2}, Kikuchi F.³, Kawano N.³, Hanada H.³

¹*Kazan State University, Russia*

²*Kazan Power Engineering University, Russia*

³*National Astronomical Observatory of Japan, Japan*

After successful realization of the first stage of the Lunar space mission SELENE - Kaguya the Japanese researchers plan to carry out the second stage of the mission SELENE II, including observations in the near surface space and on the surface of the Moon. One of these experiments propose to place two landers – Lander and Rover – on the Lunar near side and to launch one Orbiter on the low Lunar orbit. The Rover will be able to move around the Lander on the certain distance. The difference of the distances Lander – Earth and Rover – Earth will be assumed to be measured by the methods of Inverse VLBI: radio-signal from the Lander and the Rover will be sent to Earth antenna. The expected accuracy in measuring of difference distances between Landers and Earth will be ~ 0.1-0.3 mm. Estimation of the accuracy of the physical libration angles was done for various location and configuration of the Lander and Rover. If the base line between Lander and Rover will be no more than 1 km, then only accuracy of 60 msec of arc will be achieved in the determination of libration angles. To improve the accuracy will be possible by expansion of line base between landers.

РЕКОНСТРУКЦИЯ АСТРОГРАФИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ «ФАНТАЗИЯ» (технический аспект)

**Поляков Е.В.¹, Гинзбург Э.С.², Канаев И.И.¹, Патютко Н.Д.²,
Стрелецкий Ю.С.¹, Шумахер В.А.¹**

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

²НПО «Точприбор», г. Новосибирск

Введение

Выполнена коренная реконструкция Пулковской астрографической измерительной машины "Фантазия". Применение новейших измерительных элементов и высокотехнологичных электронных компонентов позволило полностью изменить схему изделия. Общий вид машины до [1] и после реконструкции представлен на рис. 1 и 2 соответственно. Схема её компоновки и установки дана на рис. 3.

Замене подлежали системы позиционирования и сканирования. Разработанная измерительная схема позволила не только исключить большинство источников ошибок, присущих прежней конструкции, но и перейти к непосредственному измерению и учету реакции каретки с пластинкой на тепловой режим изделия.

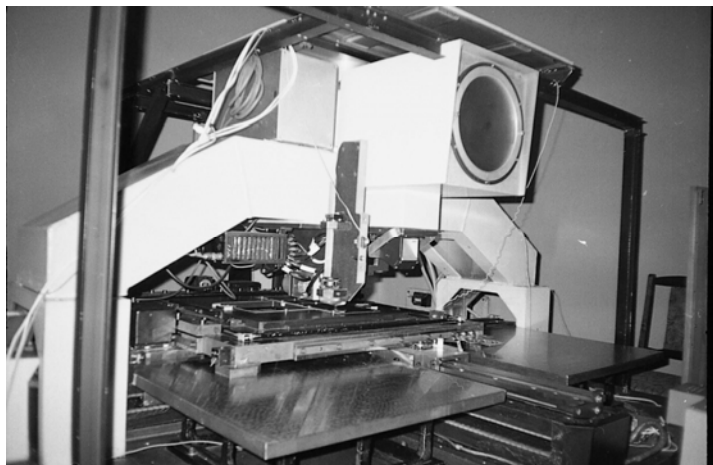


Рис. 1.

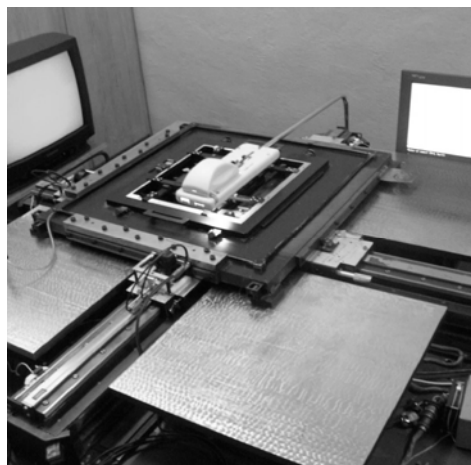


Рис. 2.

В результате реконструкции установки улучшились ее метрологические и временные характеристики. Точность позиционных измерений повысилась в 3 раза и составила 0.1 микрона, скорость оцифровки изображений возросла в десятки раз. Повысилась надежность установки. В настоящее время машина работает в режиме опытной эксплуатации, наряду с выполнением измерений пластинок осуществляется тестирование систем изделия, разработка матобеспечения на основе новых появившихся возможностей и его отладка.

До 2005 года проект выполнялся при финансовой поддержке Министерства науки РФ, грант 01-54 «Координатно-измерительная астрографическая машина "Фантазия"».

Система позиционирования

Подвижная часть установки состоит из стальной каретки, по двум сторонам которой закреплены высокоточные ортогональные направляющие. Каретка приводится в движение посредством линейных электродвигателей и перемещается на аэростатиче-

ских подшипниках с воздушной прослойкой 5-7 микрон над столом, состоящим из четырёх плит размером 500×500 мм² каждая, выполненных из нержавеющей немагнитной стали. На каретке крепится дюралюминиевая кассета, в которую устанавливаются фотопластинки. Общая масса каретки с кассетой составляет 70 кг. Перемещения и изменение положения каретки осуществляется системой позиционирования.

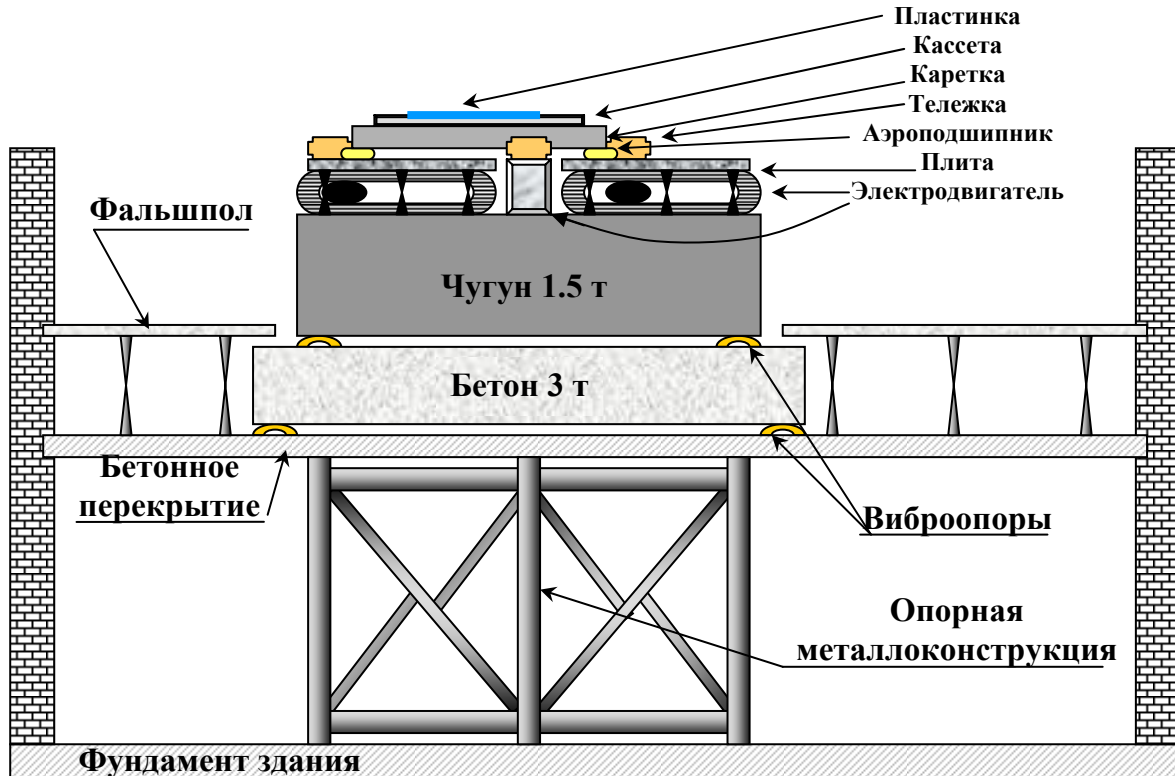


Рис. 3

Реконструкция системы позиционирования заключалась в замене двухосевого лазерного интерферометра, состоящего из лазера, набора зеркал, призм, угловых отражателей и блока подсчета импульсов, системой, основанной на миниатюрных позиционных бесконтактных энкодерах RGH24, RGH25 и интерполяторах RGF0200H фирмы Renishaw [2]. Блок управления движением выполнен на микроконтроллерах LM-628 фирмы National Semiconductor (США) [3]. Благодаря переходу на современные комплектующие общий вес новой системы позиционирования снизился с 80 до 0.8 кг, упростились процедуры наладки и юстировки системы от уровня искусства до рутинных операций. Время наработки на отказ увеличилось с 2-3 суток до 1-1.5 лет.

Основные параметры датчика:

| | | |
|-------------------------------------|--------|--------------|
| Точность измерения | | 0.1 мкм |
| Максимальная скорость | | 100 мм/с |
| Допускаемый продольный рельеф шкалы | | ± 0.1 мм |
| Габариты головки датчика: | длина | 36 мм |
| | высота | 14.8 мм |
| | ширина | 13.5 мм |
| Масса (г) | | 11 г |
| Кабель | | 5 м |

Схема позиционных измерений содержит 5 позиционных датчиков (энкодеров). Два из них устанавливаются по осям X, Y, и на основании их показаний осуществляется управление движением каретки и измерение положения её в режиме удержания (покоя). Ещё один датчик устанавливается по одной из осей в дополнение к основному для измерения углового люфта в позиционировании каретки. Разность показаний основного и вспомогательного датчиков представляет собой сумму двух слагаемых, первое из которых обусловлено непрямолинейностью направляющей, второе возникает из-за углового люфта каретки (поворота её на малый угол относительно оси движения), связанного с невозможностью обеспечить строго плоско-параллельный перенос каретки. В отличие от ошибок за непрямолинейность, имеющих постоянный характер и определяемых заранее в процессе исследования измерительной установки, люфт каретки - явление изменчивое и случайное, зависящее от многих причин: положения центра масс каретки относительно движителей, скорости и направления движения каретки, натяжения тросиков и их микроизгибов, эксцентриситета шкивов и т.п. После введения поправок за непрямолинейность разность показаний двух датчиков даст величину поворота каретки. При базе 20.6 мм между датчиками поворот на одну угловую секунду даст разность ~0.1 микрон (проект пока не реализован).

Остальные два датчика используются для измерения линейного температурного расширения каретки. Как уже упоминалось, каретка изготовлена из стали, кассета, в которую устанавливается пластинка, - из алюминия, пластинка может иметь различные размеры и располагаться на различном удалении от направляющих. Коэффициент линейного теплового расширения стали составляет $11-14 \cdot 10^{-6}$, т.е. 11-14 микрон на метр-градус, алюминия - 22-25 мкм/(мград), стекла 7-9. Коэффициенты теплопроводности металлов различаются в 4-5 раз (сталь 70-80, алюминий 320-340 Вт/мК), о стекле говорить не приходится (0.7-1.3 Вт/мК). В процессе работы измерительной машины температура всей этой многокомпонентной системы не остается постоянной и зависит от разных причин: от температуры воздуха в помещении, от передачи тепла через металлы, от теплового излучения двигателей, а нагрев последних зависит от интенсивности движений и длины перемещений и т.д. Исходя из сказанного следует, что интегральная "температурная" ошибка может достигать 3 микрон на один градус (200-300 мм стали + алюминия между датчиком и краем пластинки). Причем, ход этой ошибки имеет сложный нелинейный характер, а коэффициенты температурного расширения металлов конструкции нам точно не известны. При таких условиях непосредственное измерение температурного расширения-сжатия подвижной конструкции оказывается необходимым для реализации точностного потенциала позиционных датчиков.

Для достижения этой цели на поверхности стальной каретки укрепляется ситалловая полоска (коэффициент расширения $0.05 \cdot 10^{-6} (\text{м}^\circ\text{К})^{-1}$, т.е. практический нуль для обсуждаемой задачи) с наклеенной на нее мерной лентой датчика. Полоска крепится по типу "защемленной подвижной опоры": один конец фиксируется на краю каретки со стороны направляющей по нормали к ней, другому - оставлена свобода движения вдоль продольной оси. Головка датчика крепится к кассете на уровне края пластинки. Перед измерением очередной пластинки датчик обнуляется, в процессе работы измеряется интегральное изменение линейных размеров системы *каретка + кассета = сталь + алюминий* в точке крепления головки датчика. После этого останется неизвестным только влияние расширения стекла на результат измерений, которое, при характерных размерах пластинки, не превышает 0.3-0.5 микрона на градус.

Результат измерения положения объекта исправляется путем введения поправок за неортогональность и непрямолинейность направляющих, за перекосяк и расширение каретки.

Система сканирования

Реконструкция системы сканирования также заключалась в переходе на современные комплектующие. Новая система сканирования полностью отличается от прежней: вместо пары - высокоточного источника освещения (ЭЛТ с управляемым перемещением луча) и интегрального светоприемника (ФЭУ) используется пара из интегрального осветителя (слайд-модуля) и высокоточного светоприемника (КМОП-камеры), вместо верхнего расположения высокоточной компоненты (ЭЛТ) сканирующей пары выбрано нижнее (камера устанавливается под пластинкой). Изменился и внешний вид установки – исчезла массивная (140 кг) и габаритная конструкция (рис. 1, 2), появился доступ к линейным электродвигателям и другим узлам машины, затрудненный ранее. Надежность и стабильность камер позволили обеспечить бесшумную работу системы. Улучшились условия для работы операторов, что снизило риск повреждения пластинок.

В настоящее время система сканирования включает в себя две камеры: обзорную ПЗС камеру WAT-704 [4] с полем зрения $60 \times 40 \text{ мм}^2$ и измерительную КМОП-камеру EVS-535 [5] с полем $6 \times 4 \text{ мм}^2$. Обе камеры встроены в единую дюралевую платформу, установленную в центре стола под осветителем $80 \times 60 \text{ мм}^2$ (рис. 4). Обзорная камера предназначена для отождествления пластинки с каталогом и привязки системы координат пластинки к системе измерительной машины. Посредством измерительной камеры осуществляется сплошная или экстрагированная (избранных фрагментов изображения) оцифровка фотопластинки [6].



Рис. 4

Основные параметры камер:

| Характеристика | WAT-704 | EVS-535 |
|-----------------------------|-------------------|--------------|
| Светоприемник | ПЗС-матрица | КМОП-матрица |
| Размер матрицы (pix) | 537×597 | 2592×1944 |
| Размер пиксела (мкм) | 7.3×4.7 | 2.75×2.75 |
| Размер матрицы (мм) | 3.9×2.8 | |
| Поле обзора (мм) | 60×40 | 7.1×5.3 |
| Оптическое разрешение (dpi) | 210(X), 360(Y) | 9240 (X, Y) |
| Скорость передачи данных | ~ 200 Kpx/s | 2.5 Mpx/s |
| Размеры корпуса (мм) | 18(Ø)×37 | 50×50×75 |
| Масса | 25 | 150 |
| Напряжение (v) | 9.0-9.9 (адаптер) | 5 (USB) |
| Потребляемый ток (мА) | 110 | 280 |

Предусматривавшуюся проектом независимую систему координат, совместную для систем сканирования и позиционирования, реализовать пока не удалось, но из планов эта задача не исключена. Суть её в следующем: предлагается компоновка светоприемников и позиционных датчиков на единой ситалловой конструкции, нейтральной к тепловому воздействию. Это позволит создать опорную систему координат, независимую от поведения связной совокупности разнородных металлических деталей, составляющих "Фантазию". Конструкция представляет собой квадратную платформу размером 220×220 мм и толщиной 40 мм с отходящими от нее двумя взаимно перпендикулярными парами лучей 400×20×4 мм. Объединение систем сканирования и позиционирования на общей площадке, обладающей высокими стабильностью и автономностью, исключает всю совокупность источников случайных ошибок, связанных с тепловыми деформациями металлоконструкций. Железо может "плыть" как угодно, расширяясь, выгибаясь, заворачиваясь вокруг ситалловой конструкции, все это, как представляется, не окажет влияния на состояние опорной системы координат. При такой схеме единственным ненадежным звеном между системой координат и изображением на пластинке окажется каретка с установленной на ней кассетой. Решение этой задачи представлено выше в разделе «система позиционирование».

Блок подготовки воздуха

Обеспечение аэростатических подшипников воздухом в течение длительного времени была одной из самых трудозатратных операций. Характеристики подшипников и условия работы с фотопластинками предъявляли жесткие требования к чистоте рабочего тела: сжатый газ должен быть очищен от масла, влаги и твердых примесей вплоть до субмикронных размеров. Доступных компрессоров и фильтров, позволяющих готовить столь стерильный воздух, в 80-ч – 90-ч годах не было. Приходилось покупать на специализированном предприятии и доставлять еженедельно до 40 баллонов сжатого азота. Погрузка-разгрузка 80-килограммовых баллонов, работа с газом под давлением 150 атмосфер, недостаток кислорода в операционном зале превращали измерительную лабораторию в предприятие с опасными условиями труда.

Однако к началу реконструкции «Фантазии» компактные безмасляные компрессоры, линейки фильтров и другое газовое оборудование появилось в продаже, что позволило разработать и реализовать проект создания автоматизированного блока подготовки воздуха. В состав блока входят два компрессора, баллонный ресивер на 350 литров, радиатор охлаждения, линейка из четырех фильтров последовательных степеней очистки, пневмореле, газораспределительная и подающая системы. В аэроподшипники поступает воздух высокой очистки под давлением 2.7 атмосфер, давление в сети - 8 атм. Процесс подготовки и подачи воздуха полностью автоматизирован с учетом возможных аварийных ситуаций. Время наработки на отказ – более года. Наличие достаточного количества стерильного сжатого воздуха позволяет планировать в дальнейшем применение его для обдува пластинки в поле зрения камеры для удаления случайных пылинок во время её оцифровки.

Матобеспечение

Описание состава и характеристик пакетов программ для оцифровки, обработки, визуализации, измерения выходит за рамки обсуждаемой темы. Частично сведения о разработанном матобеспечении можно получить из [7].

Заключение

Коренная реконструкция измерительной машины «Фантазия» способствовала достижению следующих целей:

1. Возвращению изделия на утраченную было позицию в ряду прецизионных измерительных установок мирового уровня.
2. Освоению новейших измерительных средств ведущих фирм мира, продвижению и внедрению их в практику астрономического приборостроения.
3. Подготовке измерительной машины «Фантазия» к выполнению программы оцифровки с высоким разрешением всего материала Пулковской стеклотеки.

Указанные задачи выполнены, за некоторым исключением, связанным с объективными причинами.

Литература

1. Поляков Е.В., Герасимов А.Г., Пикин Ю.Д., Савастеня А.В., Соколов А.В. Координатно-измерительная машина "Фантазия" для автоматического измерения положений звезд на астрографических установках. Измерительная техника, № 4, М., 1994.
2. LM628/LM629 Precision Motion Controller, http://www.eurotech.fi/products/manuals/lm629_datasheet.pdf
3. Бесконтактные энкодеры RENISHAW [http://resources.renishaw.com/download/\(fd219a601a7d48029567686a4300c8d0\)?lang=ru&inline=true](http://resources.renishaw.com/download/(fd219a601a7d48029567686a4300c8d0)?lang=ru&inline=true)
4. WAT-704 Monochrome camera http://www.soling.ru/files/ie/4_49_FILE_704R_spec_eng.pdf
5. Мегапиксельные телевизионные камеры ЭВС <http://www.evs.ru/prod.php?gr=6>
6. Поляков Е.В., Канаев И.И., Канаева Н.Г., Пугач Т.Н. ЭКЗИП – Электронная Коллекция Звездных Изображений Пулковской стеклотеки. Изв. ГАО РАН, № 216, СПб, 2003, с. 157-169.
7. Ананьевская Ю.К., Поляков Е.В., Фролов В.Н., Цветков М.К. – Обработка и измерение фотопластинок с рассеянными скоплениями на измерительной машине «Фантазия». Наст. сборник, с. 21-26.

RECONSTRUCTION OF THE ASTROGRAPHIC MEASURING MACHINE

**Poliakow E.V.¹, Ginsburg E.S.², Kanaev I.I.¹, Pat'utko N.D.²,
Streletsky Yu.S.¹, Shumakher A.V.¹**

¹*Pulkovo Observatory, Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia*

²*SPA 'Tochpribor', Novosibirsk, Russia*

Radical reconstruction of the astrographic measuring machine 'Fantasy' is executed. Application of the newest measuring elements and hi-tech electronic components has allowed to change the scheme of the unit completely and improve its technical characteristics.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ КООРДИНАТ РАДИОИСТОЧНИКОВ ПО РЯДАМ ИХ СУТОЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Попова Е.А.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Для большого числа радиоисточников их координаты, оцененные по данным суточных сессий РСДБ наблюдений, обнаруживают значительные систематические изменения. Эти изменения координат могут быть интерпретированы как индивидуальные видимые движения, в основном вызванные изменением структуры источников, а также как реальные собственные движения, вызванные различными физическими причинами. В работе сделана попытка получить систематическую часть собственных движений источников. Временные ряды координат предоставлены несколькими центрами анализа IVS в рамках проекта ICRF-2. В результате было получено и проанализировано поле скоростей нескольких сотен источников.

Систематическая часть собственных движений источников должна отражать, в частности, эффект абберации, обусловленный движением Солнца в Галактике. С другой стороны, различные космологические эффекты также могут привести к систематическому изменению видимых положений источников. Определение красных смещений для квазаров, отождествленных в оптическом диапазоне, и переход от собственных движений к расстояниям дает возможность построить зависимость «расстояние – красное смещение», которая характеризует динамику расширения Вселенной. Таким образом, изучение собственных движений квазаров может быть полезным для исследований в области космологии.

Существует несколько способов анализа собственных движений радиоисточников:

1. Оценка положений и скоростей из глобального решения и аппроксимация скоростей сферическими гармониками
2. Вычисление коэффициентов сферических гармоник как глобальных параметров
3. Вычисление скоростей радиоисточников из временных рядов их положений и последующая аппроксимация поля скоростей сферическими гармониками

В данной работе мы применяем последний подход. Для анализа мы использовали скорости радиоисточников, полученные ранее из обработки рядов координат, представленных центрами анализа IVS в рамках проекта ICRF2 (Malkin и Popova, 2009). В табл. 1 представлена краткая статистика используемых данных: имена центров, временной интервал и число источников.

Поле скоростей может быть разложено в ряд по сферическим функциям:

$$F(\alpha, \delta) = \mu_\alpha \cos \delta \overline{e_\alpha} + \mu_\delta \overline{e_\delta} = \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=-l}^l \left(a_{l,m}^E \overline{Y_{l,m}^E} + a_{l,m}^M \overline{Y_{l,m}^M} \right), \quad (1)$$

где $\overline{Y_{l,m}^E}$ и $\overline{Y_{l,m}^M}$ «электрическая» и «магнитная» гармоники, $\overline{e_\alpha}$ $\overline{e_\delta}$ – единичные направляющие векторы.

$$\begin{aligned} \overline{Y_{l,m}^E} &= \frac{1}{\sqrt{l(l+1)}} \left(\frac{\partial V_{l,m}}{\partial \delta} \overline{e_\alpha} + \frac{\partial V_{l,m}}{\partial \alpha \cos \delta} \overline{e_\delta} \right) \\ \overline{Y_{l,m}^M} &= \frac{1}{\sqrt{l(l+1)}} \left(\frac{\partial V_{l,m}}{\partial \alpha \cos \delta} \overline{e_\alpha} - \frac{\partial V_{l,m}}{\partial \delta} \overline{e_\delta} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

Таблица 1.

| Серии | Временной интервал | | Количество источников |
|---------|--------------------|------|-----------------------|
| | 1980 | 2008 | |
| aus005a | 1980 | 2008 | 339 |
| aus006a | 1980 | 2008 | 493 |
| bkg000c | 1984 | 2007 | 794 |
| dgf000a | 1984 | 2007 | 425 |
| dgf000b | 1984 | 2007 | 624 |
| dgf000c | 1984 | 2007 | 624 |
| dgf000d | 1984 | 2007 | 624 |
| dgf000e | 1984 | 2007 | 624 |
| dgf000f | 1984 | 2007 | 680 |
| dgf000g | 1984 | 2007 | 680 |
| gsf001a | 1979 | 2007 | 742 |
| gsf003a | 1979 | 2008 | 781 |
| gsf004a | 1979 | 2008 | 32 |
| gsf004b | 1979 | 2008 | 32 |
| iaa000b | 1979 | 2007 | 540 |
| iaa000c | 1979 | 2007 | 569 |
| iaa001b | 1979 | 2008 | 600 |
| iaa001c | 1979 | 2008 | 617 |
| mao000b | 1980 | 2007 | 773 |
| mao006a | 1979 | 2008 | 804 |
| opa000a | 1984 | 2007 | 507 |
| opa000b | 1984 | 2008 | 645 |
| opa001a | 1984 | 2007 | 519 |
| opa002a | 1984 | 2008 | 596 |
| sai000b | 1984 | 2008 | 640 |
| sha006a | 1979 | 2008 | 774 |
| usn000d | 1979 | 2007 | 728 |
| usn001a | 1979 | 2007 | 728 |

где $V_{l,m}$ – сферические функции:

$$V_{l,m}(\alpha, \delta) = (-1)^m \sqrt{\frac{(2l+1)(l-m)!}{4\pi(l+m)!}} P_l^m(\sin \delta) \exp(im\alpha) \quad (3)$$

где P_l^m – присоединенные функции Лежандра.

Электрическая гармоника $L = 1$ связана с вектором центростремительного ускорения \overline{A} Солнечной системы в Галактике (MacMillan, 2005):

$$\overline{a} = \frac{\overline{A}}{c} = (a_1^1, a_1^{-1}, a_1^0) \quad (4)$$

где c – скорость света, а \overline{A} – ускорение барицентра Солнечной системы. Записывая разложение (1) для первой «электрической» гармоники в явном виде, получим выражения для собственных движений:

$$\begin{aligned} \mu_\alpha \cos \delta &= -a_1^1 \sin \alpha + a_1^{-1} \cos \alpha \\ \mu_\delta &= -a_1^1 \cos \alpha \sin \delta - a_1^{-1} \sin \alpha \sin \delta + a_1^0 \cos \delta \end{aligned} \quad (5)$$

Из системы уравнений (5) методом наименьших квадратов могут быть определены коэффициенты a_1^1, a_1^{-1}, a_1^0 , величина и направление (α_0, δ_0) вектора \overline{a} – направление не центр Галактики.

$$\begin{aligned} a_1^1 &= |\overline{a}| \cos \alpha_0 \cos \delta_0 \\ a_1^{-1} &= |\overline{a}| \sin \alpha_0 \cos \delta_0 \\ a_1^0 &= |\overline{a}| \sin \delta_0 \end{aligned} \quad (6)$$

В табл. 2 приведены результаты вычислений для различных центров анализа и для среднего поля скоростей.

Корреляционная матрица коэффициентов, полученных для среднего поля скоростей:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0.22 & -0.03 \\ 0.22 & 1 & 0.03 \\ -0.03 & 0.03 & 1 \end{pmatrix}$$

Полученное поле, соответствующее коэффициентам, вычисленным для средних скоростей, показано на рис. 1.

Таблица 2

| | a_1^1 | a_1^{-1} | a_1^0 | a | δ_0 | α_0 |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|------------|--------------|--------------|
| aus005a | 0.03 ±0.04 | -0.21 ±0.03 | -0.34 ±0.43 | 0.40 ±0.40 | -58.19 ±1.2 | 278.85 ±0.8 |
| aus006a | -0.01 ±0.03 | -0.01 ±0.03 | 0.84 ±0.32 | 0.84 ±0.32 | -89.23 ±5.6 | 318.24 ±0.2 |
| bkg000c | -0.87 ±0.09 | -1.18 ±0.09 | 0.08 ±0.23 | 1.47 ±0.09 | -2.99 ±4.7 | 306.34 ±5.3 |
| dgf000b | -1.03 ±0.11 | -1.82 ±0.11 | 0.84 ±0.21 | 2.25 ±0.04 | -21.86 ±9.6 | 299.68 ±7.7 |
| dgf000c | -1.21 ±0.11 | -2.07 ±0.12 | -0.83 ±0.30 | 2.54 ±0.22 | -19.18 ±10.5 | 300.20 ±8.8 |
| dgf000d | -1.12 ±0.11 | -2.02 ±0.12 | 0.54 ±0.23 | 2.37 ±0.07 | -13.10 ±8.0 | 299.09 ±8.6 |
| dgf000e | -1.10 ±0.11 | -2.04 ±0.11 | 0.88 ±0.22 | 2.48 ±0.03 | -20.66 ±9.9 | 298.38 ±8.6 |
| dgf000f | -0.82 ±0.09 | -1.72 ±0.10 | -0.78 ±0.30 | 2.06 ±0.21 | -22.30 ±7.6 | 295.61 ±6.4 |
| dgf000g | -0.74 ±0.09 | -1.70 ±0.09 | 0.90 ±0.23 | 2.06 ±0.11 | -25.80 ±7.5 | 293.50 ±6.3 |
| gsf001a | 0.17 ±0.07 | -1.15 ±0.08 | 0.03 ±0.18 | 1.16 ±0.06 | -1.71 ±0.9 | 278.64 ±4.4 |
| gsf003a | -0.68 ±0.07 | -1.30 ±0.07 | -0.50 ±0.17 | 1.55 ±0.13 | -18.85 ±4.4 | 297.68 ±4.3 |
| iaa000b | -1.04 ±0.09 | -0.27 ±0.11 | -2.59 ±0.30 | 2.80 ±0.30 | -67.53 ±9.3 | 345.61 ±5.0 |
| iaa000c | -0.03 ±0.10 | -0.89 ±0.12 | -3.93 ±0.30 | 4.03 ±0.30 | -77.28 ±13.6 | 271.96 ±6.2 |
| iaa001b | -0.20 ±0.09 | -1.17 ±0.09 | 0.31 ±0.26 | 1.23 ±0.09 | -14.62 ±3.2 | 279.83 ±5.3 |
| iaa001c | 0.30 ±0.10 | -1.03 ±0.11 | -0.87 ±0.28 | 1.38 ±0.24 | -38.94 ±7.6 | 286.18 ±5.7 |
| mao000b | -0.50 ±0.16 | -2.86 ±0.17 | -5.20 ±0.45 | 5.96 ±0.44 | -60.77 ±25.9 | 279.89 ±15.6 |
| mao006a | -0.40 ±0.14 | -2.61 ±0.16 | -0.58 ±0.44 | 2.70 ±0.26 | -12.30 ±7.7 | 278.75 ±13.6 |
| opa000b | -0.07 ±0.06 | -0.92 ±0.08 | -1.55 ±0.36 | 1.80 ±0.34 | -59.16 ±6.4 | 274.46 ±4.3 |
| opa002a | 0.27 ±0.06 | -0.63 ±0.07 | -0.36 ±0.18 | 0.77 ±0.13 | -27.75 ±3.7 | 293.31 ±2.7 |
| sai000b | -0.88 ±0.20 | -2.61 ±0.21 | -0.71 ±0.54 | 2.84 ±0.35 | -14.53 ±12.9 | 288.71 ±17.4 |
| sha006a | -0.95 ±0.09 | -1.65 ±0.09 | 1.82 ±0.23 | 2.63 ±0.17 | -43.65 ±10.1 | 300.01 ±6.0 |
| usn000d | -0.17 ±0.07 | -1.03 ±0.08 | -0.08 ±0.20 | 1.05 ±0.10 | -4.27 ±1.5 | 279.53 ±4.5 |
| usn001a | -0.21 ±0.15 | -2.41 ±0.17 | -2.61 ±0.40 | 3.56 ±0.38 | -47.26 ±16.8 | 274.94 ±14.5 |
| Средние значения | -0.61 ±0.10 | -1.92 ±0.11 | -1.14 ±0.31 | 2.70 ±0.22 | -44.90 ±8.6 | 287.11 ±7.4 |
| Для средних скоростей | 0.10 ±0.06 | -0.51 ±0.05 | 0.36 ±0.17 | 0.63 ±0.12 | -34.74 ±2.0 | 281.50 ±2.0 |

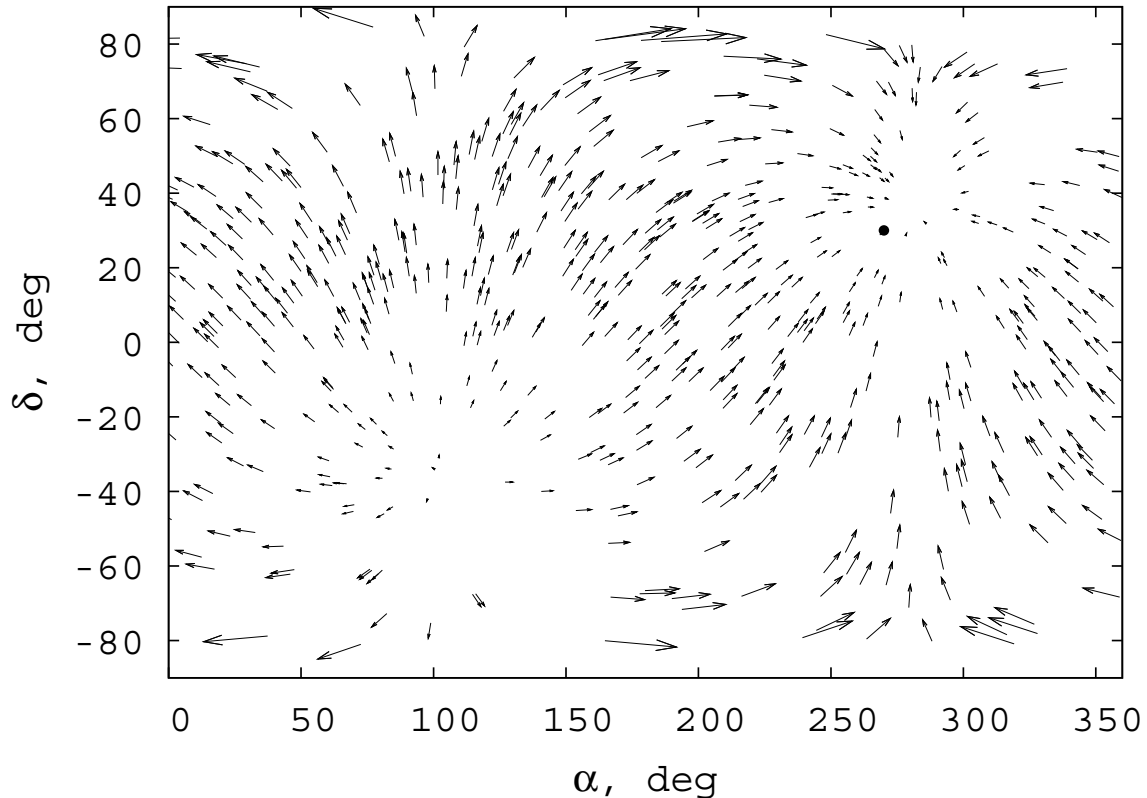


Рис. 1. Поле скоростей, соответствующее коэффициентам, вычисленным для средних скоростей источников. Координаты начал векторов соответствуют координатам источников, а длины и направления вычислены с помощью (5) при коэффициентах, полученных для средних скоростей. Точкой отмечено теоретическое положение апекса Солнца.

Теоретическое значение модуля центростремительного ускорения Солнца в Галактике около 4 микросекунд дуги/год, а направление $\alpha \approx 270^\circ$, $\delta \approx -30^\circ$. Видно, что для некоторых центров результаты близки к теоретическим, однако часто разные ряды координат даже одного центра оказываются различными. Таким образом, необходимо более детальное исследование различных опций, используемых центрами анализа при получении рядов координат.

Отметим, что другой подход, заключающийся в вычислении коэффициентов сферических гармоник как глобальных параметров, был применен другими авторами (Titov 2008a, 2008b) и дал результаты, сильно отличающиеся как от полученных нами, так и от теоретических значений.

Литература

- Malkin Z., Popova E., 2009, Analysis of source motions derived from position time series. In: Proc. Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels 2008, Germany, 22-24 Sep 2008, M. Soffel, N. Capitaine (ed), p. 239.
- MacMillan, D.S., 2005, Quasar Apparent Proper Motion Observed by Geodetic VLBI Networks, In: Future Directions in High Resolution Astronomy: The 10th Anniversary of the VLBA, ASP Conference Proceedings, V. 340. Eds. J. Romney, M. Reid, San Francisco, p. 477.
- Titov, O., 2008a, Proper motions of reference radio sources", In: Proc. Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels 2007, France, 17-19 Sep 2007, N. Capitaine (ed.), p. 16.
- Titov, O., 2008b, Systematic effects in proper motion of radio sources, In: Proc. Fifth IVS General Meeting 2007, Russia, A Finkelstein, D Behrend (ed.), p. 265.

**ANALYSIS OF SOURCES SYSTEMATIC COORDINATE CHANGES FROM POSITION
TIME SERIES**

Попова Е.

Pulkovo Observatory

Many radio sources observed during astrometric/geodetic VLBI sessions show progressive variations in its position derived from single session solutions. In this paper an attempt is made to extract a systematic part from the source motions obtained from the position time series provided by several IVS Analysis Centers in the framework of the ICRF-2 project. Finally combined velocity field for several hundred sources is computed and analyzed.

FUNDAMENTAL ASTRONOMY: SOME HISTORICAL NOTES ON THE INSTRUMENTS OF THE BELGRADE ASTRONOMICAL OBSERVATORY*

Protitch-Benishek V., Trajkovska V., Damljanović G.
Astronomical Observatory, 11060 Belgrade 38, Volgina 7, Serbia

At the IX Congress of the IAU in Dublin in 1955, a resolution was made stating that all observatories, who are able, with instruments for fundamental astronomy, participate in the relevant international programmes.

At that moment at the Belgrade Astronomical Observatory, a Transit Instrument (BAMBERG, 100/1000mm) and Zenith-Telescope (ASKANIA-BAMBERG, 110/1287 mm) were installed, enabling the carrying out of two services in regular observational programmes: a Time Service and a Latitude Service. The three main instruments of fundamental astronomy: the Large Meridian Circle, the Large Vertical Circle and the Large Transit Instrument (ASKANIA-BAMBERG, 190/2578 mm) were installed in the period 1958-1960 with great help of astrometrists from Pulkovo Observatory.

The use of these fundamental instruments has led to very important scientific results and contributions being made in international projects.

Some Historical Notes on Belgrade Fundamental Instruments

Belgrade Observatory was founded in 1887 by Milan Nedeljković (1857-1950) who was its first Director. In the first time the Observatory was intended for astronomical, meteorological and geomagnetic investigations. In 1924 it was decided that Observatory had to be divided into two institutions: Astronomical Observatory and Meteorological Observatory because the astronomical instruments were obtained from Germany as a war reparation according to agreement with company Askania Bamberg Werke since July 14, 1922. Among others, three fundamental instruments were obtained: Large Meridian Circle (LMC), Large Transit Instrument (LTI) and Large Vertical Circle (LVC) (Fig. 1).

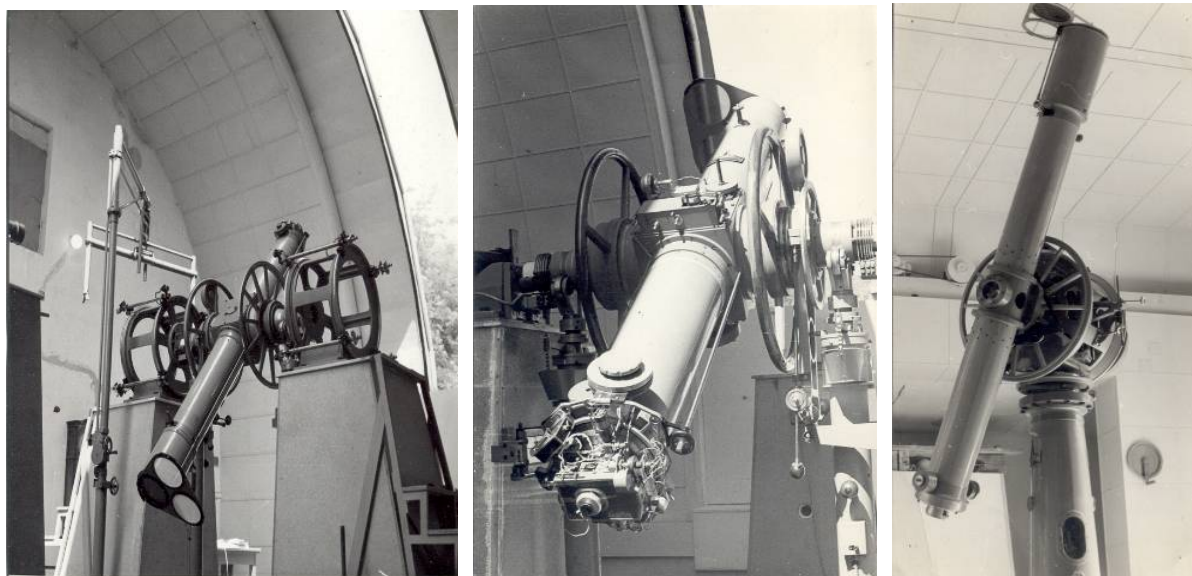


Fig. 1. The three fundamental instruments at Belgrade Astronomical Observatory: Large Meridian Circle, Large Transit Instrument and Large Vertical Circle.

* This paper is dedicated to the memory of Dr Sofija Sadzakov (June 30, 1929 – March 13, 2009)

The price of all astronomical instruments which were provided was estimated to 2990000 golden marks, and only the price of the three fundamental instruments was rated over than 300000 golden marks [4]. In 1932, the new Astronomical Observatory was built at the present location (at the hill Zvezdara) by Academician Vojislav V. Mišković (1892-1976) who was appointed for its Director.

The fact that all the three fundamental instruments were at the same location was of a special importance for astrometrical research. The main characteristics of these instruments are: all three are of classical design, have objectives of 190 mm and focal lengths of 2578 mm and visual eye-piece micrometers. Because of deficiency of the financial means, as well as of the responsible staff, they were mounted after 35 years of storing them in cases. After the IX Congress of the IAU (Dublin 1955), according to the Resolution about inclusion of the larger number of the fundamental instruments in the relevant international programmes, the astronomical public appealed that the three such fundamental instruments of the Belgrade Observatory should be active. For this purpose Prof M.S. Zverev from the Main Observatory Pulkovo, then President of the Commission for the Positional Astronomy of IAU visited Yugoslavia in 1957 [5]. In the same time, Prof Eh. R. Mustel' and some prominent astronomers from Soviet Union and Europe were the guests of Belgrade Observatory with same initiative (Fig. 2).

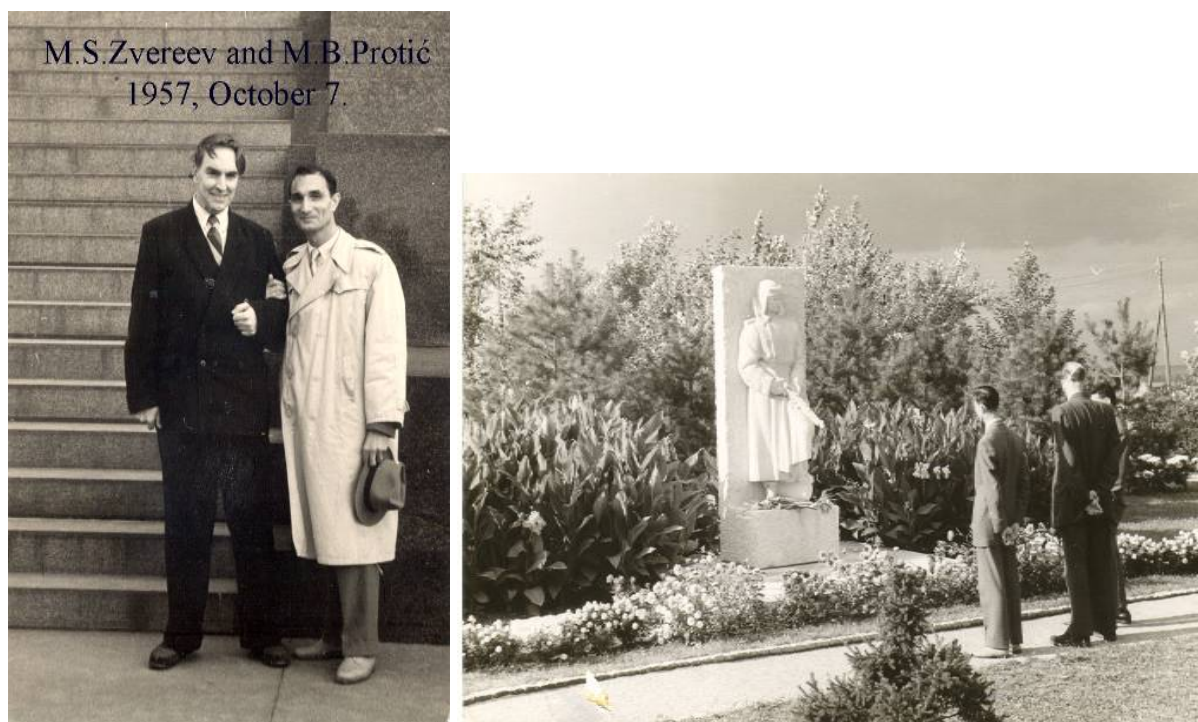


Fig. 2. Pictures from a sojourn of M.S. Zverev and Mustel in Belgrade accompanied by M.B. Protić, then Director of the Astronomical Observatory at Belgrade.

At that moment at the Belgrade Astronomical Observatory, a Transit Instrument (BAMBERG, 100/1000mm) and Zenith-Telescope (ASKANIA-BAMBERG, 110/1287mm) were installed (Fig. 3), enabling the carrying out of two services in regular observational programmes: Time Service and Latitude Service [7].

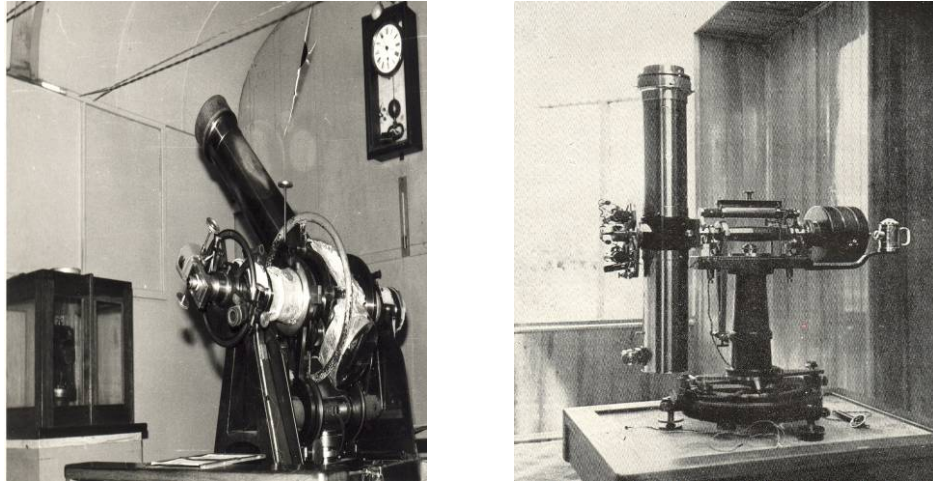


Fig. 3. The Transit Instrument and Zenith-Telescope at Belgrade Astronomical Observatory.

Observational programmes

All observations with Belgrade fundamental instruments were made by using visual method. Observations by the Transit Instrument - BLI were performed in the period 1964-1986 (with the ROHDE SCHWARZ clock data); the latitude observations at Zenith-Telescope – BLZ were made in the period 1949-1995, using the Horrebow-Talcott method.

The data produced by both of these instruments were included in the BIH (Bureau Internationale de l'Heure, Paris) and in the other international institutions which collected the longitude/latitude data to establish an international terrestrial reference frame. These data were sent to the Soviet Union institution ('VNIIFTRI', Moskva) [2, 3].

With Large Meridian Circle the observing programmes were actively carried out from 1968 till 1994. In that period several differential catalogues were made with this instrument:

- Catalogue of Latitude Stars, Catalogue of NPZT Programme,
- Catalogue of Double Stars,
- Catalogue of Stars in the Vicinity of Radio Sources,
- Catalogue of Positions of 223 Ondrejov PZT Stars,
- Catalogue of Positions of High-Luminosity Stars (HLS) and Radio Stars.

Besides, from 1974 till 1994, the daily observations of Solar System Bodies - Sun, Mercury, Venus and from 1981 Mars - were performed, also [1, 9].

With Large Vertical Circle the absolute catalogue of 308 bright north stars were performed (note of the authors: the results for 307 stars were published) [6] and also, the observations of outer planets from 1982 till 1995 were made [11].

With Large Transit Instrument the absolute catalogue of 308 bright north stars were performed in the period 1978-1983, but the results of the observations could not be utilize because incorrect time.

The preparation actions for the modernization

After 1995 all observations with the Belgrade fundamental instruments were practically suspended, due to the fact that visual and non-automatic observations were not of special interest and it was necessary to make a modernization. In the framework of plans concerning its modernization a meeting was held on August 29, 1997 where preparation actions aimed at obtaining financial means by the Ministry of Sciences and Technology, concerning the complete automatization of Large Meridian Circle, were initiated. The Ministry of Science approved the necessary funds on the basis of compensation contracts and agreements with the Nikolaev Observatory (Ukraine) which should have performed the modernization.

The investigation of this accident has not been started till nowadays although some initiatives have existed and the requirement sent to the Ministry of Science for a detailed examination of this case has been formulated by M.B. Protitch (Fig. 5).

Instead of the conclusion

Finally, all the planes of modernization have gone up in flames in 1999!

From that time ten years have passed... One question still exist: after the destroying of Large Meridian Circle, is it rational to modernize Large Transit Instrument and Vertical Circle, both or one of them in the recent time?

After the year 2005 all three pavilions of fundamental astronomy are designed and prepared for the Museum of Astronomy of Belgrade Astronomical Observatory.

Acknowledgements

This research has been supported by the Serbian Ministry of Science (Project No 146022 "*History and Epistemology of the Natural Sciences*" and Project No 146004 "*Dynamics of celestial bodies, systems and populations*").

References

1. *Dačić, M., Cvetković, Z.*: 1999, Posmatranja na Beogradskom meridijanskom krugu, Publ. Astron. Obs. Belgrade, **64**, 15-18.
2. *Damljanović, G.*: 1997, The analysis of the variation of Belgrade latitude for the period 1949-1985, MSc thesis, University of Belgrade.
3. *Damljanović, G.*: 2007, Improvement of accuracy of proper motions of Hipparcos Catalogue stars using optical latitude observations, PhD thesis, University of Belgrade.
4. *Djokić, M.*: 2007, Dokumenti Astronomske opservatorije Univerziteta u Beogradu 1925-1941, Publ. Astron. Obs. Belgrade, **77**.
5. *Djurković, M.P.*: 1968, Sedamdeset pet godina rada Astronomske Opservatorije u Beogradu, Publ. Astron. Obs. Belgrade, **12**, 15-51.
6. *Mijatov, M., Teleki, G., Bozhichkovich, Dj., Trajkovska, V.*: 1991, Catalogue of Declinations of 307 Bright Stars in the zone +65° - +90° (BCAD), Bull.Obs.Astron.Belgrade, **143**, 1-20.
7. *Mishkovitch, V.V.*: 1939, L'Observatoire astromomique de l'Université de Belgrade, Belgrade.
8. *Pakvor, I., Protitch-Benishek, V.*:1999, The end of the Belgrade meridian circle, Publ. Astron. Obs. Belgrade, **65**, 141-142.
9. *Sadžakov, S.*: 1989, Radovi na Meridijanskom krugu Astronomske opservatorije u Beogradu, Publ. Astron. Obs. Belgrade, **36**, 63-70.
10. *Trajkovska, V., Protitch-Benishek, V., Sadžakov, S.*: Large Meridian Circle of the Belgrade Observatory: Four Decades of Activity and Existence, Publ. Astron. Obs. Belgrade, **85**, 187-188.
11. *Trajkovska, V.*: 1988, Results of planet observations with the Belgrade Vertical Circle (Supplement I), Bull.Obs.Astron.Belgrade, **138**, 85-87.



Main building of Astronomical Observatory in 1932.

РСДБ-АСТРОФИЗИКА В ПОМОЩЬ РСДБ-АСТРОМЕТРИИ

Пушкарев А.Б.^{1,2,3}, Ковалев Ю.Ю.^{4,1}

¹*Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Бонн, Германия*

²*Главная Астрономическая Обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия*

³*НИИ “Крымская Астрофизическая Обсерватория”, Научный, Украина*

⁴*Астрокосмический Центр Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия*

В 1997 г был начат долгосрочный масштабный РСДБ-проект RDV (Research & Development – VLBA), по наблюдению активных ядер галактик для решения вопросов астрометрии и геодезии. Основной задачей проекта было установление опорной системы координат ICRF и последующее ее уточнение путем накопления измерений и увеличения числа составляющих ее источников. Мы представляем результаты обработки 19 наблюдательных сессий, проведенных при одновременном участии 18-20 радиотелескопов, регистрировавших сигнал на частотах 2 и 8 ГГц. Полученные изображения для выборки из 370 источников позволили провести анализ: 1) структуры объектов, которая может быть использована для уточнения их координат; 2) компактности наблюдаемых источников на миллисекундных угловых масштабах, которая может быть учтена при обновлении/расширении каталога ICRF.

Целью данной работы является освещение результатов астрофизических РСДБ-исследований активных ядер галактик по данным проекта RDV, которые могут быть использованы для повышения точности астрометрических РСДБ-измерений. Существует целое множество факторов, ограничивающих точность астрометрических измерений. Одни из них являются случайными, другие – систематическими. Основными источниками случайных ошибок являются: (i) нестабильность (турбулентность) атмосферы; (ii) радиопомехи, под которыми принято подразумевать любые сигналы (телевидение, мобильная, морская, радио- и космическая связь), кроме сигнала наблюдаемого объекта; (iii) вариации хода атомных стандартов частоты, определяемой стандартной дисперсией Аллана (10^{-14} сек за промежуток времени около часа); (iv) тепловой шум измерений задержек.

Стратегия минимизации случайных ошибок заключается в увеличении числа наблюдений объекта в течение эксперимента, оптимизации расписания, уменьшении времени на перевод антенны, уточнении модели атмосферы, а также использовании только самых точных измерений задержек. Заметим, что корреляция сигнала существенно подавляет влияние помех. Действительно, те случаи, когда один и тот же паразитный сигнал будет воздействовать на оба элемента одной базы, крайне редки.

Основными источниками систематических ошибок являются: (i) тепловые и гравитационные деформации антенны; (ii) ограниченная точность положений пунктов наблюдений; (iii) структура наблюдаемого объекта. Учет гравитационных деформаций антенн довольно сложен, поэтому одним из самых простых методов решения данной проблемы является использование небольших, до 12-15 м в диаметре, радиотелескопов. Тепловые деформации могут быть учтены либо их непосредственным измерением с помощью температурных датчиков, либо моделированием. Другим эффективным решением является использование интерферометрии со связанными элементами – малой (~2 м) антенны с хорошо определенными параметрами и основной РСДБ-антенны [1]. В этом случае, в течение всего сеанса наблюдений производятся многократные измерения базы между вспомогательной и основной антенной, на основе которых строится модель температурных и гравитационных деформаций основной антенны. Вопрос же структуры источника и будет предметом нашего дальнейшего анализа.

Идеальным источником для астрометрических измерений является точечный объект, причем не меняющий своего положения со временем. Реальные же источники, не только не являются бесструктурными, но еще и подвержены изменению своих координат как в зависимости от времени, так и от длины волны наблюдения [2, 3]. Действительно, на современном этапе развития техники РСДБ-эксперимента, а также методов восстановления изображений, структура на масштабах миллисекунд дуги становится обнаруживаемой у подавляющего большинства источников. Наличие этой структуры влияет не только на амплитуду функции видности, но также и на величину групповой задержки, и, в конечном счете, ограничивает точность определения координат объекта. Таким образом, существует два пути по решению этой проблемы: (i) использовать источники, структура которых минимально отличается от точечной; (ii) производить учет как структуры объекта, так и ее частотно-временной зависимости по полностью калиброванным данным [3]. Очевидно, что второй метод является универсальным. Однако, как показали первые попытки по учету структуры источника [4], его реализация представляет собой очень сложную задачу. Тем не менее, именно этот метод позволит в будущем повысить точность астрометрических измерений.

В данной работе мы представляем результаты измерений миллисекундной структуры по 370 компактным внегалактическим источникам, наблюдавшимся одновременно на 2.3 и 8.6 ГГц в период 2002–2003 гг. в рамках долгосрочного геодезического РСДБ-проекта, начавшегося в 1994 г. Данные были получены из архива Национальной Радиоастрономической Обсерватории США. Первичная калибровка была проведена с помощью пакета обработки AIPS. Для калибровки амплитуды использовались кривые усиления антенн и системные температуры, измеренные в течение каждого сеанса. Коррекция фазы за остаточные задержки была выполнена процедурой FRING с использованием четырехминутного интервала усреднения при нахождении решений и применением модели точечного источника. Дальнейшая обработка – самокалибровка и гибридное картографирование были проведены в пакете DIFMAP [5] в автоматическом режиме [6] для большинства источников. В качестве начальной модели во всех случаях использовалась модель точечного источника в фазовом центре. При построении окончательной карты источника использовалось естественное взвешивание данных функции видности. Типичная морфология источников представляет собой яркое ядро и односторонний изза доплеровского усиления излучения выброс. Моделирование всех источников было проведено с помощью задачи “modelfit” из пакета DIFMAP с использованием круговых гауссовых компонент путем сравнения модели и полностью калиброванных данных наблюдений в плоскости пространственных частот (u, v) .

Источники, вошедшие в выборку с целью построения опорной радиоастрономической системы координат, должны быть яркими, далекими, т.е. находящимися на космологических расстояниях, и очень компактными, т.е. излучать поток с как можно более ограниченной области пространства. Наилучшими кандидатами для построения такой системы координат служат активные ядра галактик, удовлетворяющие всем перечисленным выше требованиям.

Компактность активных галактических ядер на масштабах угловых секунд дуги очень высока и составляет ~ 0.9 для выборки, состоящей из 250 активных галактических ядер, наблюдавшихся на частоте 15 ГГц [7]. Это означает, что практически весь поток от этих источников приходит с миллисекундных угловых масштабов, реализуемых при РСДБ-наблюдениях. Мы определяем индекс компактности на РСДБ-масштабах, как $S_{\text{unres}} / S_{\text{VLBA}}$, где S_{VLBA} – интегральная плотность потока с РСДБ-карты, S_{unres} – плотность потока наиболее компактной компоненты, определяемая как медианное значение амплитуды функции видности на $r_{uv} > 270$ Мл в X-полосе и $r_{uv} > 72$ Мл в S-полосе, что соответствует интервалу [0.8, 1.0] от максимального значения длины проекции базы,

определяемой как $r_{uv} = (u^2 + v^2)^{0.5}$. На Рис. 1 мы представляем амплитуды функции видности для случая источника с высокой и низкой компактностью, а на Рис. 2 – РСДБ-изображения этих объектов, а также положения и размеры соответствующих круговых гауссовых компонент, полученных из моделирования. Распределения индекса компактности на частоте 2.3 и 8.6 ГГц для выборки из 370 источников приведены на Рис. 3. Оба распределения имеют медианные значения ~ 0.5 и содержат лишь $\sim 10\%$ источников с индексом компактности $S_{\text{unres}} / S_{\text{VLBA}} > 0.8$, т.е. подавляющее большинство источников имеет структуру, которую необходимо учитывать при определении координат этих объектов.

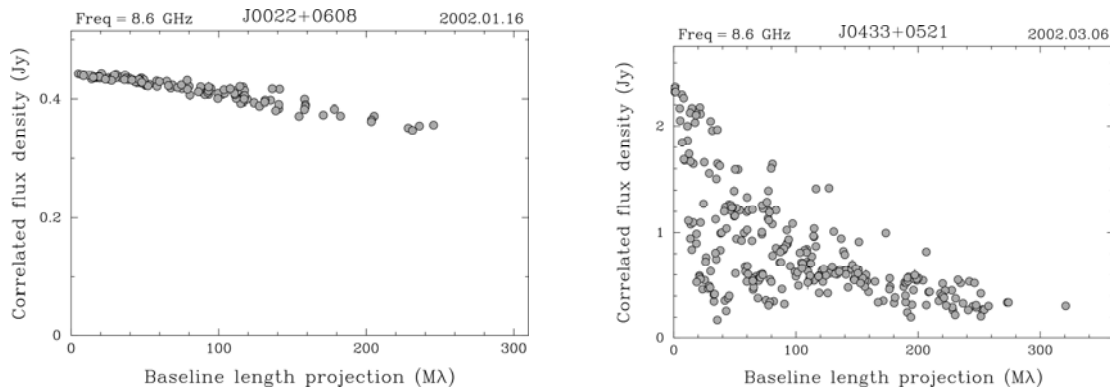


Рис. 1. Амплитуды функции видности источника с высокой (слева) и низкой (справа) компактностью, составляющей 0.81 и 0.14, соответственно.

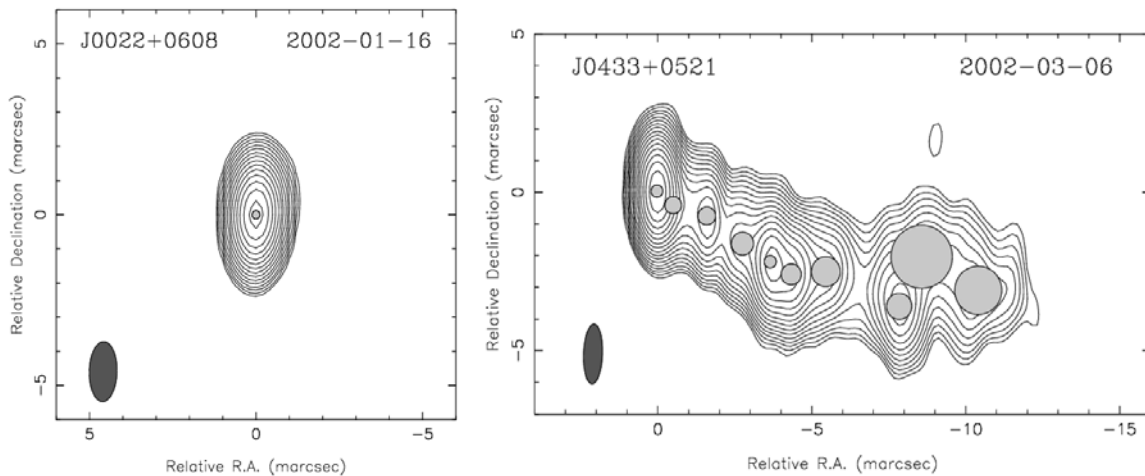


Рис. 2. РСДБ-изображения компактного (слева) и разрешенного (справа) источников. Серыми кружками показаны соответствующие положения и размеры гауссовых компонент, моделирующих структуру. В левом нижнем углу каждой карты показана синтезированная диаграмма направленности по уровню половинной мощности.

Для каждого из обработанных нами 370 источников мы представляем пять файлов: полностью калиброванные данные функции видности в FITS-формате, изображение в FITS-формате, контурную карту с естественным взвешиванием данных в PS-формате, зависимость амплитуды функции видности от длины проекции базы в PS-формате, таблицу в ASCII-формате, содержащую значения а) плотности потока со всей РСДБ-карты, б) плотности коррелированного потока на коротких (менее 900 км) базах, в) медианное значение плотности коррелированного потока на длинных базах (более 9500 км), остаточный шум РСДБ-карты. Все перечисленные выше файлы находятся в открытом доступе с сайта http://astrogeo.org/vlbi_images, где на данный момент Леонидом

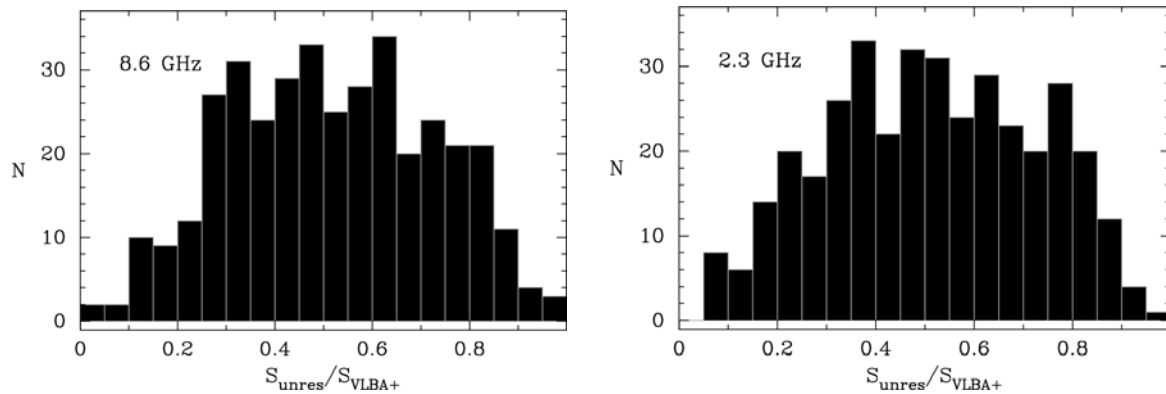


Рис. 3. Распределения индекса компактности для 370 источников на частоте 8.6 (слева) и 2.3 ГГц (справа).

Петровым аккумулированы более 27000 РСДБ-изображений для более 4100 компактных внегалактических радиоисточников, наблюдавшимся в рамках таких мониторинговых VLBA программ, как RDV, VCS, MOJAVE, VIPS. Это самая большая из имеющихся на сегодняшний день база данных РСДБ-наблюдений. Ожидается, что этот богатейший наблюдательный материал послужит основой как для будущего уточнения координат источников, так и для расширения каталога ICRF.

Литература

1. Ichikawa, R., A. Ishii, H. Takiguchi, H. Kuboki, M. Kimura, J. Nakajima, Y. Koyama, T. Kondo, M. Machida, S. Kurihara, K. Kokada, and S. Matsuzakas, Development of a Compact VLBI System for Providing over 10-km Baseline Calibration, in Measuring the Future – Proceedings of the Fifth IVS General Meeting, ed. by A. Finkelstein and D. Behrend, Saint Petersburg, Nauka, ISBN 978-5-02-025332-2, pp. 400–404, 2008.
2. Lobanov, A.P. 1998, A&A, 330, 79.
3. Kovalev, Y.Y., Lobanov, A.P., Pushkarev, A.B., & Zensus, J.A. 2008, A&A, 483, 759.
4. Petrov, L., “Using source maps for scheduling and data analysis: approaches and strategies”, Proceedings of the 18th European VLBI for geodesy and astrometry working meeting, ed. by J. Boehm, A. Pany and H. Schuh, p. 141-146, 2007.
5. Pearson, T.J., Shepherd, M.C., Taylor, G.B., & Myers, S.T. 1994, Bulletin of the American Astronomical Society, 26, 1318.
6. Shepherd, M.C. 1997, in Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol. 125, Astronomical Data Analysis Software and Systems VI, ed. G. Hunt & H. E. Payne (San Francisco: ASP), 77.
7. Kovalev, Y.Y., Kellermann, K.I., Lister, M.L., et al. 2005, AJ, 130, 2473.

VLBI ASTROPHYSICS: FEEDBACK FOR VLBI ASTROMETRY

Pushkarev A.B.^{1,2,3}, Kovalev Y.Y.^{4,1}

¹Max-Planck-Institut fuer Radioastronomie, Bonn, Germany

²Central (Pulkovo) Astronomical Observatory, St. Petersburg, Russia

³Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny, Ukraine

⁴Astro Space Center of Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia

Long-term VLBI project RDV (Research & Development – VLBA) aimed at observations of active galactic nuclei was started in 1997 to investigate problematics in astrometry and geodesy. The main goal of the project was addressed to a creation of International Celestial Reference Frame (ICRF) and its further improving by accumulating the observational measurements and increasing the number of sources that make up the ICRF. We present the results of data reduction of 19 observational sessions carried out truly simultaneously at 2.2 and 8.6 GHz with the array of 18-20 radio telescopes. The images obtained for a sample of 370 sources have enabled to perform the analysis of 1) parsec-scale source structure which can be used for increasing their positional accuracy; 2) milliarcsecond scale compactness of the observed sources that can be used for updating and/or extending the ICRF.

**ПУЛКОВСКАЯ ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ
ВИЗУАЛЬНО-ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД
ПО ФОТОГРАФИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ
НА 26-ДЮЙМОВОМ РЕФРАКТОРЕ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Романенко Л.Г.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

Наблюдения визуально-двойных звезд (ВДЗ) в Пулкове продолжают традиционные для Пулковской обсерватории исследования в области звездной астрономии со дня ее образования, начатые еще в XIX веке В.Я. Струве. После войны в 1960 г. по инициативе А.Н. Дейча наблюдения были возобновлены на длиннофокусном 26-дюймовом рефракторе ($F = 10.4$ м, $D = 65$ см) фотографическим методом. В начальный период наблюдений (1960-1963 гг.) было подтверждено (Дейч, Киселев и др. [1]) высокое качество фотовизуального объектива рефрактора, что позволило включить в программу наблюдений двойные звезды до 10^m и разделением более $3''$.

Основные итоги наблюдений на 26" рефракторе ГАО РАН за период 1960–1986 гг. приведены в Каталоге 200 визуально-двойных звезд, опубликованном в 1988 г. [2]. Электронная версия Каталога, отправленная в Центр Астрономических Данных в Страсбурге в 2004 г., содержит измерения для 234 ВДЗ. Более поздняя версия 2006 г. размещена на странице Пулковской обсерватории в Интернете [3]. Эти Каталоги представляют главный итог наблюдательной деятельности астрономов Пулковской обсерватории, связавших свою научную деятельность с 26"рефрактором, а именно: А.А. Киселева, Г.А. Плюгина, Н.А. Шахт, О.А. Калиниченко, Т.П. Киселевой, О.П. Быкова, О.В. Кияевой, Л.Г. Романенко, И.С. Измайлова, Е.А. Грошевой.

Научная задача Пулковской программы комплексных исследований ВДЗ состоит в определении основных кинематических и динамических характеристик двойных и кратных звезд в окрестности Солнца непосредственно из наблюдений. Ближайшая цель этой программы — выявление близких (до 100 парсек) двойных звезд, обладающих заметным орбитальным движением, в дальнейшем — накопление плотных однородных рядов относительных положений компонент двойных для определения их орбит и масс и выявления возможных невидимых спутников.

Фотографические наблюдения в Пулкове, продолжающиеся 20-40 лет, охватывают $5-10^\circ$ (а нередко всего $2-3^\circ$) видимой дуги орбиты. Традиционные методы определения орбит ВДЗ в таких условиях не работают. Для исследований мы применяем разработанный А.А. Киселевым и О.В. Кияевой [4] метод параметров видимого движения (ПВД), позволяющий определить орбиту двойной звезды при известном параллаксе из наблюдений короткой дуги, если результаты позиционных наблюдений дополнить данными о лучевых скоростях компонент пары.

Оказалось, что для многих наблюдаемых нами звездных пар эти данные отсутствуют. А.А. Киселеву пришлось организовать наблюдения лучевых скоростей избранных двойных звезд на 6-метровом телескопе (БТА САО РАН) под руководством Е.Л. Ченцова [5] и параллаксов в Пулкове [6]. Большую помощь в указанной работе нам оказал А.А. Токовинин (ГАИШ) [7], отнаблюдавший в Крыму компоненты 70 ВДЗ Пулковской программы по нашей просьбе на Измерителе лучевых скоростей (ИЛС) своей конструкции. При этом были выявлены 11 звезд со спектрально-двойными компонентами и 10 оптических систем. Недавно Н.А. Горыня (ИА РАН) возобновила спектральные наблюдения для 30 звезд нашей программы на том же приборе, уже получены

орбиты для 2 двойных [8] и 1 тройной [9] звездных систем, выявлены спектрально-двойные компоненты.

Неожиданную и особенно ценную поддержку Пулковская программа получила в результате выполнения миссии космических наблюдений HIPPARCOS (1997 г.), согласно которым около половины ВДЗ нашей программы оказались обеспеченными тригонометрическими параллаксами высокого качества. Таким образом, астрометрические исследования двойных звезд в Пулкове получили дополнительный стимул к развитию.

В настоящее время Пулковская программа исследований содержит около 420 визуально-двойных звезд, имеющих однородные ряды фотографических наблюдений на 26" рефракторе, что составляет около 12 000 пластинок. Более 80 пар имеют плотные ряды наблюдений с 1960 г. (от 12 до 40 нормальных мест). В 1980-х гг. программа была пересмотрена в связи с недостатком высококочувствительных пластинок : были включены более яркие и широкие пары. С вводом в строй на 26-дюймовом рефракторе ПЗС-матрицы в 1995 г. (И.С. Измайлов) программа была расширена за счет более слабых (до 12^m) и тесных пар (от 1"). Некоторые звезды наблюдались параллельно фотографическим и ПЗС-методом для стыковки рядов.

В таблице 1 мы приводим некоторые статистические данные нашей программы отдельно по рядам разной длительности. В нижней строке – по всем исследуемым звездам.

Таблица 1. Статистика программы исследований ВДЗ.

| ВДЗ | Количество норм.мест | Измерения рядов ф/пл-к | | Лучев. ск-сти | Оптич. пары | Параллаксы HIPPARCOS | | ПВД-орбиты | |
|-----|----------------------|------------------------|-----|---------------|-------------|----------------------|-----|------------|-------|
| | | есть | нет | | | есть | нет | есть | будут |
| 135 | $2 \leq n \leq 4$ | 23 | 112 | 6 | -- | 58 | 77 | 1 | 4 |
| 240 | $5 \leq n \leq 15$ | 121 | 119 | 28 | 14 | 82 | 158 | 15 | 5 |
| 43 | $16 \leq n \leq 41$ | 43 | 0 | 26 | 4 | 36 | 7 | 25 | 7 |
| 418 | $2 \leq n \leq 41$ | 187 | 231 | 60 | 18 | 176 | 242 | 41 | 16 |

Наиболее длительные и плотные ряды программы (около 200-250 ф/пл каждый) имеются для ВДЗ, традиционно наблюдавшихся в Пулкове с целью выявления невидимых спутников. Следующие двойные звезды -- ADS 5983 (δ Gem), 7251, 11632 и 14636 (61 Cyg), а также одиночные звезды Lalande 21185, Gliese 623, AC+48⁰1595/89 – являются объектами исследования Н.А. Шахт [10, 11].

Другие ВДЗ, также имеющие длительные ряды, показывающие наличие кривизны видимой дуги орбиты, такие как ADS 48, 9031, 9167, 9173, 9346, 9701 и 15600 исследованы О.В. Кияевой (см. [8, 12-14]). Большой вклад в исследования визуально-двойных звезд внесла О.А. Калиниченко, измерившая длительные ряды (порядка 40-60 пластинок каждый) следующих звезд: ADS 2427, 2757, 3593, 6646, 8002, 8861, 9090, 10329, 11061, 12169 и 15229 (см. [14-17]).

С получением первых результатов определения относительных лучевых скоростей на БТА [5] и ИЛС [7] появилась возможность вычисления ПВД-орбит таких широких пар, как: ADS 497, 5436, 6783, 9559, 8236, 10044, 10288, 10386, 10759, 12815, 14878 и 16558 (см. Л.Г. Романенко [9, 15-17]).

Актуальным направлением нашей программы, использующим северное положение Пулковской обсерватории, является исследование ВДЗ околополярной зоны неба. В этой зоне Е.А.Грошевой получены ПВД-орбиты следующих звезд: ADS 8100 AC, 8682, 9696, 15571 и 16407 (см. [16, 18]).

В 2007 г. на 26" рефракторе наблюдения фотографическим методом завершены, с 1995 г. ведутся наблюдения с помощью ПЗС-матрицы [19]. Появилась возможность ис-

следования более тесных пар (1-2"), в частности, И.С. Измайловым определены ПВД-орбиты двойных звезд ADS 8242 и ADS 10345 (см. [16]).

Основные результаты программы исследований визуально-двойных звезд

1. Методом ПВД определены орбиты более 40 ВДЗ, причем для 34 звезд – впервые, в этом числе 25 пар обращаются с периодами более 1000 лет.
2. Выполнено астрометрическое исследование тройных иерархических систем ADS 48 (AB-F) [12] и ADS 10288 (AB-C) [9]. Установлено, что плоскости орбит тесной и широкой пары в обеих системах не компланарны.
3. Для всех ПВД-орбит определена ориентация орбитальных плоскостей и осей периастро в галактической системе координат (см. Киселев, Романенко [20]). Оказалось, что большинство орбит с периодом более 1000 лет круто наклонены к галактической плоскости, а их оси направлены к центру Галактики.
4. Выявлены избытки масс у 6 ВДЗ: ADS 497, 9346, 9701, 10329, 11061 и 15600 (около 1-3 масс Солнца [8, 13]). Еще три ВДЗ: ADS 3593, 14878, 16558 с полученными избытками 25, 49 и 7300 масс Солнца соответственно требуют уточнения значения параллаксов [17].
5. Выявлены возмущения в орбитальном движении таких ВДЗ, как ADS 8100 AC, 10759 и 15571 [17, 18], свидетельствующие о наличии невидимых спутников с массой 0.1, 0.4 и 0.6 массы Солнца соответственно.

Перспективы работы в рамках программы исследований ВДЗ

К ближайшим перспективам работы группы А.А. Киселева мы относим:

- 1) Получение новых ПВД-орбит еще для 16 ВДЗ, имеющих параллаксы HIPPARCOS:
 - а) имеющие длинные ряды: Stein 2051, ADS 895, 3353, 5746, 8450, 8980, 16291.
 - б) имеющие лучевые скорости: ADS 246, 7724, 8065, 8623, 9626, 14909, Gliese 745
 - в) имеющие короткие ряды, ПЗС-наблюдения и лучевые скорости: ADS12889,12913.
- 2) Увеличение количества измеренных рядов (О.В. Кияева, Л.Г. Романенко, Е.А. Грошева, О.А. Калиниченко) после освоения нового сканера (И.С. Измайлов).
- 3) Получение тригонометрических параллаксов избранных звезд нашей программы на основе наблюдений с помощью ПЗС-матрицы (И.С. Измайлов).

Большие надежды для развития Пулковской программы комплексных исследований ВДЗ мы связываем с новым космическим проектом GAIA, запуск которого планируется в 2012 г. Известно, что кроме получения тригонометрических параллаксов будут проведены наблюдения лучевых скоростей всех наблюдаемых звезд, в т.ч. слабых и тесных пар. Многие ВДЗ нашей программы входят в Input Catalog миссии GAIA. Т.о. область применения ПВД-метода к нашим звездам значительно увеличится (см. Шахт и др. [21-22]).

Литература

1. А.Н. Дейч, А.А. Киселев, Г.А. Плюгин, В.А. Соколова // Изв. ГАО в Пулкове №176, с.124-137 (1965).
2. А.А. Киселев, О.А. Калиниченко, Г.А. Плюгин, Н.А. Шахт, О.В. Кияева, Б.А. Фираго, О.П. Быков. Каталог относительных положений и движений 200 визуально-двойных звезд по наблюдениям в Пулкове на 26-дюймовом рефракторе в 1960-1986 гг. // Л.: Наука, 40 с. (1988).
3. А.А. Киселев, О.А. Калиниченко, О.В. Кияева, Н.А. Шахт, Л.Г. Романенко, И.С. Измайлов, О.П. Быков, К.Л. Масленников, Е.А. Грошева. Каталог относительных положений визуально-двойных звезд, полученных по фотографическим наблюдениям на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове, начиная с 1960 года. (2006) <http://puldb.ru/>

4. *А.А. Киселев, О.В. Кияева.* Определение орбиты визуально-двойной звезды методом параметров видимого движения по наблюдениям короткой дуги. // *Астрон. ж.*, т.57, с.1227-1241 (1980).
5. *Л.Г. Романенко, Е.Л. Ченцов.* // *Астрон. ж.*, т.71, с.278-281 (1994).
6. *А.А. Киселев, О.А. Калиниченко, О.П. Быков.* // *Изв. ГАО в Пулковке* №208, с.9-17(1994).
7. *A.A. Tokovinin and M.G. Smekhov.* // *Astron. and Astrophys.* v. 382, p.118 (2002).
8. *О.В. Кияева, Н.А. Горыня, И.С. Измайлов.* // *Письма в Астрон. ж.*, 2010, в печати.
9. *А.А. Киселев, Л.Г. Романенко, Н.А. Горыня.* // *Астрон.ж.*, т.86, №12, 2009, в печати.
10. *D.L. Gorshanov, N.A. Shakht, A.A. Kisselev.* Observations of the binary star 61 Cygni on the 26-inch refractor at the Pulkovo observatory. // *Astrophysics*, v.49, p.386-396 (2006).
11. *Н.А. Шахт.* // *Изв. ГАО в Пулковке* №214, с.77-90 (2000).
12. *О.В. Кияева, А.А. Киселев, Е.В. Поляков, В.Б. Рафальский.* // *Письма в Астрон.ж.*, т.27, №6, с.456-463 (2001).
13. *А.А. Киселев, О.В. Кияева.* // *Письма в Астрон.ж.*, т.29, с.46-49 (2003).
14. *О.В. Кияева, А.А. Токовинин, О.А. Калиниченко.* // *Письма в Астрон. ж.*, т.24, с.868-873 (1998).
15. *А.А. Киселев, Л.Г. Романенко.* Динамическое исследование 9 широких визуально-двойных звезд в окрестностях Солнца. // *Астрон. ж.*, т.73, №6, с.875-882 (1996).
16. *А.А. Киселев, Л.Г. Романенко, И.С. Измайлов, Е.А. Грошева.* // *Изв. ГАО в Пулковке* №214, с.239-254 (2000).
17. *А.А. Киселев, Л.Г. Романенко, О.А. Калиниченко.* // *Астрон. ж.*, т.86, №2, с.148-157 (2009).
18. *А.А. Киселев, Е.А. Грошева.* // *Труды ГАИШ*, т.LXXVIII, с.64 (2005).
19. *И.С. Измайлов, М.Л. Ховричева, М.Ю. Ховричев, О.В. Кияева, Е.В. Хруцкая, Л.Г. Романенко, Е.А. Грошева, К.Л. Масленников, О.А. Калиниченко.* // *Письма в Астрон. ж.*, 2009 – принята к печати.
20. *A.A. Kisselev, L.G. Romanenko.* Orientation of AMP-orbits of Pulkovo programme binary stars in the Galaxy coordinate frame. // *Astron. Soc. Pacific, Conf. Ser.*, v.316, p.250-254 (2004).
21. *Н.А. Шахт, А.А. Киселев, Л.Г. Романенко, Е.А. Грошева.* Исследование двойных звезд в рамках программы наземной поддержки проекта "GAIA". / В сб. "Всероссийская астрометрическая конференция "Пулково-2009". Тезисы докладов", с.58 (2009).
22. *N.A. Shakht, A.A. Kisselev, L.G. Romanenko et al.* // *GAIA Conference 27.10.2008.*

THE PULKOVO PROGRAM OF THE STUDIES OF VISUAL BINARIES BASED ON PHOTOGRAPHIC OBSERVATIONS WITH THE 26-INCH REFRACTOR: THE STATE AND PROSPECTS

Romanenko L.G.

The Central Astronomical Observatory of RAS, St.-Petersburg

The report outlines the body of the studies of visual binary stars (VBS) carried out since 1960 by the group headed by A.A. Kiselev. Presently, the Pulkovo program contains about 420 VBS supplied with uniform series of photographic observations made with the Pulkovo 26-inch refractor. The apparent motion parameters (AMP) method makes it possible to calculate the orbital elements of the binaries, provided the positional observations are supplemented by the relative radial velocities of the binary components and their parallaxes. About a half of our program stars are provided with HIPPARCOS parallaxes. The spectral observations of about 70 program VBS have been made with the radial-velocity-meter (RVM) in Crimea, the observations of other 30 VBS are being processed. In total, more than 60 program VBS have been provided with complete sets of the data. By now, AMP-orbits have been obtained for 40 program binaries and 2 triple stars; 34 of these orbits have been derived for the first time. The orientations of the orbits in the Galaxy reference frame have been calculated. Currently, we are planning to determine other 16 AMP-orbits of our program VBS.

КАТАЛОГ 21641 ЗВЕЗД ВОКРУГ 239 ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ АСТРОМЕТРИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ

**Рыльков В.П.¹, Дементьева А.А.¹, Нарижная Н.В.¹,
Пинигин Г.И.², Майгурова Н.В.², Процюк Ю.И.²**

¹ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия, vryl@gao.spb.ru

²НАО, Николаев, Украина, pinigin@nao.nikolaev.ua

Присоединяя данные новых наблюдений 2007-2008 гг., завершён следующий этап по увеличению плотности звезд сводного каталога звезд 11-17 mag для 239 областей, предназначенный для выполнения оптических наблюдений слабых астрометрических внегалактических радиоисточников (ERS) с целью их привязки к РСДБ наблюдениям (системе ICRS).

В состав его входят несколько фотографических каталогов и несколько, полученных на инструментах, оснащенных CCD-приемниками. На данном этапе обработано несколько десятков тысяч наблюдений, получены координаты 21641 звезд 9-17 зв. величин. Для 10922 звезд до +45 по склонению выбраны собственные движения из UCAC2. Для каталогов 198 полей с ERS выполнено сравнение совпадающих звезд со звездами каталога UCAC2 от отрицательных зон (-30 – Шанхайские наблюдения) до склонения +45.

Результаты сравнения с каталогом UCAC2 показывают, что внешняя точность сводного каталога порядка 0.05-0.15". Внутренняя точность положений по обеим координатам не хуже 0.10". Все положения звезд в каталоге либо переведены на эпоху и равноденствие J2000.0, либо даны на эпоху наблюдения.

Введение

Фундаментальная астрометрическая система координат (ICRF - The International Celestial Reference Frame) базируется на VLBI положениях около 600 компактных внегалактических радиоисточников (квазаров или ERS), причем 212 из них определяют саму систему (ICRS). Они наблюдаются радиоинтерферометрическими методами (VLBI) с точностью до миллионных долей угловой секунды и за наблюдаемые промежутки времени не показывают позиционных смещений на небесной сфере. Координаты астрометрических радиоисточников с достигнутой в настоящее время точностью в радиоастрометрии приведены в подробном исследовании S.Ma, et al. [1], в которой предложена новая система обозначений ERS. Наблюдения ERS продолжаются постоянно, все более уточняя их радиоположения. Наземная астрометрия основана на наблюдениях в оптическом диапазоне и вплоть до конца XX века ее базовыми основами были системы фундаментальных звезд, типа FK3, FK4, FK5, наблюдаемые в оптическом диапазоне. После завершения космического проекта «HIPPARCOS» за основную астрометрическую систему координат принята система каталога Hipparcos (HCRF - Hipparcos Celestial Reference Frame), реализующая систему ICRF. Через систему звезд, радиозвезд и доступных наблюдениям ERS система HCRF привязана к ICRF. Однако ошибки собственных движений и положений этого космического фундаментального каталога должны привести к вращению системы примерно в $0,25 \text{ mas yr}^{-1}$ по оценке Kovalevsky et al [2]. Дальнейшим развитием наземных фундаментальных систем является создание в Heidelberg (Wielen et al) каталога FK6, состоящего из 878 основных и 3272 дополнительных фундаментальных звезд, как результат комбинации Hipparcos и FK5 каталогов, по собственным движениям показывающему лучшую точность, чем каталог Hipparcos [3].

Для установления связи оптической и радио астрометрических систем координат наблюдения общих объектов в обоих диапазонах считаются основной задачей наземной позиционной астрометрии, решение которой в оптике возможно только с помощью те-

телескопов оснащенных высокочувствительными CCD-приемниками из-за исключительно малой яркости большинства ERS из основного списка (в основном ERS – 18-20^m). Трудность состоит еще и в астрономической редукации положений, так как переход от ярких опорных звезд к слабым осуществляется через 8-10 mag с помощью двухступенчатой привязки, что приводит к дополнительным потерям точности определения координат радиоисточников. Возникла необходимость создания высокоточной системы слабых опорных звезд вокруг внегалактических радиоисточников.

В настоящее время выполняется много работ по созданию такой системы опорных звезд вблизи астрометрических ERS [4-10], основное назначение которых дать возможность их наблюдения в оптическом диапазоне с достаточной точностью без многоступенчатой астрометрической привязки при редукации от ярких опорных звезд к слабым определяемым. Цель нашей работы – для увеличения плотности и точности положений опорных звезд создание сводного каталога звезд 11-17^m вблизи ERS путем объединения нескольких существующих земных каталогов по примеру создания FK3-FK6.

Входные каталоги

На первом этапе в нашем распоряжении были только четыре оригинальных каталогов звезд, полученных специально для будущих наблюдений слабых ERS с помощью CCD-детекторов [7]. Три из них были получены фотографическим путем на телескопах астрографах, и один в Николаеве получен на инструменте, оснащенный CCD-приемником.

Pul ERS - Пулково. Фотографические наблюдения выполнены на Пулковском Нормальном астрографе (330/3464) в 90-х годах прошлого столетия. Всего получено около 300 пластинок для 74 полей с внегалактическими радиоисточниками в поле. Для 35 областей в радиусе 20 угловых минут от центра ERS определены координаты около 5 тысяч звезд до 17^m.

PIRS-K - Киев Kiev (Photographic Intermediate Reference Stars) Catalogue. Фотографические наблюдения с помощью астрографа Киевского Университета (200/4126) проведены для 115 полей с ERS. Вычислены неплотные поля до 25 звезд в диаметре до 1 градуса вблизи ERS. Содежит 2875 звезд 12-15^m.

PIRS-B - Bucharest. Фотографические наблюдения 188 полей звезд с ERS выполнены в течение 90-х годов по методике близкой к методике Киевского Университета с помощью двойного астрографа (380/6000) Румынской национальной обсерватории в Бухаресте. Поля звезд, определяемые в окрестности ERS, имеют размер около 60 угловых минут. В каталоге 4700 звезд.

AMCIB - Николаев. Наблюдения с использованием CCD-матрицы выполнены на Аксиальном меридианном круге Николаевской обсерватории в конце 90-х и начале XXI века. Поле окрестности ERS ($\alpha \times \delta$) имеет размер 60×24 угловые минуты. Входной каталог содержит положения более 14400 звезд для 208 полей в системе опорного каталога UCAC2.

В исходных каталогах исключены звезды с большими расхождениями в положениях, кроме этого в процессе объединения каталоги Николаевской обсерватории дополнены новыми наблюдениями, а также переработаны и исключены все сомнительные наблюдения.

Позднее нам были переданы наблюдения более 30 полей с ERS китайскими астрономами, которые в основном принадлежат отрицательной зоне по склонению.

CHinCAT - Китай. CCD наблюдения выполнены на 2 метровом телескопе Шанхайской обсерватории. Представлены наблюдения в южной зоне полей ERS до склонения –30.

Понятно, что все рассматриваемые каталоги имеют разную значимость, т.е. разные веса при включении в сводный каталог. Мы приняли за веса – число наблюдений каждой звезды независимо от приемника излучения. Наибольшую кратность измерений отдельных звезд имеет каталог Николаевской обсерватории: до 6 измерений отдельных координат, второй по значимости каталог Pul ERS: от 3 до 5 пластинок (а значит и наблюдений звезды) на отдельные поля. Остальные содержат по одному измерению каждой звезды.

Объединение в сводный каталог

По аналогии с созданием земных фундаментальных каталогов было решено объединить эти каталоги, полученные приблизительно в одни и те же эпохи наблюдений. Поскольку каталоги наблюдались на разных инструментах и даже разными методами регистрации изображения, было необходимо изучить разности координат одних и тех же звезд, входящих в каталоги, на предмет систематических отклонений. При исследовании систематических разностей для значительной части звезд необходимые для решения этой задачи собственные движения звезд были взяты из каталога UCAC2 (N.Zacharias [6]) после их отождествления.

Всего обработано более 100 тысяч звездных положений, представленных в этих каталогах. Путем взаимного отождествления и выявления совпадающих звезд в каталогах были усреднены и включены в сводный каталог более 10 тысяч звезд для 151 поля вблизи ERS, имеющие собственные движения из UCAC2, а также положения еще около 12 тысяч звезд, полученные из объединяемых каталогов, не имеющих собственных движений. Все звезды, которые имеют собственные движения (поля по склонению до $+45^\circ$), переведены на эпоху и равноденствие J2000, для остальных мы приводим их положения на среднюю эпоху наблюдения.

Таким образом, для 239 полей радиуса до 15-20 arcmin с внегалактическими радиоисточниками ICRF в центре нами получен каталог положений 21641 опорных звезд. Почти половина из этих звезд (10922) имеют собственные движения из каталога UCAC2. На сегодняшний момент каталог неравномерен – довольно много полей содержат меньше десятка звезд, что можно видеть на рис. 1 по большому количеству минимумов на распределении. Это в основном поля, которые не входили в программы наблюдений в Пулково и Николаеве. Сейчас мы пытаемся увеличить число звезд в них, подключая новые наблюдения и новые каталоги. На рис. 2 в схеме Хаммер-Айтофа дано распределение полей опорных звезд с центром в ICRF ERS на небесной сфере в экваториальной системе координат.

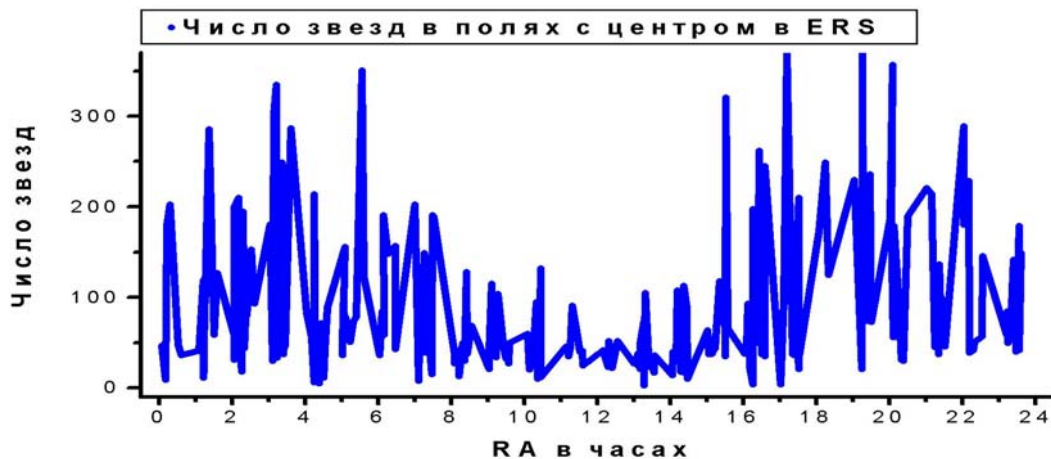


Рис. 1. Распределение звезд по площадкам с ERS по прямому восхождению.

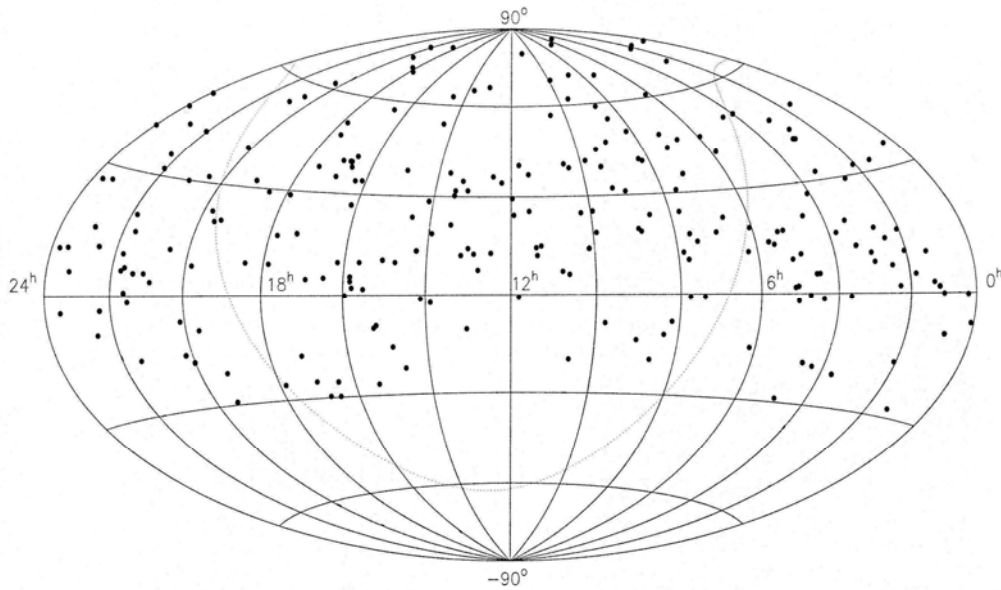
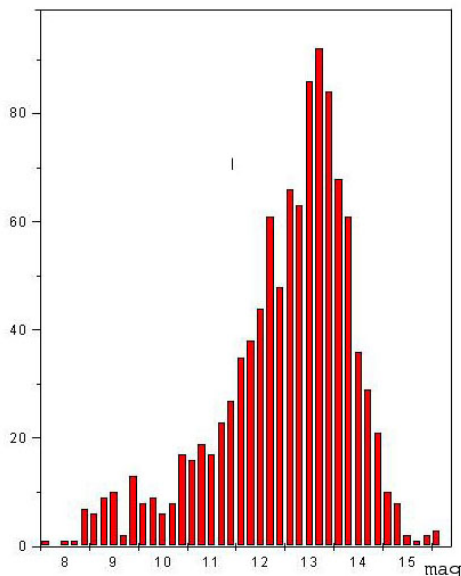


Рис. 2. Распределение 239 областей звезд с ERS по небесной сфере.

Исследование каталога

Нами просчитаны средние значения отклонений (O-C) полученных координат опорных звезд от их положений в каталоге UCAC2 совпадающих звезд для 198 полей с радиоисточниками. Ранее более десятка полей с достаточно большим числом звезд были сравнены с их координатами в каталоге SMC13 [8]. Для нескольких областей и в том и в другом случае сравнения по достаточно большому числу звезд обнаружено наличие остаточных систематических отклонений по прямому восхождению и склонению. Заметим, что для многих областей их средние значения в пределах 100 mas есть и в RA и в DE, а для нескольких полей превышают 200 mas в DE. Однако эти отклонения в RA носят чаще всего случайный характер, не образуя для близлежащих областей звезд систематических отклонений. Для DE отметим наличие отрицательной составляющей в 50-100 mas в средних значениях разностей относительно совпадающих звезд с UCAC2 почти для всех полей. Нам предстоит выяснить – результаты какого входного каталога занижают координаты звезд поля по склонению.



На рис. 3 показано распределение части звезд (~50%) сводного каталога по звездной величине. Если учесть то обстоятельство, что звезды не имеющие отождествления с каталогом UCAC2 в основном слабее каталожных, то можно считать, что центр распределения по звездной величине для нашего каталога лежит в диапазоне 14-15 звездной величины, т.е. смещен в сторону более слабых звезд относительно нашего графика совпадающих с UCAC2 звезд.

Рис. 3. Распределение звезд по звездной величине для более 10 тысяч звезд в полях с ERS [8]

Сравнение с UCAC2 показало, что для большинства совпадающих с ним звезд точность порядка 0,05-0,15" по обеим координатам. Внутренняя точность вычисляемых координат звезд поля при усреднении положений не хуже 0,10".

Причины отклонений в RA и наличие в большинстве областей звезд отрицательной систематической составляющей в разностях в DE диктуют необходимость периодических наблюдений и уточнения положений звезд в каталогах, используемых в качестве опорных при получении оптических координат самих ICRS радиоисточников. В этом мы и видим основную цель наблюдений полей вокруг ERS. Только имея высокоточную систему слабых опорных звезд можно получить достаточно точные оптические координаты ICRF ERS для выявления связи оптических и радио систем координат в астрометрии и отслеживать динамику вращения астрометрических систем как земных так и космических относительно ICRS.

Заключение

В настоящее время в сводный каталог мы подключаем несколько других каталогов, выборки из которых, по предварительным исследованиям, позволят повысить плотность звезд в области с ERS на 25-30 % в размерах принятых нами полей для наблюдений с CCD-приемниками даже при принятой предельной величине до 17^m.

ERLCat – USNO, Вашингтон. Фотографические наблюдения выполнены на двух инструментах в северном и южном полушарии с 1976 до 1991 г [4]. Каталог содержит положения 89422 звезд от 12^m до 14^m для 398 полей с ERS.

КМАК1 – Киев. Наблюдения с использованием CCD-микрометра 1040×1060 выполнены на Киевском Меридианном Аксиальном круге [9]. Каталог содержит положения более 115 тысяч звезд до 17^m от 0 до +30 по склонению для 192 полей ERS в системе опорных каталогов CMC-13 и UCAC2. Размер области 46×24' (RA×DE).

XCI – Харьков. Каталог содержит положения звезд до 19^m северного неба для 255 градусных областей ERS в системе опорного каталога Tycho-2 [10]. Основан на измерениях пластинок ROSS-I и ROSS-II измерительной машиной USNOFS PMM. Точность положений декларируется до 50-150 mas на среднюю эпоху, точность для собственных движений 2-5 mas/уг. Этот достаточно представительный каталог (856421 звезд), имеющий собственные движения для звезд до 19^m планируем использовать для перевода отождествленных с ним звезд из других входных каталогов на средние эпохи наблюдений каждой звезды. Это должно уменьшить индивидуальные ошибки координат звезд при усреднении и повысить количество звезд сводного каталога, имеющих высокоточные собственные движения.

Кроме того, как показывают наши первые наблюдения полей с центром в ERS на Нормальном астрографе с использованием CCD-приемника, результаты их уже сейчас дают возможность увеличения числа звезд в окрестностях ICRF ERS. Надеемся, что появление полного каталога всего неба UCAC3 позволит нам сделать сравнение получаемого сводного каталога для всех зон наблюдений в едином формате.

Сводный каталог имеет необходимые позиционные данные для контроля оптических наблюдений слабых звезд 13-17^m в будущих космических проектах и представляет собой один из проектов наземного обеспечения при подготовке космических миссий, типа GAIA и SIM. При повторении наблюдений такие поля с ERS ICRF, определяющих инерциальную систему координат, и имеющих в своей окрестности высокоточную систему слабых опорных звезд должны стать хорошими астрометрическими стандартами.

Литература

1. C. Ma, E.F. Arias, T.M. Eubanks, A.L. Fey, A.M. Contier, et al., The International Celestial Reference Frame as Realized by Very Long Baseline Interferometry, A.J., 116, July 1998, pp.516-546.
2. J. Kovalevsky, L. Lindegren, M.A.C. Perriman, et al., The Hipparcos Catalogue as a Realization of the Extragalactic Reference System, 1997, A&A, 323, pp.620-633.
3. J. Vondrak, Astrometric Star Catalogues as Combination of Hipparcos/tycho Catalogues with Ground-Based Observations, Serb. Astron. J., 2004, № 168, pp.1-8
4. C. de Vegt, R. Hindsley, N. Zacharias, and L. Winter, A Catalog of Faint Reference Stars in 398 Fields of Extragalactic Radio Reference Frame Sources, A.J., 121, May 2001, pp.2815-2818.
5. Y. Babenko, A. Daniltsev, N. Maigurova, G. Pinigin, A. Dementyeva, V. Ryl'kov, et al., "Reduction of Compiled Catalogue in the Selected extragalactic Radio Source Fields. Preliminary Estimation", Romanian Astronomical Journal, 2003, vol.13, № 1, pp.77-81.
6. N. Zacharias, T.J. Rafferty, M.I. Zacharias, The UCAC Astrometric Survey, 2000, in ASP Conf. Ser., Vol. 216, Astronomical Data Analysis Software and Systems IX, eds. N. Manset, C. Veillet, D. Crabtree (San Francisco: ASP), 427.
7. V. Ryl'kov, A. Dement'eva, N. Narizhnaya, G. Pinigin, N. Maigurova, Yu. Protsyuk, G. Bocsa, P. Popescu, V. Kleschenok, "Compiled Catalogue of Reference Stars around Extragalactic Radio Sources. Reduction Techniques and the First Results". Kinematics and Physics of Celestial Bodies, Supl.Ser., 2005, № 5, p.328-332.
8. В.П. Рыльков, А.А. Дементьева, Н.В. Нарижная, Г.И. Пинигин и др., "Исследование ошибок сводного каталога опорных звезд вокруг внегалактических радиоисточников", 2006, Известия ГАО в Пулкове, № 218, с.126-134.
9. P. Lazorenko, Yu. Babenko, V. Karbovsky at al., The Kiev Meridian Axial Circle Catalogue of stars in fields with Extragalactic Radio Sources, 2005, A & A, 438, 377.
10. P. Fedorov, A. Myznikov, Compiled Catalogue of Reference Stars around Extragalactic Radio Stars, Reduction Techniques and the First results, KFNT, Supl. ser, № 5, 2005, pp.134-140.

COMPILED CATALOGUE OF 21641 REFERENCE STARS AROUND 239 ASTROMETRIC EXTRAGALACTIC RADIO SOURCES

Ryl'kov V.P.¹, Narizhnaja N.V.¹, Dement'eva A.A.¹,
Maigurova N.², Pinigin G.², Protsyuk Yu.²

¹Main Astronomical Observatory of RAS, Russia, (vyl@gao.spb.ru)

²RI "Nikolaev Astronomical Observatory", Ukraine, (pinigin@mao.nikolaev.ua)

For realization of optical CCD-observations of faint astrometric extragalactic radio sources (ICRF ERS) with the purpose of their link to VLBI-observations (ICRS system), the compiled catalogue of more than 21641 reference stars of 10-16 magnitude was obtained for 239 fields of declinations from -17° to $+80^\circ$ with a center in ERS. Some differential catalogues of reference stars around extragalactic radio sources obtained from photographic and CCD-observations by different observatories were considered. For 10922 stars up +50 in DE was chosen the proper motion from UCAC2.

Comparison of positions of stars was made with the UCAC2, CMC13 catalogues. For majority of chosen fields from the compiled catalogue, the average external accuracy is about 0.05-0.15". The internal accuracy of positions on both coordinates is not worse 0.10". The positions of stars in the compiled catalogue are given for stars with chosen from the UCAC proper motions on the epoch and the equinox of J2000.0, and for another one on the epoch of observation.

АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 78 ГАЛАКТИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ

Рыльков В.П., Нарижная Н.В.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория
196140, Санкт-Петербург, Пулковское ш., 65/1
E-mail: vryl@gao.spb.ru, nnat@gao.spb.ru

Завершен очередной этап выполнения программы Pul-GRS по измерению и обработке фотографических наблюдений галактических радиоисточников (GRS) северного неба из списка H.G.Walter' at al. Все эти радиоисточники были подготовлены для входного каталога космической программы HIPPARCOS и были успешно отнаблюдены из космоса. На Пулковском Нормальном астрографе (НА, $D = 33$, $F = 346$) фотографические наблюдения этих радиозвезд выполнены в конце прошлого века (1994-1999 гг.). Цель таких наблюдений - уточнение координат радиозвезд, которые могут быть галактическими реперами для определения связей опорных систем координат, традиционных земных, основанных на многолетних оптических наблюдениях, позиционных космических систем и VLBI-наблюдений астрометрических внегалактических радиоисточников (ERS), реализующих стабильные ICRS фундаментальные системы. Для вычисления положений 78 радиоисточников от 2.4 до 12 зв. величин измерено и обработано более 200 фотопластинок.

Координаты радиоисточников получены на эпоху наблюдения в системе ICRF J2000.0 с использованием опорных звезд из каталога Tycho-2. Внутренняя точность положений, вычисленных как среднее из нескольких значений - $0.02-0.12''$. Сделано сравнение полученных координат радиозвезд с их положениями, отождествленными в каталогах СМС, РРМ, Tycho-2 и Hipparcos. Достаточно большое количество звезд (около 10) показали значительные (более $0,20''$) отклонения в RA и DE для (O-C) в разностях с их положениями в опорных каталогах. Сделано сравнение координат 28 радиозвезд с их значениями, полученными методами VLA+PT с привлечением радионаблюдений.

Согласно астрономической базе данных в Страсбурге все эти источники являются переменными или кратными звездами разного типа. В каталоге 78 оптических положений GRS приводятся некоторые астрофизические характеристики самих радиоисточников, показывающие физическую природу возникающего радиоизлучения.

Наблюдение галактических радиоисточников (радиозвезд, Galactic Radio Stars – GRS) является сейчас одной из приоритетных задач позиционной астрометрии, которая, кроме изучения природы самих радиоисточников, дает позиционной астрометрии промежуточные галактические радио и оптические реперы для привязки к положениям внегалактических радиоисточников (Extragalactic Radio Star – ERS), задающих сейчас международную астрономическую систему ICRS (International Celestial Reference System). Это дает дополнительную возможность привязывать земные оптические астрономические координатные системы к системе ICRS в ее принятой реализации ICRF через высокоточные позиционные VLBI-наблюдения более 200 ERS [1], поскольку галактические радиозвезды достаточно яркие объекты и отлично наблюдаются земными оптическими инструментами. В качестве первой оптической реализации системы ICRS резолюция 24 съезда IAU в 2000 г объявила космическую систему Hipparcos Celestial Reference Frame (HCRF). Однако, поскольку ERS из-за их очень слабой яркости в проекте Hipparcos наблюдаться не могли, связь созданной HCRF с ICRF была осуществлена через точные VLBI положения 12 галактических радиозвезд [2]. Практически все известные на начало 90-х галактические радиозвезды (~ 200 объектов [3]) были включены в программу наблюдений космического проекта HIPPARCOS, их наблюдения в космосе выполнены и результаты приведены в итоговых каталогах Hipparcos, Tycho и Tycho-2.

В последние годы внимание астрономов к этим объектам, по-видимому, по вышеупомянутой причине, снова возросло и уже появилось несколько астрометрических работ [4, 5], выполненных с очень высокой точностью с привлечением дифференциальных VLA+PT наблюдений. В них получены координаты GRS с точностями в основном лучше 0,2 mas [4] и даже их собственные движения с минимальными ошибками [5], которые показали хорошее согласие с результатами их наблюдений в проекте Hipparcos. С помощью этих наблюдений пытаются отслеживать движение и вычислить моменты вращения системы HCRF относительно ERS ICRS.

В Пулкове программа фотографических наблюдений галактических радиозвезд (Pul GRS) северного неба до -10° склонения была начата осенью 1994 г. на Пулковском Нормальном Астрографе (НА, 33/346), поле фотопластинки $2 \times 2^\circ$. Объекты для наблюдений были сформированы из списка галактических радиозвезд H.G. Walter [3], подготовленного для входного каталога Hipparcos. Предполагалось получить фотографические экваториальные координаты самих радиоисточников и создать плотную систему слабых опорных звезд 10-16m в их окрестностях для наблюдений с CCD-детекторами.

Программа Pul GRS и методика получения точных положений самих радиозвезд и системы опорных звезд в их окрестностях описана в нашей работе 1996 г. [6] и в последующих работах [7-9]. До завершения фотографических наблюдений на Нормальном астрографе (в 2004 г. установлен CCD-приемник) мы получили свыше 300 фотопластинок для более чем 90 областей с GRS: по две-три фотопластинки для каждой как минимум. Для каждой области с целью получения наиболее точных координат радиозвезд обычно снимались пластинки с несколькими экспозициями и с ослабляющим яркие радиозвезды напыленным светофильтром. Число и продолжительность экспозиций было пропорционально их звездной величине. Следует отметить трудности при измерении некачественных фотопластинок; много темных, нарезанных (нестандартного размера) – поскольку производство астрономических фотопластинок прекратилось и приходилось снимать на просроченные (после гиперсенсibilизации водородом) и вырезать из пластинок форматов большего размера.

Измерялись практически все видимые на пластинке звезды в радиусе до 20-25 угловых минут от центра в радиоисточнике, что позволило получить с хорошей точностью координаты GRS и вторичной системы слабых опорных звезд в окрестностях радиоисточников. В табл.1. даны основные астрофизические характеристики и астрометрические экваториальные координаты для 78 радиозвезд, обработанным по нашим фотопластинкам. В таблице приведены средние эпохи наблюдений для каждого GRS и характеристики переменности полученных нами радиозвезд. Также даны классические имена этих звезд в созвездиях, их номера по каталогу Hipparcos, звездные величины по каталогу Tycho-2 и их сложные спектральные характеристики.

В приложении к таблице 1. описаны значения отмеченных нами физических характеристик звезд, проливающих свет на возможные причины возникающего в них радиоизлучения. После номера и имени звезды мы приводим физические, фотометрические и спектральные характеристики наблюдаемых GRS, причем в большей степени эти данные, взятые из обзорной статьи H.G. Walter et al. [3], изменены дополнительными выборками из Страсбургских каталогов [10]. Практически все GRS списка являются переменными звездами разного типа. Следует отметить, что при наблюдениях последних лет для 9 звезд из 78 GRS нет подтверждения радиоизлучения, что в табл.1. отмечено индексом «n». Большинство радиоисточников являются двойными типа Алголь (β Per, Hip 14576) или переменными типа RS CVn и источниками X-Ray излучения, что должно быть дополнительным фактором для их пристального изучения различными астрономическими методами.

Таблица 1. Астрометрические фотографические координаты 78 галактических радиоисточников и их характеристики.

| N | номер HIP. | Имя звезды | Характеристика переменности | mag | Спектр тип | Эпоха 1999х.х | RA in GRAD | DE | Ошибки средн. n | Hip (O-C) |
|----|------------|------------|-----------------------------|------|------------|---------------|--------------|-------------|-----------------|-----------|
| 1 | 1196 | UU Psc | AL,SWU | AV | 6.38 | F0,5IV | 3.74510421 | 8.82094455 | .07 .03 | 5 -9 -9 |
| 2 | 3693 | zet And | RS,bLy | VnX | 5.49 | K1 Iie | 11.83483347 | 24.26726139 | .05 .11 | 7 -1 -10 |
| 3 | 5951 | AY Cet | RS | AVRX | 6.53 | G5IIie | 19.15120856 | -2.50038614 | .05 .00 | 2 -36 -32 |
| 4 | 5980 | UV Psc | RS,bLy | V X | 9.90 | G0V+K0IV | 19.22959189 | 6.81173341 | .06 .04 | 3 1 18 |
| 5 | 6448 | BI Cet | RS | VRX | 9.16 | G0 | 20.70970024 | .71234723 | .06 .05 | 4 -5 -12 |
| 6 | 6454 | AR Psc | RS,XB | V X | 8.38 | G5 | 20.73635024 | 7.41888620 | .03 .02 | 3 0 -13 |
| 7 | 6669 | HD 8634 | Spb | X | 6.71 | F5 III | 21.39861692 | 23.51154194 | .01 .01 | 4 2 -2 |
| 8 | 13133 | RZ Cas | AL | V X | 6.44 | A2V+G6IV | 42.23124633 | 69.63422026 | .02 .04 | 6 -4 -6 |
| 9 | 14576 | bet Per | AL | AV X | 2.07 | B9 V | 47.04209222 | 40.95568659 | .03 .04 | 4 -31 13 |
| 10 | 14763 | EL Eri | RS | V X | 9.60 | K0 | 47.66042972 | -5.39389451 | .05 .06 | 4 -2 6 |
| 11 | 15003 | LX Per | RS,AL | V X | 9.14 | G0V+K0IV | 48.34313806 | 48.10876167 | .09 .09 | 3 10 -9 |
| 12 | 15063 | CC Cas | AL,bLy | V | 7.66 | O9 III | 48.52219640 | 59.56348681 | .08 .08 | 3 -5 6 |
| 13 | 16042 | UX Ari | RS | VRX | 7.60 | G5V+K0IV | 51.64735477 | 28.71520867 | .05 .01 | 3 -10 -7 |
| 14 | 16879 | V837 Tau | BY | V X | 8.15 | G0,2 V | 54.29558813 | 25.99145586 | .04 .06 | 3 -12 -4 |
| 15 | 19762 | V773 Tau | BY,TT | V X | 12.34 | K2 e | 63.55382574 | 28.20342811 | .05 .02 | 4 0 -2 |
| 16 | 20070 | b Per | EL,EB | V | 4.66 | A2 V | 64.56069659 | 50.29553670 | .03 .09 | 3 -30 -9 |
| 17 | 21482 | V833 Tau | BY | AV X | 9.50 | K2,5 ep | 69.20071331 | 27.13232809 | .04 .09 | 3 -3 -9 |
| 18 | 22349 | NSV 1724 | RS,Spb | V | 7.72 | G2,5 V | 72.17527168 | 18.70995855 | .06 .04 | 4 -10 -1 |
| 19 | 23743 | BM Cam | RS | V X | 7.52 | K0 III | 76.55054256 | 59.02138124 | .08 .00 | 2 -5 4 |
| 20 | 26233 | V1046 Ori | Spb,SX | V X | 6.37 | B2 V | 83.84106348 | -4.49419172 | .03 .09 | 7 -15 -6 |
| 21 | 26795 | V1149 Ori | RS | V X | 8.28 | G5 | 85.36152600 | 3.77794727 | .04 .04 | 3 -18 -30 |
| 22 | 27913 | 54 Ori | Hpt | V X | 5.10 | G1 V | 88.59597603 | 20.27631968 | .04 .06 | 5 -8 2 |
| 23 | 27989 | alf Ori | Srp | AV | 2.85 | M1Iab | 88.79287187 | 7.40696120 | .04 .04 | 8 -9 -31 |
| 24 | 28715 | CQ Aur | RS,AL | VnX | 10.08 | G0III | 90.97358440 | 31.32810037 | .01 .02 | 4 13 -5 |
| 25 | 35600 | AR Mon | RS,AL | V X | 10.15 | (G3+K2) III | 110.20189295 | -5.25994451 | .04 .04 | 4 2 -2 |
| 26 | 37629 | sig Gem | RS | VRX | 5.68 | K1 III | 115.82790552 | 28.88384200 | .07 .07 | 5 -7 4 |
| 27 | 39348 | AE Lyn | RS | V X | 7.24 | F8 V | 120.64911807 | 57.27367567 | .01 .00 | 2 -12 -10 |
| 28 | 41274 | IU Hya | RS | V | 8.54 | G5 | 126.30878897 | -7.17030564 | .03 .06 | 3 -2 -28 |
| 29 | 42303 | RU Cnc | RS,AL | V X | 10.93 | dF9+dG9 | 129.37558068 | 23.56156416 | .01 .01 | 4 13 0 |
| 30 | 42432 | RZ Cnc | RS,AL | V X | 10.49 | K1,3.4III | 129.78560568 | 31.79569759 | .06 .09 | 4 5 -3 |

Таблица 1 (продолжение).

| N | номер HIP. | Имя звезды | Характеристика переменности | mag | Спектр тип | Эпоха 1999х.х | Координаты HCRF, J2000 RA in GRAD | DE | Ошибки средн. " " " | Hip (O-C) |
|----|---------------|---------------|--------------------------------|-----------|---------------|------------------|---|-------------|---------------------------|-----------|
| 31 | 44998 | XY Uma | RS | V X 10.57 | G2, 5V+K5V | 5.249 | 137.48318494 | 54.48849508 | .08 .06 3 | 0 0 |
| 32 | 49018 | DH Leo | BY | V X 8.98 | K0 V | 9.205 | 150.00714758 | 24.55272529 | .08 .04 4 | -4 -8 |
| 33 | 51502 | NSV 4864 | var. | V X 5.69 | F2 V | 5.241 | 157.77020184 | 82.55856485 | .02 .02 4 | -1 1 |
| 34 | 51814 | 37 Uma | - | n 5.55 | F2 V | 9.203 | 158.79013935 | 57.08267844 | .06 .09 5 | -42 17 |
| 35 | 53425 | DM Uma | RS | V X 10.58 | K1III, IV | 6.192 | 163.93157275 | 60.46935348 | .04 .05 3 | 9 -8 |
| 36 | 56974 | RW Uma | RS, AL | V X 10.88 | G0V, F9V | 5.244 | 175.19321871 | 51.99814783 | .01 .06 3 | 6 -10 |
| 37 | 59600 | HU Vir | RS | V X 9.94 | K0, 1 | 5.244 | 183.33625214 | -9.07966677 | .03 .07 4 | 3 7 |
| 38 | 59796 | DK Dra | RS | V X 7.75 | K0 III | 5.247 | 183.92287298 | 72.55125640 | .03 .05 3 | -4 9 |
| 39 | 61281 | kap Dra | Be, PCy | V 3.72 | B6IIIpe | 5.241 | 188.37078137 | 69.78818970 | .05 .04 3 | -5 -11 |
| 40 | 62512 | PLX 2946 | - | X 6.39 | F5, 7 Vw | 5.247 | 192.16395224 | 60.31993404 | .00 .01 2 | -34 25 |
| 41 | 64293 | RS CVn | RS, AL | V X 8.94 | F5 IV | 5.246 | 197.65386481 | 35.93483098 | .05 .03 4 | 0 -9 |
| 42 | 65411 | IN Vir | RS | V X 10.63 | K5 | 5.246 | 201.10053985 | -2.31509169 | .06 .09 3 | -9 -7 |
| 43 | 65915 | FK Com | RS | VRX 9.29 | G0 IIIPn | 5.258 | 202.69508153 | 24.23270862 | .05 .04 3 | -2 -9 |
| 44 | 66257 | BH CVn | RS | VRX 5.41 | (F2+K) IV | 5.255 | 203.69898571 | 37.18244766 | .00 .09 2 | -21 7 |
| 45 | 68064 | ZZ Boo | RS, AL | V 7.23 | F2 V | 5.260 | 209.03981494 | 25.91870864 | .01 .03 2 | 4 -3 |
| 46 | 71115 | 26 Boo | - | nX 6.33 | F2 IV | 5.249 | 218.13570671 | 22.26002804 | .03 .03 2 | -21 8 |
| 47 | 73473 | del Lib | AL | AV X 4.98 | A0 V | 5.249 | 225.24311930 | -8.51893065 | .01 .01 2 | -30 2 |
| 48 | 74509 | SS Boo | RS, AL | VnX 11.12 | G0V+K1IV | 6.215 | 228.38562767 | 38.56824767 | .06 .07 7 | 5 5 |
| 49 | 75325 | GX Lib | RS | V X 8.68 | K0 | 5.260 | 230.85856103 | -6.61036119 | .04 .05 2 | -4 -12 |
| 50 | 76658 | RW CrB | AL | Vn 10.75 | F6 V | 5.310 | 234.81346107 | 29.62211979 | .00 .03 4 | -6 0 |
| 51 | 78512 | AG Dra | SY, ZAn | V X 11.52 | K3IIIep | 5.310 | 240.42094864 | 66.80279800 | .02 .06 3 | 5 -9 |
| 52 | 79607 | TZ CrB | RS | AVRX 6.26 | G0 Ve | 5.255 | 243.67046951 | 33.85869484 | .06 .08 2 | -52 -11 |
| 53 | 81519 | WW Dra | RS, AL | AV X 9.52 | G0 V | 5.310 | 249.76649875 | 60.69973960 | .04 .09 4 | -4 0 |
| 54 | 82080 | eps UMi | RS, AL | AVnX 5.34 | G5III+da8 | 5.312 | 251.49240294 | 82.03727318 | .02 .05 3 | -4 6 |
| 55 | 84014 | V792 Her | AL, exB | V X 9.30 | K0 | 4.605 | 257.60668217 | 48.96567557 | .02 .04 3 | 3 3 |
| 56 | 85852 | DR Dra | RS | V X 7.98 | K0IIIwd | 4.655 | 263.17201557 | 74.22728698 | .02 .05 4 | -3 -4 |
| 57 | 87311 | ET Dra | Ro | V X 10.99 | K2-3 | 4.660 | 267.60468646 | 70.76006749 | .04 .06 4 | 0 -7 |
| 58 | 88008 | MM Her | RS, AL | V X 10.74 | G8 IV | 6.478 | 269.66050731 | 22.14634193 | .08 .07 8 | 5 -7 |
| 59 | 88848 | V815 Her | RS | VRX 8.59 | G5V+dM | 6.600 | 272.06664901 | 29.69117257 | .04 .07 4 | -21 -2 |
| 60 | 92420 | bet Lyr | bLy | V X 3.68 | B8 I | 4.605 | 282.51995746 | 33.36269761 | .06 .02 4 | -5 8 |

Таблица 1 (продолжение).

| N | номер HIP. | Имя звезды | Характеристика переменности | mag | Спектр тип | Эпоха 1999х.х | Координаты RA in GRAD | J2000 DE | Ошибки средн. n | Hip (O-C) | | | |
|----|------------|------------|-----------------------------|------|------------|---------------|-----------------------|-------------|-----------------|-----------|---|-----|-----|
| 61 | 93733 | HD178208 | sds | A n | 8.22 | K3III | 286.29104084 | 49.92317280 | .04 | .04 | 4 | 6 | 5 |
| 62 | 94013 | V1762 Cyg | RS | V X | 6.01 | K1IV | 287.10766585 | 52.42578950 | .05 | .05 | 4 | -4 | -7 |
| 63 | 98298 | V1357 Cyg | HXB | V XG | 9.79 | O9, 7Iab | 299.59034100 | 35.20160041 | .02 | .02 | 8 | 5 | -4 |
| 64 | 100214 | V444 Cyg | WR, AL | V X | 8.57 | O6+WN5.5 | 304.88505773 | 38.73165879 | .02 | .03 | 8 | -9 | 0 |
| 65 | 100287 | V1687 Cyg | WR | AV X | 7.38 | WCp+O5 | 305.11651189 | 43.85449496 | .08 | .09 | 3 | -15 | -10 |
| 66 | 101341 | V729 Cyg | bLy | V X | 11.03 | O7eIa | 308.09344943 | 41.30524493 | .03 | .02 | 4 | 3 | -9 |
| 67 | 103833 | ER Vul | RS, WU | V X | 8.08 | G5 V | 315.60779952 | 27.80732255 | .03 | .06 | 5 | 0 | -4 |
| 68 | 107350 | HN Peg | Fl, BY | VRX | 6.66 | G0VH-O5 | 326.13017464 | 14.77213351 | .04 | .01 | 4 | -2 | 9 |
| 69 | 108317 | VV Cep | AL, VVC | V | 7.17 | M2Iab+B6II | 329.16308718 | 63.62553963 | .07 | .04 | 3 | -1 | -8 |
| 70 | 108644 | FF Agr | RS, AL | V X | 10.46 | G5IV/G8III | 330.15171635 | -2.74076948 | .01 | .03 | 4 | 0 | 5 |
| 71 | 108728 | RT Lac | RS, bLy | V X | 10.38 | G5 | 330.37806636 | 43.89036162 | .04 | .03 | 3 | 12 | -27 |
| 72 | 109303 | AR Lac | RS, AL | VRX | 7.06 | G4 V | 332.17020804 | 45.74215887 | .03 | .05 | 4 | 5 | -9 |
| 73 | 111072 | V350 Lac | RS | AV X | 7.93 | K2III | 337.52709561 | 49.35643947 | .07 | .02 | 3 | -8 | 0 |
| 74 | 113561 | PLX 5576 | dm, sr | V X | 6.37 | G0Iab, 4 | 345.02114153 | 56.94537289 | .02 | .03 | 2 | -22 | -1 |
| 75 | 114345 | RZ And | var.? | Vn | 10.77 | K0 | 347.37519155 | 53.04439229 | .10 | .09 | 6 | 8 | -1 |
| 76 | 116584 | lam And | RS | AV X | 5.10 | G8III | 354.39065414 | 46.45875888 | .03 | .06 | 4 | -4 | -3 |
| 77 | 117503 | OU And | RS, Ro | V X | 6.84 | G2III | 357.42063334 | 36.42530043 | .04 | .01 | 7 | -9 | -8 |
| 78 | 117915 | II Peg | RS | V X | 8.81 | K0, 1 V | 358.76589169 | 28.63360033 | .09 | .05 | 3 | -10 | -9 |

Сокращения описаний астрофизических характеристик переменности GRS

- R - (Radio source) Rad 20sm
 - G - (gamma-ray source)
 - A - A, dm double of multiple star
 - Sds - Star in Double system
 - X - x-ray source (XB - X-ray Binary)
 - HXB - High Mass X-ray binary
 - AL - Eclipsing binary of Algol.type
 - RS - Variable of RS CVn type
 - Srp - Semi-regular pulsating star
 - n - не подтверждено радиоизлучение
- Спектральные характеристики имеют свои общепринятые значения
- Eclipsing binary
 - Binary of W Uma type
 - Similar to W Uma variable
 - Binary of β Lyr.type
 - Eclipsing X-ray binary
 - Flare star
 - Ellipsoidal variable star
 - Wolf-Rayet star
 - Spectroscopic binary
 - Be star
 - EB Variable of BY Dra type
 - WU Variable of SX Ari type
 - SWU Variable of P Cyg type
 - bLy Variable of Z And type
 - eXB VV Cep variable
 - Fl High proper motion
 - EL Semiregular variable
 - WR T Tau type star
 - Spb Rotationally variable
 - Be Symbiotic star

При вычислении астрометрических координат GRS для пластинок нормального астрографа применялся метод редукции с восемью постоянными, поскольку использовались опорные звезды практически по большей части поля ($1,5 \times 1,5^\circ$) пластинки нормального астрографа. Число опорных звезд для астрометрической редукции координат GRS в основном от 15 до 30. Ошибки единицы веса при вычислении координат с использованием в качестве опорного каталога звезд Tycho-2 – обычные для фотографических наблюдений, – порядка $0,15-0,25''$ по обеим координатам.

Положения всех радиозвезд получены на среднюю эпоху наблюдений в системе HCRF на равноденствие J2000.0. Внутренняя сходимостъ при усреднении разного числа фотоположений для каждой GRS в среднем равна $0,02-0,10''$ по прямому восхождению и склонению. Количество измерений и значения внутренних ошибок приведены в предпоследних столбцах табл.1 – сразу после самих значений экваториальных координат GRS в RA и DE. Положения радиоисточников приводятся в единой градусной форме, как для прямого восхождения, так и для склонения. В двух последних столбцах табл.1. даны значения разностей (O-C) относительно 78 положений GRS, переведенных на нашу эпоху наблюдений из космического фундаментального каталога Hipparcos.

Мы сравнивали наши результаты с положениями совпадающих радиозвезд в земных оптических каталогах CMC, PPM [9] и, полученных в космическом эксперименте HIPPARCOS - каталогах Hipparcos и Tycho-2, а также положениями GRS, наблюдаемыми другими авторами и методами [4, 5]. Результаты сравнения приведены на графиках в рис.1-3, в названиях которых указывается число совпадающих сравниваемых радиозвезд. В работе [5] методами дифференциальной радиоастрометрии – Very Large Array (VLA) в X-полосе радионаблюдения, объединяются с наблюдениями с VLBI антенной в Ри Таун (RT), Нью Мехико – измерены астрометрические положения 46 радиоисточников относительно ICRF квазаров. С высокой точностью (до 10 mas) получены координаты и собственные движения 46 галактических радиозвезд, с которыми мы имеем 28 общих звезд. Для всех 28 в табл.2 мы приводим значения отклонений (O-C) от их положений в каталоге Tycho-2, а также разности от вычисленных наблюдений положений этих радиозвезд, переведенных на наши эпохи с использованием для перевода полученных высокоточных собственных движений из этой же работы [5].

Ранее мы уже отмечали [6-9], что сравнение координат радиозвезд с их положениями в трех каталогах (PPM, CaMC, Tycho) показало, что координаты радиозвезд из фотографических наблюдений на Нормальном астрографе в целом хорошо совпадают с результатами по каталогу PPM (фотографический), кроме двух очень ярких звезд HIP 14576 и 27989. Относительно наблюдений в визуальной области (каталог CMC) с CCD-детектором и широкополосных наблюдений в космосе (каталог Tycho), то их сравнение показывает для части звезд - более значимые разности координат как в RA, так и в DE. В целом, однако, при сравнении совпадающих радиозвезд в каталогах CMC и PPM систематического сдвига в положениях не наблюдается, что видно из рис.1. и рис.2.

Что касается достаточно больших отклонений в положениях до 10 радиозвезд, как в RA и DE, следует отметить то обстоятельство, что почти все GRS наблюдаются как довольно яркие кратные системы звезд. Вращение компонентов кратных систем может вызывать смещение фотометрического центра, которое фиксируется при визуальных наблюдениях, проводимых, как правило, через длительные промежутки времени. Это касается большинства звезд, отмеченных отскоками на рис.1-2, которые являются яркими спектрально двойными с близкими компонентами (чаще всего до $1''$), затменно двойными типа Алголя или β Лиры.

В этой связи даже требует объяснения факт почти идеального совпадения, полученных положений методом VLA+RT и координат этих радиозвезд в Hipparcos, сделанных не только при разных условиях (земных и космических) наблюдений, но и в разных физических диапазонах наблюдений. Ранее считалось, что галактические ра-

диоисточники не могут приниматься как реперы для образования связи координатных систем в астрометрии по причине их позиционной нестабильности, т.е. изменения их радио и оптических положений во времени. Однако необходимость создания связи системы ICRF на VLBI наблюдениях внегалактических ERS и системы позиционных наблюдений Hipparcos привели к созданию координатной системы HCRF, которая связана с ICRF через координаты 12 галактических радиоисточников, наблюдаемых методами VLBI [10]. В настоящее время точность определения положений радиозвезд интерферометрическими методами на уровне миллиардсекунд позволяет определять не только положения, но и собственные движения радиозвезд с высокой точностью [5]. В табл.2 приведены разности (O-C), полученных нами астрометрических координат GRS от их положений в каталоге Tycho-2 и от координат в наблюдениях VLA+RT, которые были переведены на наши эпохи наблюдений GRS с использованием собственных движений радиозвезд, уточненных с помощью этих же VLA+RT наблюдений.

Таблица 2. Разности (O-C) координат 28 GRS от их значений, в каталоге Tycho-2 и вычисленных на эпоху наших наблюдений положений GRS, полученных наблюдениями методом VLA+RT из [4].

| N | Номер по | | | HIP | Эпоха | (O-C) Tycho | | n | (O-C) VLA+RT | |
|-----|----------|------|---|--------|--------|-------------|-------|-------|--------------|-------|
| п/п | Tycho-2 | | | номер | 199х.х | RA " | DE | эксп. | RA " | DE |
| 1 | 26 | 577 | 1 | 5980 | 6.784 | + .03 | + .20 | 3 | .01 | .16 |
| 2 | 27 | 157 | 1 | 6454 | 4.776 | .00 | - .12 | 3 | .00 | - .11 |
| 3 | 4317 | 1793 | 1 | 13133 | 5.044 | - .04 | - .05 | 6 | - .05 | - .06 |
| 4 | 3336 | 2435 | 1 | 20070 | 6.110 | - .31 | - .08 | 3 | - .30 | - .11 |
| 5 | 4774 | 922 | 1 | 26233 | 5.016 | - .15 | - .08 | 7 | - .17 | - .05 |
| 6 | 129 | 1873 | 1 | 27989 | 5.016 | - | - | 8 | - .10 | - .31 |
| 7 | 3799 | 2318 | 1 | 39348 | 5.255 | - .12 | - .09 | 2 | - .14 | - .08 |
| 8 | 3805 | 27 | 1 | 44998 | 5.249 | - .01 | .02 | 3 | .00 | .00 |
| 9 | 1961 | 1385 | 1 | 49018 | 9.205 | - .05 | - .10 | 4 | - .09 | - .15 |
| 10 | 5519 | 544 | 1 | 59600 | 5.244 | + .03 | + .07 | 4 | .03 | .07 |
| 11 | 4399 | 1584 | 1 | 59796 | 5.247 | - .04 | + .09 | 3 | - .05 | .09 |
| 12 | 2534 | 1642 | 1 | 64293 | 5.246 | + .01 | - .10 | 4 | .00 | - .08 |
| 13 | 2542 | 1094 | 1 | 66257 | 5.255 | - .21 | .08 | 2 | - .19 | .07 |
| 14 | 5579 | 1166 | 1 | 73473 | 5.249 | - .33 | + .02 | 2 | - .33 | .04 |
| 15 | 4195 | 254 | 1 | 78512 | 5.310 | .09 | - .09 | 3 | .03 | - .10 |
| 16 | 2583 | 1846 | 1 | 79607 | 5.255 | - .53 | - .11 | 2 | - .48 | - .12 |
| 17 | 4190 | 1678 | 1 | 81519 | 5.310 | - .03 | + .00 | 4 | - .03 | .00 |
| 18 | 4427 | 661 | 1 | 85852 | 4.655 | - .04 | - .02 | 4 | - .05 | - .03 |
| 19 | 3554 | 1071 | 1 | 94013 | 4.811 | - .05 | - .08 | 4 | - .01 | - .05 |
| 20 | 3151 | 1250 | 1 | 100214 | 7.712 | - .11 | - .01 | 8 | - .12 | - .02 |
| 21 | 3164 | 1678 | 1 | 100287 | 5.964 | - .16 | - .10 | 3 | - .17 | - .10 |
| 22 | 3161 | 1401 | 1 | 101341 | 4.811 | + .03 | - .09 | 4 | .03 | - .08 |
| 23 | 2180 | 611 | 1 | 103833 | 4.627 | + .00 | - .04 | 5 | .01 | - .08 |
| 24 | 4266 | 3252 | 1 | 108317 | 4.775 | - .01 | - .09 | 3 | - .06 | - .07 |
| 25 | 3210 | 1930 | 1 | 108728 | 6.858 | + .11 | - .27 | 3 | .12 | - .28 |
| 26 | 3606 | 784 | 1 | 109303 | 4.734 | + .05 | - .09 | 4 | .01 | - .10 |
| 27 | 3638 | 2515 | 1 | 116584 | 4.734 | - .05 | - .04 | 4 | - .06 | - .07 |
| 28 | 2258 | 1427 | 1 | 117915 | 4.734 | - .12 | - .10 | 3 | - .12 | - .10 |

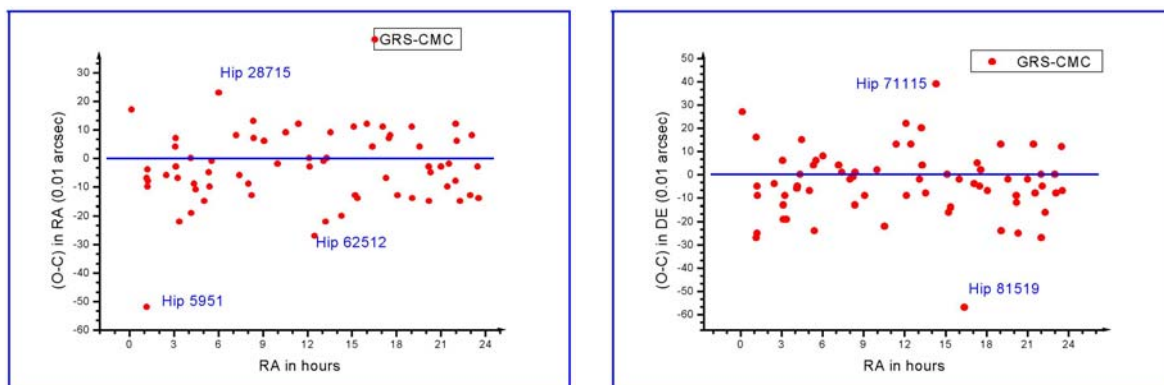


Рис. 1. Разности (O-C) для 66 GRS относительно их положений в каталоге CMC.

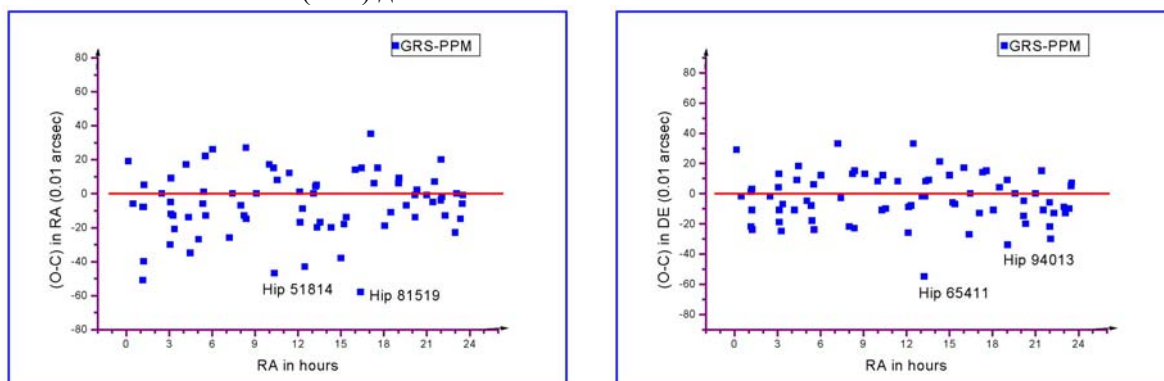


Рис. 2. Разности (O-C) для 74 GRS относительно их положений в каталоге PPM.

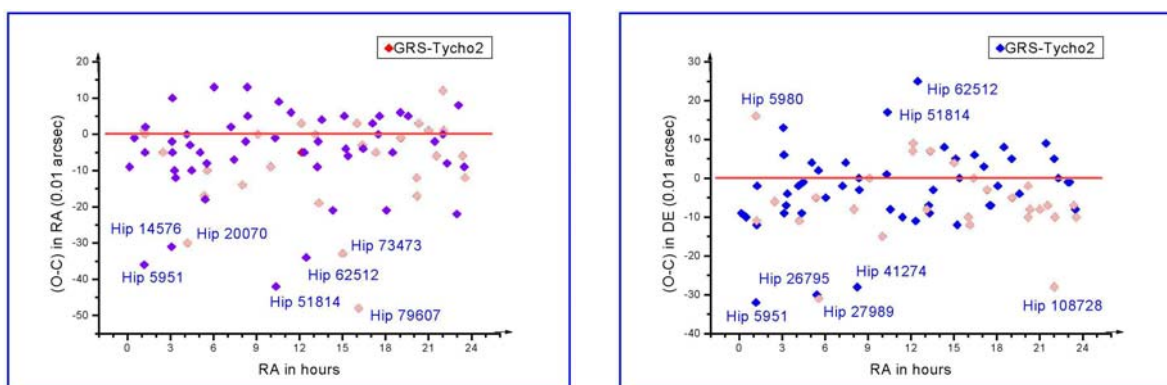


Рис. 3. Разности (O-C) для 78 GRS относительно их положений в каталоге Tycho-2, значения (O-C) для 28 GRS, наблюдаемые в VLA+RT [4] ослаблены в цвете \blacklozenge .

Сравнивая эти значения разностей (O-C), видно, что практически с точностью до $0,02-0,04''$ они совпадают в обоих случаях, как в RA, так и в DE. Что не удивительно, поскольку в самой работе [5] получили в результате наблюдений методом VLA+PT почти те же астрометрические координаты радиисточников, что и в космосе в проекте Hipparcos. Однако если рассматривать на рис.3 отклонения (O-C) оптических положений относительно Hipparcos-Tycho и VLA+RT можно даже визуально заметить значительную отрицательную систематическую составляющую, как в RA, так и в DE.

Если рассматривать отдельные радиозвезды, то относительно больших отскоков в оптике для некоторых звезд по рис. 3 и табл. 2 можно привести следующие аргументы. GRS Hip 5951 – спектрально двойная, Hip 14576 (β Perseus – Алголь) – очень яркая ($2,1-3,4^m$) затменно-двойная типа Алголя. Hip 20070 – спектроскопическая двойная яркая

звезда (4,6-4,7^m), расстояния между компонентами оцениваются в $\Delta\alpha = 0,30''$, $\Delta\delta = 0,18''$. Звезда Hip 73473 тоже очень яркая (4,9-5,9^m), переменная типа Алголя. GRS Hip 79607 кратная система, близкие компоненты на расстоянии 1,5''. Источник Hip 27989 – яркая кратная система звезд (компоненты до 14,5^m), смесь из спектрально двойной и визуально двойной, причем компоненты разделены на 0,6'' и 0,51''. GRS Hip 108728 – затменно двойная типа β Лиры с расстоянием $\Delta\delta = 0,1''$. Относительно Hip 41274, 51814 и 62512, которые тоже показывают большие отклонения, как в RA, так и в DE, физических особенностей самих источников не зафиксировано – пластинки переизмерялись, однако результаты при повторной обработке практически не изменились.

Известно, для всех радиозвезд существуют сложности в оптических наблюдениях их положений. Естественно, что в оптике они должны давать другие отклонения от значений их координат в каталоге Hipparcos, который наблюдался в космосе и не искажен атмосферными условиями земных оптических наблюдений. Если использовать эти источники как реперы в позиционной астрометрии для привязки их к внегалактическим источникам фундаментальной системы ICRS, необходим постоянный мониторинг положений этих GRS с высокой точностью.

Переход на качественно новый метод наблюдений на Нормальном астрографе с CCD-камерой, установленной вместо фотографической камеры, дает возможность повышения точности наблюдений галактических радиоисточников и отслеживать изменения в их положениях с течением времени. Продолжая наблюдения GRS новыми более точными методами с использованием CCD-детектора можно уже сейчас получить положения и собственные движения этих источников при разности эпох 15-20 лет, используя в качестве первых эпох результаты наших фотографических наблюдений.

Литература

1. C. Ma, E.F. Arias, T.M. Eubanks, A.L. Fey, et al., The International Celestial Reference Frame as Realized by Very Long Baseline Interferometry, July 1998, The Astronomical Journal, 113:516-546.
2. L. Lindegren and M.A.C. Perriman, Optical Counterpart of ICRF: Hipparcos, 1998 IAU, Highlights of Astronomy, J.Andersen (ed.), vol.11a, pp.287-291.
3. H.G. Walter, R. Hering, Ch. de Veigt, An Astrometric Catalogue of Radio Stars, 1991. Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 86, 357-393.
4. K. Johnston, Ch. De Veigt and R. Gaume, VLA Radio Positions of Stars: 1978-1995, 2003, Astronomical Journal, 125:3252-3257.
5. D.A. Boboltz, A.L. Fey, W.K. Puatua at al., Very Large Array plus Pie Town Astrometry of 46 Radio Stars, mart 2007, AJ, 133, № 3, p.906-916.
6. В.П. Рыльков, Н.В. Нарижная, Пулковская программа наблюдений галактических радиоисточников – Pul GRS, 1996, Известия ГАО, №210, с.264-271.
7. Vladimir Ryl'kov, Natalia Narizhnaya, The Catalogue of Reference Stars around 72 Galactic Radio Sources, 2005, Bucharest, Romanian Astronomical Journal, vol.15, Supplement, pp.187-189.
8. Н.В. Нарижная, В.П. Рыльков, Каталог положений галактических радиозвезд северного неба, 2006, Известия ГАО, №218, с.122-125.
9. В.П. Рыльков, Н.В. Нарижная, Каталог звезд для ПЗС-наблюдений 14 галактических радиоисточников, 1998, Известия ГАО, № 213, с.41-47.
10. J. Kovalevsky, L. Lindegren, M.A.C. Perriman, et al., The Hipparcos Catalogue as a Realization of the Extragalactic Reference System, 1997, A&A, 323, pp.620-633.
11. Международный центр астрономических данных в Страсбурге (Франция) – <http://www.simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-fid.pl>

THE ASTROMETRIC POSITIONS OF THE 78 GALACTIC RADIO SOURCES

Ryl'kov V.P., Narizhnaya N.V.

*Main (Pulkovo) Astronomical Observatory.
196140, Saint-Petersburg, Pulkovo shosse, 65/1
E-mail: vryl@gao.spb.ru, nnat@gao.spb.ru*

The next stage of the Pul GRS program was been completed. This program connected to measurements and data processing of the photographic observation of the Northern sky Galactic Radio Sources (GRS) from list by H.G. Walter' at al [2]. All these radio sources were entered in a HIPPARCOS program and were observed from cosmos at 1989-1993 yr. Our photograpic observations were carried out with Pulkovo Normal Astrograph (NA, D = 33, F = 346) in the end of past century (1994-1999 years). The purpose of such observations was to define more accurate the coordinates of radio stars, which may be the galactic reference points for the definition of connection between the traditional terrestrial coordinate systems and the coordinate systems were based on VLBI-observations of astrometric Extragalactic Radio Sources (ERS) realizing the stable fundamental ICRS systems. More than 200 photographic plates were measured and worked up for the obtaining of positions 78 radio sources in a range from 2.4 to 12 mag.

Coordinates of the radio sources were obtained on the epoch of observation in ICRF system J2000.0 with using of reference stars from Tycho-2 catalog. An interior exactitude of positions, which were calculated as mean from the several value, was placing in a range 0.02-0.12". We were fulfilled the comparison of the obtained radio star coordinates with theirs positions from CMC, PPM, Tycho-2 and Hipparcos identify. About 10 stars were displayed considerable deviations (more than 0.20") from their positions in reference catalogs in the (O-C) at the RA and DE. Also we were maked comparison the coordinates of the 28 radio stars with theirs positions which were obtained by VLA+PT methods with attracted radio observations.

According to Strasburg date base the all these radio sources are variable or multiple stars of different type. In catalogue of the 78 (GRS) positions we were giving some astrophysics description of radio sources, which show physical nature for the arised radio emission.

КАТАЛОГ ОПОРНЫХ ЗВЕЗД ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ГАЛАКТИЧЕСКИХ РАДИОЗВЕЗД

Рыльков В.П., Нарижная Н.В.

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

E-Mail: vryl@gao.spb.ru, nnat@gao.spb.ru

В системе ICRF J2000.0, при использовании опорного каталога Тусхо-2 обработано большое количество фотопластинок Пулковского Нормального астрографа (33/346), полученных в конце 90-х годов XX века по программе наблюдений галактических радиоисточников (Pul GRS) списка Н.Г.Вальтера. Вычислены координаты 12577 звезд в полях радиусом до 20 угловых минут вокруг 78 источников северного неба выше -10° по склонению. Система каталогов предназначена для дальнейших ПЗС-наблюдений, с целью уточнения и отслеживания положений радиозвезд, которые могут быть реперами при определении связи астрометрических систем координат, основанных на оптических наблюдениях звезд как с Земли, так и из космоса для реализаций системы ICRS, основанной на РСДБ-наблюдениях астрометрических внегалактических радиоисточников.

Получены астрометрические координаты звезд в системе HCRF J2000.0 (опорный каталог Тусхо-2) в диапазоне от 8 до 16 зв. величин. Средняя точность положений звезд в диапазоне $0.10-0.25''$ в RA и DE. Сделано сравнение полученных координат с выборками звезд из других каталогов.

Введение

Создание системы опорных звезд для наблюдений галактических радиоисточников (радиозвезд - GRS) является одной из текущих задач астрометрии, необходимость которой диктуется требованием создания оптических реперов, наблюдаемых в радио и оптических диапазонах, для отслеживания изменений во времени применяемых астрономических систем координат. Принятая сейчас Международная Небесная система координат (International Celestial Reference Frame – ICRF) основана на VLBI наблюдениях 212 внегалактических радиоисточников и должна обеспечивать стабильность системы координат в течение длительного времени. Оптическая система небесных координат реализована сейчас космическим проектом HIPPARCOS, который через созданный каталог Hipparcos реализует ICRF систему координат. Стандартная ошибка этого фундаментального каталога, оцененная на эпоху каталога 1991.25 в 0,6 mas из-за ошибок в собственных движениях и положениях должна дать вращение системы в $0,25 \text{ mas yr}^{-1}$

(Kovalevsky et al. 1997, [1]). На эпоху 2004.80 оценка формальной ошибки системы Hipparcos-HCRF достигает $\sim 3,4 \text{ mas}$ (Boboltz et al. 2006, [2]). Сами индивидуальные положения звезд каталога Hipparcos, реализованные по точности в $\sim 1 \text{ mas}$ на 1991.25, за 15 лет от эпохи создания в случайном отношении ухудшились до $\sim 10-12 \text{ mas}$.

Наблюдения радиозвезд, которые сейчас обеспечивают связь систем координат, необходимы, как в радио, так и в оптическом диапазоне для использования при создании новых космических систем координат (проекты Gaia, SIM) и привязки этих систем к принятой сейчас ICRF. Мы ставили перед собой задачу получения опорной системы звезд в 15-20 минутной окрестности GRS для определения их астрометрических координат с помощью современных CCD-детекторов стандартных размеров, повсеместно устанавливаемых сейчас на наземные астрометрические инструменты.

Наблюдения

В Пулковской обсерватории программа фотографических наблюдений 116 галактических радиозвезд (Pul GRS) северного неба до -10° склонения была начата осенью

1994 г. на Пулковском Нормальном Астрографе (33/346) [3]. Список радиозвезд для наблюдений был выбран из списка галактических радиозвезд H.G.Walter [4], подготовленного для наблюдений по программе Nirracos. Предполагалось получить фотографические экваториальные координаты непосредственно самих радиоисточников и создать плотную вторичную систему слабых ($13-16^m$) опорных звезд в их близкой окрестности для наблюдений с CCD-детекторами. Программа Pul GRS и методика получения точных положений радиозвезд и окружающих их звезд описана в работах [5, 6].

Поскольку производство астрономических фотопластинок было прекращено повсеместно, фотографирование областей звезд с центром в GRS проводилось на просроченные фотопластинки типа ORWO ZU-21 (после гиперсенсibilизации водородом), на пластинки нестандартного размера и фотопластинки, специально выпускаемые в подмосковном объединении «Переславль-Залесский» по заказу Пулковской обсерватории. Кроме этого, ухудшение погодных условий – число ясных наблюдательных ночей в Пулкове уменьшилось в 2-3 раза по сравнению с 70-80 годами – привело к затягиванию выполнения программы, которую вынуждены были завершить в 1999 г. при полном отсутствии фотопластинок. В 2004 г на нормальном астрографе на место фотографической кассеты был установлен CCD-детектор. Сейчас мы имеем для измерений приблизительно 300 фотопластинок для более 90 областей – как минимум по две-три пластинки для каждой области с GRS. Для получения опорных звезд в окрестности GRS были получены фотопластинки с большими экспозициями (12-20 минут).

Обработка и получение положений GRS

В настоящее время нами закончены измерения и обработка более 200 фотопластинок для 78 радиозвезд и соответствующих им каталогов окрестностей GRS северного неба. На рис. 1 показано распределение 78 GRS в Хаммер-Айтов проекции на небесной сфере в экваториальных координатах. Для задачи получения опорного каталога измерялись практически все видимые на пластинке звезды в радиусе до 20-25 угловых минут от центра в радиоисточнике, что позволило получить с хорошей точностью координаты GRS и вторичной системы опорных звезд $13-16^m$ в окрестностях радиоисточников. В таблице 1. даны основные характеристики и результаты по 78 радиозвездам, обработанным по нашим пластинкам.

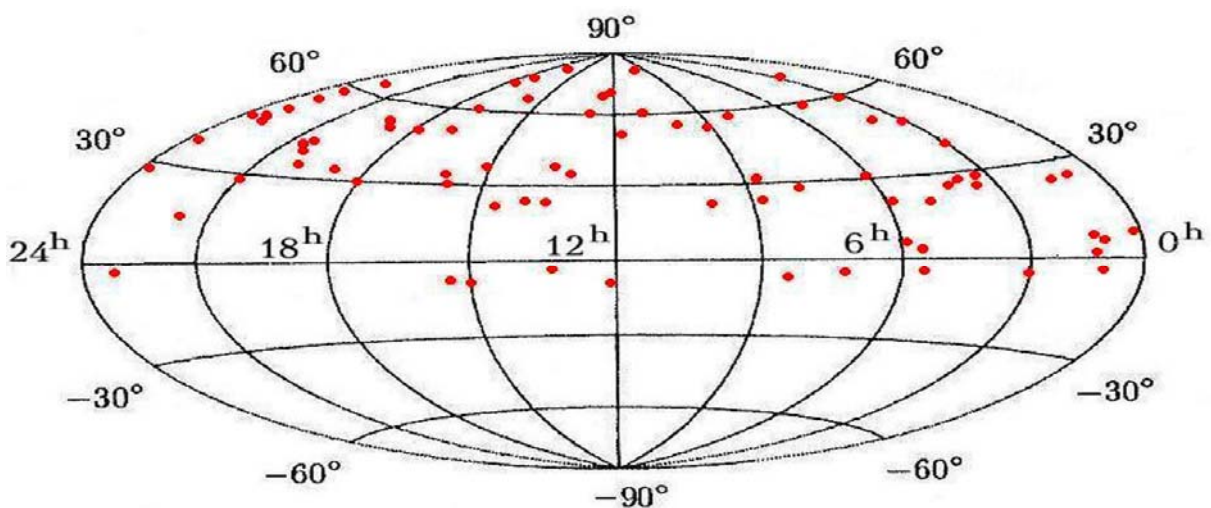


Рис. 1. Распределение 78 галактических радиоисточников (GRS) в экваториальной проекции Хаммер-Айтофа на небесной сфере.

Таблица 1. Количество звезд в каждом каталоге в окрестности радиуса 15-20' вокруг 78 галактических радиоисточников* северного неба

| № п/п | Идентиф. в кат. | Имя по BD | GRS по BD | Эпоха наблюдений | Центр области в GRS | | | | | | Число звезд в области | | |
|-----------|-----------------|-----------|-----------|------------------|---------------------|----|--------|-----|----|-------|-----------------------|------|--------|
| | | | | | RA J2000.0 | | | DE | | | Всех | Нов. | Tycho2 |
| Hipparcos | | | | 199х.х | h | m | s | o | ' | " | | | |
| 1 | 1196 | BD+08 | 19 | 8.877 | 00 | 14 | 58.825 | 08 | 49 | 15.40 | 179 | 141 | (8) |
| 2 | 3693 | BD+23 | 106 | 5.078 | 00 | 47 | 20.360 | 24 | 16 | 02.14 | 127 | 111 | (3) |
| 3 | 5951 | BD-03 | 172 | 5.964 | 01 | 16 | 36.290 | -02 | 30 | 01.39 | 185 | 148 | (25) |
| 4 | 5980 | BD+06 | 189 | 6.784 | 01 | 16 | 55.102 | 06 | 48 | 42.24 | 132 | 110 | (5) |
| 5 | 6448 | BD-00 | 210 | 5.055 | 01 | 22 | 50.328 | 00 | 42 | 44.45 | 172 | 129 | (16) |
| 6 | 6454 | BD+06 | 211 | 4.776 | 01 | 22 | 56.724 | 07 | 25 | 07.99 | 124 | 106 | (15) |
| 7 | 6669 | BD+22 | 226 | 5.052 | 01 | 25 | 35.668 | 23 | 30 | 41.55 | 146 | 118 | (8) |
| 8 | 13133 | BD+69 | 179 | 5.044 | 02 | 48 | 55.499 | 69 | 38 | 03.19 | 136 | 119 | (27) |
| 9 | 14576 | BD+40 | 673 | 5.014 | 03 | 08 | 10.102 | 40 | 57 | 20.47 | 147 | 110 | (7) |
| 10 | 14763 | BD-05 | 592 | 5.956 | 03 | 10 | 38.503 | -05 | 23 | 38.02 | 146 | 125 | (15) |
| 11 | 15003 | BD+47 | 781 | 4.776 | 03 | 13 | 22.353 | 48 | 06 | 31.54 | 156 | 121 | (6) |
| 12 | 15063 | BD+59 | 609 | 6.022 | 03 | 14 | 05.327 | 59 | 33 | 48.55 | 155 | 120 | (9) |
| 13 | 16042 | BD+28 | 532 | 5.052 | 03 | 26 | 35.365 | 28 | 42 | 54.75 | 146 | 116 | (9) |
| 14 | 16879 | BD+25 | 580 | 5.052 | 03 | 37 | 10.941 | 25 | 59 | 29.24 | 133 | 113 | (11) |
| 15 | 19762 | HD 283447 | | 6.784 | 04 | 14 | 12.918 | 28 | 12 | 12.34 | 154 | 140 | (7) |
| 16 | 20070 | BD+49 | 1150 | 6.110 | 04 | 18 | 14.567 | 50 | 17 | 43.93 | 146 | 115 | (5) |
| 17 | 21482 | BD+26 | 730 | 6.066 | 04 | 36 | 48.171 | 27 | 07 | 56.38 | 155 | 151 | (7) |
| 18 | 22349 | BD+18 | 734 | 5.016 | 04 | 48 | 42.065 | 18 | 42 | 35.85 | 153 | 119 | (10) |
| 19 | 23743 | BD+58 | 805 | 6.110 | 05 | 06 | 12.130 | 59 | 01 | 16.97 | 133 | 125 | (11) |
| 20 | 26233 | BD-04 | 1183 | 5.016 | 05 | 35 | 21.855 | -04 | 29 | 39.09 | 186 | 125 | (10) |
| 21 | 26795 | BD+03 | 1007 | 6.134 | 05 | 41 | 26.766 | 03 | 46 | 40.61 | 167 | 127 | (11) |
| 22 | 27913 | BD+20 | 1162 | 5.014 | 05 | 54 | 23.034 | 20 | 16 | 34.75 | 138 | 122 | (5) |
| 23 | 27989 | BD+07 | 1055 | 5.016 | 05 | 55 | 10.289 | 07 | 24 | 25.06 | 150 | 12 | (3) |
| 24 | 28715 | BD+31 | 1179 | 5.011 | 06 | 03 | 53.660 | 31 | 19 | 41.16 | 145 | 121 | (9) |
| 25 | 35600 | BD-04 | 1915 | 6.211 | 07 | 20 | 48.454 | -05 | 15 | 35.80 | 152 | 130 | (15) |
| 26 | 37629 | BD+29 | 1590 | 5.014 | 07 | 43 | 18.697 | 28 | 53 | 01.83 | 140 | 120 | (3) |
| 27 | 39348 | BD+57 | 1118 | 5.255 | 08 | 02 | 35.788 | 57 | 16 | 25.23 | 169 | 131 | (8) |
| 28 | 41274 | BD-06 | 2585 | 6.189 | 08 | 25 | 14.109 | -07 | 10 | 13.10 | 153 | 132 | (9) |
| 29 | 42303 | BD+24 | 1959 | 8.216 | 08 | 37 | 30.139 | 23 | 33 | 41.63 | 158 | 128 | (6) |
| 30 | 42432 | BD+32 | 1772 | 5.260 | 08 | 39 | 08.545 | 31 | 47 | 44.51 | 128 | 111 | (8) |
| 31 | 44998 | BD+55 | 1317 | 5.249 | 09 | 09 | 55.964 | 54 | 29 | 18.58 | 144 | 125 | (8) |
| 32 | 49018 | BD+25 | 2191 | 9.205 | 10 | 00 | 01.715 | 24 | 33 | 09.81 | 155 | 137 | (17) |
| 33 | 51502 | BD+83 | 297 | 5.241 | 10 | 31 | 04.848 | 82 | 33 | 30.83 | 148 | 128 | (11) |
| 34 | 51814 | BD+57 | 1277 | 9.203 | 10 | 35 | 09.633 | 57 | 04 | 57.64 | 169 | 130 | (18) |
| 35 | 53425 | BD+61 | 1211 | 6.192 | 10 | 55 | 43.577 | 60 | 28 | 09.67 | 150 | 128 | (5) |
| 36 | 56974 | BD+52 | 1579 | 5.244 | 11 | 40 | 46.372 | 51 | 59 | 53.33 | 156 | 141 | (12) |
| 37 | 59600 | BD-08 | 3301 | 5.244 | 12 | 13 | 20.700 | -09 | 04 | 46.80 | 161 | 137 | (21) |
| 38 | 59796 | BD+73 | 549 | 5.247 | 12 | 15 | 41.489 | 72 | 33 | 04.52 | 128 | 120 | (11) |
| 39 | 61281 | BD+70 | 703 | 5.241 | 12 | 33 | 28.987 | 69 | 47 | 17.48 | 149 | 122 | (8) |
| 40 | 62512 | BD+61 | 1320 | 5.247 | 12 | 48 | 39.348 | 60 | 19 | 11.76 | 139 | 119 | (12) |
| 41 | 64293 | BD+36 | 2344 | 5.246 | 13 | 10 | 36.927 | 35 | 56 | 05.39 | 144 | 117 | (11) |
| 42 | 65411 | BD-01 | 2816 | 5.246 | 13 | 24 | 24.129 | -02 | 18 | 54.33 | 155 | 140 | (22) |
| 43 | 65915 | BD+24 | 2592 | 5.258 | 13 | 30 | 46.819 | 24 | 13 | 57.75 | 169 | 129 | (13) |
| 44 | 66257 | BD+37 | 2426 | 5.255 | 13 | 34 | 47.756 | 37 | 10 | 56.81 | 155 | 128 | (16) |
| 45 | 68064 | BD+26 | 2508 | 5.260 | 13 | 56 | 09.555 | 25 | 55 | 07.35 | 177 | 147 | (13) |
| 46 | 71115 | BD+22 | 2715 | 5.249 | 14 | 32 | 32.569 | 22 | 15 | 36.10 | 146 | 135 | (13) |

Таблица 1 (продолжение).

| № п/п | Идентиф. в кат. | Имя по BD | GRS | Эпоха наблюдений | Центр области в GRS | | | | | | Число звезд в области | | |
|-------|-----------------|-----------|-------|------------------|---------------------|----|--------|-----|----|-------|-----------------------|--------|------|
| | | | | | RA J2000.0 | DE | | | | Всех | Нов. | Tycho2 | |
| | Hipparcos | | | 199х.х | h | m | s | o | ' | " | | | |
| 47 | 73473 | BD-07 | 3938 | 5.249 | 15 | 00 | 58.348 | -08 | 31 | 08.15 | 154 | 129 | (16) |
| 48 | 74509 | BD+39 | 2849 | 6.215 | 15 | 13 | 32.550 | 38 | 34 | 05.69 | 158 | 115 | (10) |
| 49 | 75325 | BD-06 | 4193 | 5.260 | 15 | 23 | 26.054 | -06 | 36 | 37.30 | 156 | 131 | (13) |
| 50 | 76658 | BD+30 | 2688 | 5.310 | 15 | 39 | 15.230 | 29 | 37 | 19.63 | 152 | 129 | (20) |
| 51 | 78512 | BD+67 | 922 | 5.310 | 16 | 01 | 41.027 | 66 | 48 | 10.07 | 147 | 123 | (12) |
| 52 | 79607 | BD+34 | 2750A | 5.255 | 16 | 14 | 40.912 | 33 | 51 | 31.30 | 177 | 126 | (12) |
| 53 | 81519 | BD+60 | 1691p | 5.310 | 16 | 39 | 03.959 | 60 | 41 | 59.06 | 151 | 122 | (14) |
| 54 | 82080 | BD+82 | 498 | 5.312 | 16 | 45 | 58.176 | 82 | 02 | 14.18 | 167 | 132 | (9) |
| 55 | 84014 | BD+49 | 2596 | 4.605 | 17 | 10 | 25.603 | 48 | 57 | 56.43 | 163 | 128 | (14) |
| 56 | 85852 | BD+74 | 717 | 4.655 | 17 | 32 | 41.283 | 74 | 13 | 38.23 | 169 | 129 | (13) |
| 57 | 87311 | I+26 | 228 | 4.660 | 17 | 50 | 25.124 | 70 | 45 | 36.24 | 173 | 137 | (11) |
| 58 | 88008 | BD+22 | 3245 | 6.478 | 17 | 58 | 38.521 | 22 | 08 | 46.83 | 168 | 127 | (4) |
| 59 | 88848 | BD+29 | 3187 | 6.600 | 18 | 08 | 15.995 | 29 | 41 | 28.22 | 168 | 136 | (5) |
| 60 | 92420 | BD+33 | 3223 | 4.605 | 18 | 50 | 04.789 | 33 | 21 | 45.71 | 167 | 145 | (31) |
| 61 | 93733 | BD+49 | 2929 | 4.811 | 19 | 05 | 09.849 | 49 | 55 | 23.42 | 149 | 124 | (7) |
| 62 | 94013 | BD+52 | 2350 | 4.811 | 19 | 08 | 25.839 | 52 | 25 | 32.84 | 154 | 129 | (16) |
| 63 | 98298 | BD+34 | 3815 | 6.181 | 19 | 58 | 21.681 | 35 | 12 | 05.76 | 172 | 123 | (6) |
| 64 | 100214 | BD+38 | 4010 | 7.712 | 20 | 19 | 32.413 | 38 | 43 | 53.97 | 231 | 142 | (17) |
| 65 | 100287 | BD+43 | 3571 | 5.964 | 20 | 20 | 27.962 | 43 | 51 | 16.18 | 211 | 142 | (9) |
| 66 | 101341 | BD+40 | 4220 | 4.811 | 20 | 32 | 22.427 | 41 | 18 | 18.88 | 184 | 137 | (26) |
| 67 | 103833 | BD+27 | 3952 | 4.627 | 21 | 02 | 25.871 | 27 | 48 | 26.36 | 176 | 131 | (9) |
| 68 | 107350 | BD+14 | 4668 | 4.627 | 21 | 44 | 31.241 | 14 | 46 | 19.68 | 148 | 125 | (7) |
| 69 | 108317 | BD+62 | 2007 | 4.775 | 21 | 56 | 39.140 | 63 | 37 | 31.94 | 157 | 119 | (4) |
| 70 | 108644 | BD-03 | 5357 | 6.786 | 22 | 00 | 36.411 | -02 | 44 | 26.77 | 168 | 130 | (9) |
| 71 | 108728 | BD+43 | 4112 | 6.858 | 22 | 01 | 30.735 | 43 | 53 | 25.30 | 209 | 129 | (4) |
| 72 | 109303 | BD+45 | 3813 | 4.734 | 22 | 08 | 40.849 | 45 | 44 | 31.77 | 198 | 139 | (8) |
| 73 | 111072 | BD+48 | 3747 | 6.778 | 22 | 30 | 06.502 | 49 | 21 | 23.18 | 263 | 218 | (4) |
| 74 | 113561 | BD+56 | 2923 | 5.715 | 23 | 00 | 05.073 | 56 | 56 | 43.34 | 252 | 171 | (16) |
| 75 | 114345 | BD+52 | 3375 | 4.775 | 23 | 09 | 30.045 | 53 | 02 | 39.81 | 159 | 131 | (2) |
| 76 | 116584 | BD+45 | 4283 | 4.734 | 23 | 37 | 33.756 | 46 | 27 | 31.53 | 195 | 131 | (8) |
| 77 | 117503 | BD+35 | 5110 | 6.691 | 23 | 49 | 40.951 | 36 | 25 | 31.08 | 159 | 130 | (13) |
| 78 | 117915 | BD+27 | 4642 | 4.734 | 23 | 55 | 03.813 | 28 | 38 | 00.96 | 166 | 130 | (17) |

* В качестве центров полей опорных звезд в таблице даны точные астрометрические фотографические положения самих галактических радио источников (GRS).

Для редукции координат в качестве опорных звезд в разное время мы использовали звезды каталогов PPM, СМС и Tycho-2, распределенные практически по всему полю фотопластинки нормального астрографа (измерялись опорные звезды в квадрате 1,5x1,5 градуса). Это позволило оценить точность получения координат звезд при переходе от одного опорного каталога к другому при использовании практически одних и тех же опорных звезд. В настоящее время основной опорный каталог для редукции координат – каталог Tycho-2, полученный в реализации космического проекта Hipparcos. Для сравнения и контроля вычисляемых положений звезд поля используется каталог UCAC2, собственные движения звезд в котором позволяют переводить на эпохи наших наблюдений положения совпадающих звезд.

Для вычисления астрометрических координат GRS для пластинок нормального астрографа использовались следующие уравнения метода редукиции с восемью постоянными.

$$\begin{aligned}\Delta x &= X - x = ax + by + c + gxy + hxx \\ \Delta y &= Y - y = dx + ey + f + gxy + hyy,\end{aligned}$$

где X, Y - тангенциальные координаты, x, y - измеренные координаты опорных звезд, a, b, c, d, e, f, g, h - постоянные пластинки, вычисляемые методом наименьших квадратов по избыточной системе, получаемой по системе из известных координат опорных звезд, выбираемых в нашем случае из каталога Tycho-2.

Поскольку кроме звезд в окрестности GRS для создания опорной системы измерялись еще и звезды по всему полю фотопластинки, то число опорных звезд для редукиции координат GRS и каталогов опорных звезд использовалось достаточно много - от 15 до 30 (есть несколько полей, где до 50). Ошибки единицы веса при редукиции координат с использованием опорного каталога Tycho-2 - обычные для фотографических наблюдений, порядка $0,10-0,25''$ по обеим координатам.

Статистика результатов

Идентификация полей звезд с радиоисточниками приводится в принятой ранее системе по каталогу BD и по новой идентификации каталога Hipparcos, в космическом проекте которого все эти радиозвезды успешно наблюдались.

В табл.1 даны средние эпохи наблюдений для каждого поля и статистика полученных опорных звезд в области GRS. Для более 12,5 тысяч звезд были получены астрометрические экваториальные координаты в окрестности 78 GRS. Положения всех этих звезд даны на эпоху наблюдения в системе HCRF J2000.0. Положения 10077 звезд были получены впервые. Ошибки редукиции (ошибки единицы веса) при использовании 18-32 опорных звезд из каталогов PPM, CMC в начальной стадии обработки в системе FK5-J2000 были порядка $0,15-0,30''$, при использовании каталогов Tycho-2 или UCAC2 в настоящее время уменьшились и составили в основном $0,10-0,25''$ для обеих координат. Внутренняя сходимость при обработке разных пластинок равна $0,02-0,10''$ по прямому восхождению и склонению. В каждом поле радиуса до 15-20 угловых минут вокруг GRS получено от 100 до 300 звезд, что дает хорошую плотность опорных звезд для позиционных наблюдений с CCD-детекторами.

В последних столбцах табл.1 приводится число полученных звезд в каждом поле. В скобках для сравнения дается число звезд каталога Tycho-2 для этого поля GRS. Заметим, что их всего 868, что недостаточно для привязки к опорной системе HCRF при наблюдениях с CCD-детекторами, которые сейчас обычно ставятся на астрометрические наземные инструменты (регистрируемые поля порядка 10-15 угл. минут). Полученные нами фотографические положения в HCRF J2000.0 самих галактических радиозвезд даны в табл.1 как центры областей каталогов опорных звезд. Следует отметить, что кроме 5 GRS этого списка (BD +22 226, BD +57 1277, BD +61 1320, BD +22 2715, BD +49 2929), все радиозвезды являются переменными.

Полученные каталоги более 12,5 тысяч опорных звезд для наблюдений 78 GRS северного неба даны в системе каталога Tycho-2 (ICRF, эпоха равноденствия J2000.0) на среднюю эпоху наблюдения каждого поля. Для значительной части звезд, имеются собственные движения, заимствованные из отождествлений с каталогом UCAC2, однако мы планируем получение вторых эпох для областей с GRS, для сравнения собственных движений с другими каталогами. Работа по получению каталогов слабых опорных звезд вокруг GRS в Лаборатории астрометрии и звездной астрономии ГАО РАН продолжается уже с использованием установленного CCD-приемника.

Литература

1. *J. Kovalevsky, L. Lindgren, M.A.C. Perriman, et al.*, The Hipparcos Catalogue as a Realization of the Extragalactic Reference System, 1997, *A&A*, 323, pp.620-633.
2. *D.A. Boboltz, A.L. Fey, W.K. Puatua, N. Zacharias et al.*, VLA+RT Astrometry of 46 Radio Stars, 2006, *AA*, Oct 11, pp.1-29.
3. *В.П. Рыльков, Н.В. Нарижная*, Пулковская программа наблюдений галактических радиоисточников – Pul GRS, 1996, *Известия ГАО*, N 210, с.264-271.
4. *H.G. Walter, R. Hering, Ch. de Veigt*, An astrometric catalogue of radio stars, 1991, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 86, pp.357-393.
5. *В.П. Рыльков, Н.В. Нарижная*, Каталог звезд для ПЗС-наблюдений 14 галактических радиоисточников, 1998, *Известия ГАО*, №213, с.41-47.
6. *Vladimir Ryl'kov, Natalia Narizhnaya*, "The Catalogue of Reference Stars around 72 Galactic Radio Sources." *Romanian Astronomical Journal*, vol.15, Supplement, pp.187-189, Bucharest, 2005.
5. *В. Рыльков, Н. Нарижная, А. Дементьева* "Каталоги опорных звезд 13-16^m для ПЗС наблюдений 35 внегалактических (ERS) и 64 галактических (GRS) радиоисточников", сб. *Proceedings of the workshop "Optical and radio sources – location and connection"*, 2003, Nikolaev, Ukraine, с.21-23.
7. *Н.В. Нарижная, В.П. Рыльков*, Каталог положений галактических радиозвезд северного неба, 2006, *Известия ГАО*, №218, с.122-125.

THE PULKOVO CATALOGUE OF REFERENCE STARS FOR OBSERVATIONS OF GALACTIC RADIO SOURCES

Ryl'kov V.P., Narizhnaya N.V.

Main Astronomical Observatory in Pulkovo, Russia

E-Mail: vrly@gao.spb.ru, nmat@gao.spb.ru

The program Pul GRS of photographic observation Galactic Radio Stars (GRS) with declination up to -10 degree was begin in autumn 1994 with Pulkovo Normal Astrograph (NA, 33/346). Was proposed to receive the photographic coordinates of ourselves radio sources and create the reference system of stars in the their vicinity. We used for observation the list of GRS by H.G. Walter at.al. for purpose of observation to prepare for Hipparcos cosmic project. The positions of 12577 stars were calculated in the 15-20 arcmin vicinity of 78 GRS in the HCRF J2000.0 with used reference stars from catalogue Tycho-2. The diapason of star magnitude is in the main from 13 to 16. The positional interior errors are 0,10–0,25'' in RA and DE, that is usually for photographic observations.

The galactic radio stars can be the frames at the definition of connection a reference coordinate set, based on optical observations of ground based coordinate system and the VLBI-observations of astrometric extragalactic radio sources, which used for creation of fundamental co-ordinate systems. This operation is necessary to guarantee the connection of astrometric positional system in future cosmic missions.

ПОЗИЦИОННЫЕ ПЗС-НАБЛЮДЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ЗВЕЗД НА ПУЛКОВСКОМ НОРМАЛЬНОМ АСТРОГРАФЕ

Рыльков В.П., Нарижная Н.В.

Главная (Пулковская) Астрономическая обсерватория РАН, Пулково

E-mail: vryl@gao.spb.ru, nnat@gao.spb.ru

С помощью Пулковского нормального астрографа (НА), оснащенного ПЗС-матрицей (ISD017AP) 1040×1160×16 выполнены наблюдения 7 звездных областей, имеющих в центре астрометрический внегалактический радиоисточник (ERS) из списка ICRF. Наблюдения выполнены по схеме, принятой на НА при наблюдении малых планет – т.е. по 8-10 сканов подряд. Для звездных полей наблюдения выполнялись с экспозицией до 3 минут. Выполнена оценка позиционной точности для звезд до 16-17 зв. величины, предельно достижимой при таких экспозициях.

Полученные результаты, координаты 268 звезд в 7 областях, сравниваются с выборками из позиционных астрономических каталогов.

В конце 90-х годов XX века на Нормальном астрографе были проведены два эксперимента по установке CCD-детектора на фотографическую трубу, которые показали необходимость для выполнения поставленных научных задач установки матрицы большего размера, чем те которые в то время можно было приобрести. Такая матрица производства НПО «Электрон» типа S2C-017AP была установлена вместо фотографической камеры на Нормальном астрографе в 2004 г. Размер матрицы составляет 1040×1160 пикселей размером 16×16 мкм, что определяет поле наблюдения 18×16 arcmin. Эти технические характеристики, наряду с высокой чувствительностью приемника излучения, гарантировали продолжение и выполнение всех научных программ лаборатории. Проведенные наблюдения показали, что при экспозициях порядка 2-3 минут с помощью CCD-детектора можно наблюдать при хороших атмосферных условиях объекты до 16,5^m – 17,5^m. Позиционная точность по отношению к фотографическим наблюдениям прошлых лет повысилась по оценке наблюдателями значений (O-C) разных наблюдаемых объектов по крайней мере в 3-4 раза: до 50-60 mas по внутренней сходимости и до 90-100 mas по внешней [1].

Для обработки получаемых сканов применяется измерительно-вычислительный комплекс программ обработки CCD-изображений IZMCCD, разработанный в лаборатории фотографической астрометрии [2].

В течение нескольких последних лет нами разрабатывается сводный астрометрический позиционный каталог из наблюдаемых в 90-е годы каталогов, специально подготавливающих систему слабых опорных звезд для высокоточного определения оптических положений внегалактических радиоисточников (Extragalactic Radio Source – ERS). Положения 212 ERS, полученные высокоточными VLBI радионаблюдениями, определяют в настоящее время реализацию ICRF фундаментальной астрометрической системы небесных координат ICRS (International Celestial Reference System). К 2009 г. наш каталог насчитывает более 21 тысячи звезд для 239 областей с ERS и мы продолжаем пополнять его новыми результатами наблюдений [3].

За несколько ясных ночей весны и осени 2008 г. на Нормальном астрографе были получены астрономические изображения 7 областей с ERS, в которых перерабатываемый нами сводный каталог опорных звезд для определения точных оптических координат базовых ERS системы ICRF насчитывает мало звезд. Каждое наблюдение состоит из 8-10 сканов матрицы продолжительностью 120 или 180 сек (табл. 1). Качество полученных сканов оценивается по 5-бальной шкале. Величина 5 соответствует хорошему

качеству изображений и погодных условий, 4 – ухудшение сканов в рассветных условиях, 3 – нестабильность погодных условий наблюдений от скана к скану.

Таблица 1. Условия получения и обработки сканов с областями ERS

| Имя поля | Дата | Epoch 2008.+ | m_V | I Scan Nxsec | N* ref. | Sx arcsec С.к.о. редукции | Sy редукции | Quality scan's |
|----------|------------|-----------------|-------|-----------------|------------|------------------------------|----------------|-------------------|
| 0119_041 | 2008.09.22 | 0.7387 | 19.5 | 10x120 | 6-8 | 0,025-0,050 | 0,025-0,045 | 5 |
| 1042_071 | 2008.04.21 | 0.3042 | 20.5 | 10x180 | 7-9 | 0,020-0,045 | 0,020-0,050 | 5 |
| 1324_224 | 2008.04.21 | 0.3067 | - | 8x180 | 6-7 | 0,025-0,060 | 0,030-0,060 | 3 |
| 1351_018 | 2008.04.28 | 0.3258 | 19.3 | 10x180 | 6-7 | 0,016-0,060 | 0,020-0,070 | 3 |
| 1424_240 | 2008.05.08 | 0.3533 | 15.0 | 10x180 | 6-8 | 0,025-0,040 | 0,025-0,050 | 4 |
| 1614_051 | 2008.04.28 | 0.3260 | 19.5 | 9x180 | 6-7 | 0,035-0,040 | 0,025-0,050 | 4 |
| 2121_053 | 2008.09.22 | 0.7283 | 20.4 | 10x120 | 7-9 | 0,020-0,040 | 0,020-0,040 | 5 |

Используя программный комплекс IZMCCD измерены и вычислены положения всех доступных регистрации объектов на каждом скане, от 25 до 86 для этих 7 областей звезд. Вычисление координат в IZMCCD проводится методом наименьших квадратов по стандартной процедуре редукции, с использованием линейного уравнения (метод 6 постоянных), что для малой части поля Нормального астрографа 18x16' вполне обоснованно. Каждый скан наблюдения обрабатывается отдельно. Для каждого скана в качестве опорной системы использовалось от 6 до 9 звезд каталога UCAC2 (HCRF, равноденствие J2000). Диапазон ошибок редукции для сканов приведены в табл. 1 как значения Sx, Sy. Их величины практически в 5-6 раз меньше ошибок редукции фотографических наблюдений, выполненных в ясные ночи и на хорошие фотопластинки, однако следует учесть, что редукция выполнялась практически по звездам 11-16^m, положения которых в опорных каталогах определены тем хуже, чем слабее звезда.

Таблица 2. Координаты центров 7 областей с ERS и число звезд в сводном каталоге

| Имя поля | Идентификация ICRF Ma et al. | RA (J2000.0) ICRF VLBI | DE | З В Е З Д всего с Mu | Stars CCD HCRF, J2000 |
|----------|---------------------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|--------------------------|
| 0119_041 | 012156.8+042224 | 01 21 56.862 | +04 22 24.73 | 23 6 | 28 22 |
| 1042_071 | 104455.9+065538 | 10 44 55.911 | +06 55 38.26 | 12 12 | 30 22 |
| 1324_224 | 132700.8+221050 | 13 27 00.861 | +22 10 50.16 | 3 3 | 25 16 * |
| 1351_018 | 135406.8-020603 | 13 54 06.895 | -02 06 03.19 | 17 17 | 27 22 |
| 1424_240 | 142700.3+234800 | 14 27 00.392 | 23 48 00.03 | 18 5 | 29 27 ** |
| 1614_051 | 161637.5+045932 | 16 16 37.557 | +04 59 32.74 | 23 22 | 46 43 |
| 2121_053 | 212344.5+053522 | 21 23 44.517 | +05 35 22.09 | 45 4 | 86 64 * |

* – Возможно измерены звездообразные объекты на месте поиска ERS в центре поля

** – Получены координаты ERS 142700.3+234800

В табл. 2 приводятся координаты центров областей ERS (ICRS положения самих внегалактических радиоисточников), полное число звезд в этом поле в нашем сводном каталоге, число звезд имеющих собственные движения и в последних двух столбцах число звезд, полученных из наших CCD-наблюдений. В графе обозначенной Mu и в

последнем столбце табл. 2 приведены данные о числе звезд поля, имеющих собственные движения из UCAC2.

Найдены астрометрические положения некоторых объектов 15.1-17.2^m в центральной части поля – ниже (табл. 3) приводим их координаты выделенные жирным текстом. В отношении слабых объектов есть подозрение, что это следы ERS на скане – слишком велики отклонения (O-C) от координат ERS, которые нами подчеркнуты. Однако вне всяких сомнений нами зафиксирован ERS 1424+240 (142700.3+234800), звездная величина которого 15,0. Причем значения отклонений (O-C) как в RA так и в DE порядка 0,07-0,06' (70-60 mas), что хорошо согласуется с оценками внешней схожимости для слабых 9.0 – 14.6^m астероидов, наблюдаемых на Нормальном астрографе [1].

Таблица 3. Точные положения ERS в центре поля и вычисленные координаты объектов

| Объект | RA ICRS, J2000 | DE ICRS, J2000 | RA J2000 | DE J2000 | $\Delta\alpha^s$ | $\Delta\delta''$ | Nsc |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|------------------|-----|
| 1324_224 | <u>13 27 00.861</u> | <u>+22 10 50.16</u> | 13 27 00.915 | +22 10 51.70 | +0.054 | +1.54 | 2 |
| 1424_240 | <u>14 27 00.392</u> | <u>23 48 00.03</u> | 14 27 00.397 | +23 47 59.97 | +0.005 | -0.06 | 10 |
| 2121_053 | <u>21 23 44.517</u> | <u>+05 35 22.09</u> | 21 23 44.563 | +05 35 23.22 | +0.046 | +1.13 | 1 |

Для оценки точности получаемых положений звезд сделано сравнение полученных нами координат звезд с их положениями в каталоге СМС-14 Карлсбергского меридианного круга. Интересно отметить тот факт, что в этих выбранных 7 полях почти все наблюдаемые звезды до 17 величины зарегистрированы автоматическим инструментом (см. табл. 4). Разброс положений довольно велик по обеим координатам, однако о систематических отклонениях в положениях говорить некорректно, поскольку выборки для большинства полей малочисленны. Для области ERS 2121+053, где совпадают 85 звезд, в прямом восхождении получили хорошее согласие координат, а в склонении можно отметить небольшой систематический сдвиг в сторону увеличения. Относительно 3-7 совпадающих звезд с каталогом Tycho-2 ничего определенного отметить нельзя – слишком малы статистические выборки. В трех областях, где ошибки нулевые, находится только по 1 звезде из каталога Tycho-2.

Таблица 4. Средние отклонения для совпадающих с СМС и Tycho-2 звезд для 7 областей

| Имя области | Идентификация ICRF Ma et al. | Mean Value: (O-C) for CMC N* | | | (O-C) for Tycho-2 Stars | |
|-------------|------------------------------|------------------------------|--------------|-----|-------------------------|--------------|
| | | RA ± Err (s) | DE ± Err (") | Obr | RA ± Err (s) | DE ± Err (") |
| 0119_041 | 012156.8+042224 | 0,007 ± 0,008 | 0,07 ± 0,23 | 27 | 0,010 ± 0,000 | 0,05 ± 0,00 |
| 1042_071 | 104455.9+065538 | 0,005 ± 0,007 | -0,02 ± 0,17 | 29 | -0,040 ± 0,054 | 0,10 ± 0,12 |
| 1324_224 | 132700.8+221050 | 0,015 ± 0,022 | 0,00 ± 0,27 | 25 | -0,001 ± 0,002 | -0,03 ± 0,06 |
| 1351_018 | 135406.8-020603 | 0,005 ± 0,015 | 0,00 ± 0,21 | 26 | -0,005 ± 0,000 | 0,04 ± 0,00 |
| 1424_240 | 142700.3+234800 | 0,003 ± 0,014 | 0,07 ± 0,17 | 30 | -0,001 ± 0,003 | 0,03 ± 0,09 |
| 1614_051 | 161637.5+045932 | 0,007 ± 0,018 | 0,00 ± 0,18 | 46 | -0,003 ± 0,000 | 0,01 ± 0,00 |
| 2121_053 | 212344.5+053522 | 0,001 ± 0,008 | 0,05 ± 0,20 | 85 | 0,001 ± 0,008 | -0,03 ± 0,12 |

Графики разностей (О-С) для 268 звезд в зависимости от звездной величины на рис. 1 показывают возможность наличия очень небольшого увеличения отклонений при наблюдении более слабых звезд. Увеличение ошибки позиционирования отмечается практически для всех астрометрических инструментов, использующих для регистрации изображений CCD-матрицы [4]. Это обстоятельство требует от нас дополнительного изучения, как в качественном, так и в количественном отношении, поскольку наши выборки содержат в основном звезды слабее $11,0^m$ – и практически отсутствуют более яркие звезды. Из этих графиков можно отметить только то, что основная масса определяемых звезд в этих полях лежит в пределах звездных величин $11,0 - 16,5^m$.

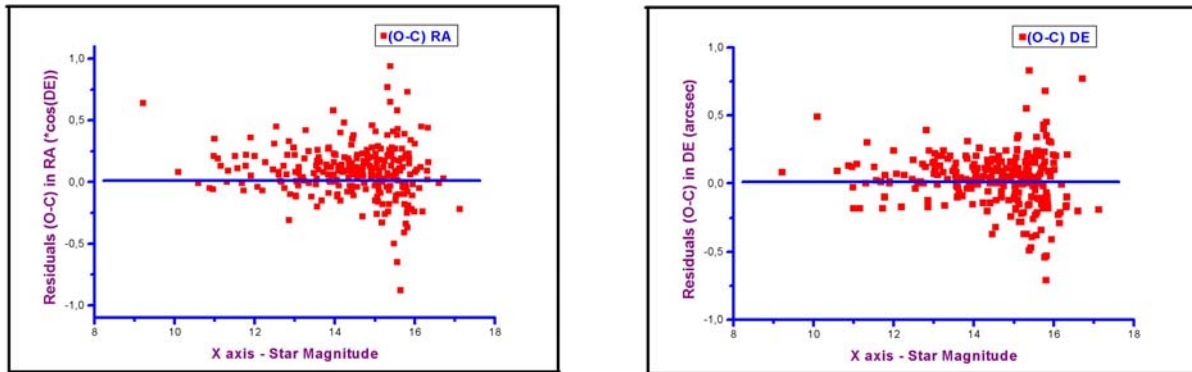


Рис. 1. Разности (О-С) как функция звездной величины для совпадающих с каталогом СМС 268 звезд в наших 7 областях для ERS.

В целом мы удовлетворены наблюдениями с ПЗС-приемником на Нормальном астрографе, которые позволили увеличить число звезд в 7 областях с ERS почти вдвое.

Литература

1. Хруцкая Е.В., Ховричев М.Ю., Бережной А.А., Результаты ПЗС-наблюдений малых тел Солнечной системы на нормальном астрографе Пулковской обсерватории в 2005-2006 гг. и планируемые наблюдения, 2006, Известия ГАО в Пулкове, № 218, 183-187.
2. Измайлов И.С., Технология астрометрической обработки ПЗС-изображений на примере программного пакета IZMCCD, 2007, сб. п/ред. д.ф.м.н. Пинигина Г.И., Изучение объектов околоземного пространства и малых тел Солнечной системы, Николаев, Атолл, стр.277-282.
3. V. Ryl'kov, A. Dement'eva, N. Narizhnaya, G. Pinigin, N. Maigurova, Yu. Protsyuk, G. Bocsa, P. Popescu, V. Kleschenok, "Compiled Catalogue of Reference Stars around Extragalactic Radio Sources. Reduction Techniques and the First Results", Kinematics and Physics of Celestial Bodies, Supl.Ser., 2005, № 5, p.328-332.
4. N. Zacharias, Maintenance of the Link to Hipparcos, 2005, IERS Technical Note, № 34, pp.73-80.

THE POSITIONAL CCD-OBSERVATIONS OF STAR FIELDS WITH PULKOVO NORMAL ASTROGRAPH

Ryl'kov V.P. and Narizhnaya N.V.

The results of CCD-observations with Pulkovo Normal Astrograph for 7 fields with ERS are presented. The position of 268 stars were obtained and compared with others catalogues. The position errors was estimated to 60-70 mas for stars of $14-16^m$.

МОДЕРНИЗАЦИЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА АОЭ

Сасюк В.В., Нефедьев Ю.А., Вараксина Н.Ю., Чуркин К.О.

¹*Астрономическая обсерватория им. В.П. Энгельгардта,
422526, Россия, Татарстан, Зеленодольский р-он, ст. Обсерватория, АОЭ, star1955@mail.ru*

В статье описываются основные этапы реконструкции наблюдательного комплекса АОЭ для учебных занятий.

Кафедра астрономии Казанского государственного университета является самой старой в России. Она была организована раньше, чем в Санкт-Петербургском и Московском университетах. В задачу кафедры входило и входит подготовка высокообразованных специалистов в области астрономии и геодезии для многих отраслей народного хозяйства и проведение научных исследований по этим научным дисциплинам. Изначально планировалось выполнение как теоретических, так и экспериментальных (наблюдательских) работ. Поэтому при кафедре сразу же после ее организации была создана астрономическая обсерватория, снабженная первоклассным оборудованием для выполнения астрономических и астрономо-геодезических наблюдений.

К концу XIX века в условиях города стало затруднительно проводить высокоточные астрономические наблюдения, поэтому в 1901 году была открыта загородная Энгельгардтовская (АОЭ) обсерватория, снабженная инструментами, подаренными Казанскому университету В.П. Энгельгардтом. Туда была также перенесена часть оборудования из городской обсерватории.

С течением времени даже в загородной обсерватории астроклиматические условия перестали удовлетворять требованиям астрономов. Поэтому во второй половине прошлого века Казанский университет и АОЭ организует ряд южных высокогорных астрономических станций: Алма-атинскую, Нахичеванскую и Зеленчукскую, куда переносятся крупнейшие телескопы кафедры и АОЭ. Эти станции способствовали не только развитию уровня научно-исследовательских работ, но и повышению качества подготовки молодых специалистов.

Наряду с университетскими астрономическими научно-учебными подразделениями в г. Казани начинается подготовка специалистов по астрономии в Педагогическом институте, открытом еще в XIX веке.

Еще в середине прошлого века Д.Я. Мартынов (тогда директор АОЭ) приложил много усилий для оснащения АОЭ крупным телескопом. На ЛОМО разрабатывается 125 см рефлектор ЗТЭ-125 специально для АОЭ. К сожалению, Д.Я. Мартынов при переходе в 1954 г. на работу в ГАИШ увозит с собой этот телескоп. Только много лет спустя А.А. Нефедьеву (директор АОЭ с 1958 по 1976 гг.) удается добиться в министерстве высшего образования финансирования на изготовление 1.5 м рефлектора системы Ричи-Кретьена. По ряду причин только в последние годы прошлого столетия этот телескоп удалось ввести в строй на турецкой высокогорной астрономической обсерватории вблизи г. Анталия.

В настоящее время студенты знакомятся с навыками астрономических наблюдений в основном в АОЭ на нескольких телескопах: 35 см менисковом телескопе системы Максудова (АЗТ-452), 50 см рефлекторе АЗТ-14 и астрографе Гейде. Менисковый телескоп и астрограф Гейде предназначены для фотографических наблюдений, а рефлектор, в основном, для фотоэлектрических наблюдений покрытий звезд Луной. Кроме того, студенты с удовольствием фотографируют площадки неба и редкие явления, такие, как кометы на обычные фотоаппараты для получения любительских "картинок".



Рис. 1. Современный вид наблюдательного комплекса АОЭ.

Более серьезную и квалифицированную практику астрономических наблюдений студенты КГУ проходят на Зеленчукской станции, где они обучаются методам фотографических наблюдений на 40 см широкоугольном астрографе фирмы К. Цейсс Йена (ША Цейсс) и знакомятся с 6 м азимутальным рефлектором Специальной астрофизической обсерватории (САО РАН). Дипломные работы многих студентов основаны на наблюдениях, выполненных на этом телескопе. Следует отметить, что с каждым годом все большее внимание уделяется знакомству студентов с радиоастрономией и методам наблюдений на крупнейшем радиотелескопе мира РАТАН-600 САО РАН.

Если несколько десятилетий назад специализация студентов приблизительно равномерно делилась между небесной механикой, астрометрией и астрофизикой, то в настоящее время преобладает астрофизика. Это объясняется как объективными, так и субъективными факторами и до некоторой степени соответствует тенденции развития астрономических дисциплин в мировом масштабе. Среди наблюдательских работ студентов основное внимание уделяется спектроскопическим методам изучения звездных атмосфер, их химического состава и т.п. Можно надеяться, что в ближайшем будущем студентам будет доступен и 1.5 м телескоп АОЭ, установленный в Турции. В настоящее время основное препятствие этому – отсутствие соответствующего финансирования. Пока можно говорить только о косвенном использовании этого телескопа в учебном процессе, а именно, наблюдательный материал получается научными сотрудниками и преподавателями в их редкие поездки в Турцию, студенты же их обрабатывают на месте в Казани.

Особое внимание уделяется групповым наблюдениям как студентов, так и школьников. Для этой цели как в КГУ, так и в КГУ проводятся дополнительные занятия для молодых энтузиастов астрономии, а в Энгельгардтовской обсерватории выделены оборудованные помещения для того, чтобы школьники и студенты могли приехать с но-

чевкой для работы на профессиональном телескопе. Часто в группу входят и школьники, и студенты, и молодые аспиранты.



Рис. 2. Павильон 1,5 метрового телескопа казанского университета, установленного в турецкой астрономической обсерватории.

В базе наблюдательного комплекса АОЭ имеется ряд телескопов, которые было решено модернизировать с целью производства на них учебных занятий и выполнения популяризаторских задач. В первую очередь это касается телескопа АЗТ-14, который подвергся полной реконструкции. Он изначально являлся астрографом, но приемная часть была оснащена ПЗС матрицей и вся электронная начинка телескопа, состоящая из управляемых реле, переведена на современные схемы управления. Поставлены самые современные системы климат - контроля и система слежения и наведения телескопа из удаленной от телескопа кабины наблюдателя. Все это позволяет не только выполнять текущие наблюдательные программы, но также дает возможность студентам, изучающим курсы астрономии пройти обучение с использованием современных технологий. Следующим шагом стал перевод 16 дюймового рефрактора АОЭ из астрографа в визуальный телескоп. Причем функции астрографа были сохранены. Таким образом, появилась возможность проводить полноценные экскурсии по исследованию космических объектов. Разумеется, и сам телескоп был модернизирован и обновлен. Сейчас планируется перевод на ПЗС регистрацию наблюдений и АФР-18, что позволит студентам самим ставить научные задачи и решать их при наблюдениях на данном телескопе. Большие изменения претерпела и система координатно-временного обеспечения наблюдательного комплекса АОЭ.

Учитывая все выше сказанное, мы стремимся развивать учебный наблюдательный комплекс ближе к месту учебы молодежи, а именно в Энгельгардтовской обсерватории. В ближайшее будущее планируется установить ПЗС матрицы на менисковый и АФР-18 телескопы АОЭ, что позволит проводить учебно-обучающие наблюдения на мировом

уровне и знакомить молодых исследователей с современным наблюдательным оборудованием.

MODERNIZATION OF THE OBSERVANT COMPLEX EAO

Sasuk V., Nefed'ev Yu., Varaksina N.Yu., Churkin K.

*¹Engelhardt astronomical observatory (EAO), 422526, Russia, Tartarstan,
Zelenodoliskiy region, cl. Observatory, EAO, star1955@mail.ru*

In article the main stages of the reconstructions of the observant complex AOE for educational studies are described.

ДИНАМИЧЕСКИЕ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ АСТЕРОИДОВ

Тимошкова Е. И.

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

Проблемы происхождения и динамической эволюции малых тел Солнечной системы продолжают оставаться одной из важнейших тем многих исследований последних лет. Это объясняется многими причинами, среди которых можно назвать многократный количественный рост популяции астероидов и комет за счет вновь открываемых объектов и связанную с этим проблему "астероидной опасности". В данной работе проводится описание статистических и динамических свойств группы потенциально опасных АСЗ. В качестве основных изучаемых параметров рассматриваются элементы орбиты, минимальное расстояние между орбитами Земли и астероида и его звездная величина. Особое внимание обращено на изучение распределений астероидов, имеющих соизмеримости средних движений с Юпитером в отношении 2:1, 3:1 и 5:2.

Популяция потенциально опасных астероидов как подкласс АСЗ

Потенциально опасными для Земли объектами принято считать астероиды и кометы, орбиты которых в принятую эпоху сближаются с орбитой Земли до расстояний меньших или равных 0.05 а.е. [1].

Каталог потенциально опасных астероидов, опубликованный группой сотрудников ИПА РАН, содержит сведения о 493 объектах, из них 71 астероид относится к нумерованным [1]. Абсолютная звездная величина всех астероидов из этого каталога не превышает значения $22^m.0$. Все данные относятся к марту 2003 г. С тех пор количество вновь открытых астероидов сильно возросло, увеличилось и число потенциально опасных астероидов. Поэтому наряду с каталогом ИПА 2003 года, мы будем рассматривать расширенный список потенциально опасных астероидов, относящийся к августу 2008 года и заимствованный нами из электронной версии List of the Potentially Hazardous Asteroids (PHAs) [2]. В этом списке насчитывается уже 979 астероидов, из них 240 нумерованных, причем отсутствует ограничение по звездной величине. Астероиды, которые содержатся в каталоге -2003, практически полностью вошли в список-2008, притом, что некоторые из них стали уже нумерованными.

Все потенциально опасные астероиды, очевидно, принадлежат к многочисленной популяции астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ). Как известно, к группе АСЗ обычно относят астероиды с перигельным расстоянием $q < 1.33$ а.е. В таблице 1 представлены сведения об общем числе АСЗ и потенциально опасных астероидов (ПОА), известных на эпоху каталога -2003 и списка -2008.

Таблица 1. Общее число АСЗ и потенциально опасных астероидов

| | 2003г. | 2008 г. |
|------------------|--------|---------|
| Общее число АСЗ | 2263 | > 4000 |
| Нумерованные АСЗ | 303 | 849 |
| Общее число ПОА | 493 | 979 |
| Нумерованные ПОА | 71 | 240 |

Как видно из этой таблицы, общее число потенциально опасных астероидов за пять лет увеличилось примерно в два раза. Если учитывать, что число потенциально опасных астероидов в каталоге -2003 ограничено по звездной величине, а в списке -2008 такого ограничения нет, то рост числа потенциально опасных астероидов за прошедшие после 2003 года пять лет будет несколько меньше. В дальнейшем мы будем анализировать данные расширенного списка потенциально опасных астероидов, который насчитывает 979 малых тел.

Распределения основных параметров потенциально опасных астероидов

В качестве основных изучаемых параметров рассматриваются элементы орбиты - большая полуось a , эксцентриситет e , наклон орбиты астероида к плоскости эклиптики i , а также минимальное расстояние между орбитами Земли и астероида ($MOID$) и его абсолютная звездная величина H .

Все астероиды рассматриваемого массива имеют абсолютные звездные величины в достаточно широком диапазоне: $27^m.5 < H < 14^m.0$, причем для значительного большинства астероидов $H < 20^m$. Как известно, величина H позволяет оценить линейные размеры астероида. Согласно расчетам, приведенным в [1], звездным величинам в диапазоне от 14.0 до 18.0 примерно соответствуют диаметры астероидов от четырех километров до одного. При $H = 22^m.0$ диаметр астероида будет уже порядка 200-150 метров. Таким образом, значительная доля потенциально опасных астероидов – это малые тела размером в сотни или даже десятки метров.

Распределения изучаемых потенциально опасных астероидов в элементном пространстве представлены на рисунках 1-3.

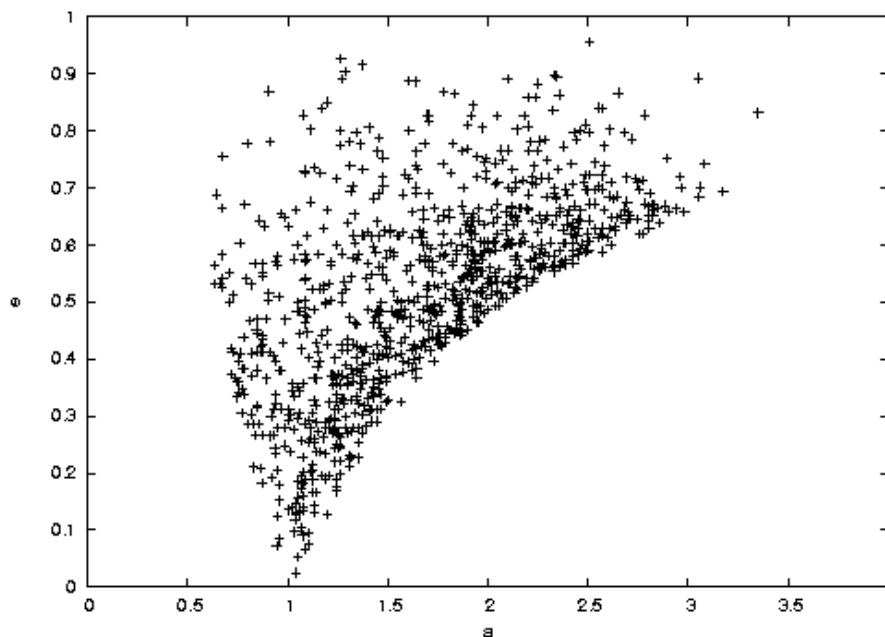


Рис. 1.

На рисунке 1 представлено распределение астероидов на плоскости a, e . Большая полуось дается в астрономических единицах. Здесь хорошо видно, что a для всех астероидов лежит в интервале от 0.5 а.е. до 3.5 а.е.. Исключение составляет астероид 1999 XS35 с $a = 18.05$ а.е. (17.78 а.е. по каталогу-2003) и на рисунке его нет. Хорошо заметно малое число тел в интервале значений a примерно от 2.9 а.е. до 3.5 а.е. Заметим, что этот диапазон значений большой полуоси соответствует широкой окрестности двух

главных резонансов в средних движениях астероида и Юпитера (резонансы 5:2 и 2:1). Интервал значений эксцентриситета очень широк – практически от значений близких к нулю до 0.95. Из нумерованных потенциально опасных астероидов минимальное значение $e = 0.124$ имеет астероид 162421, а максимальное значение $e = 0.820$ астероид 3200 (Phaethon). Однако, распределение эксцентриситетов в этом интервале неравномерное. Большая часть представленных здесь объектов имеют e в пределах от 0.2 до 0.7. Это хорошо видно и на рис. 3, где показано распределение астероидов на плоскости e, i .

Распределения астероидов в плоскости a, i и e, i представлены на рисунках 2-3 (наклон i дается в градусах).

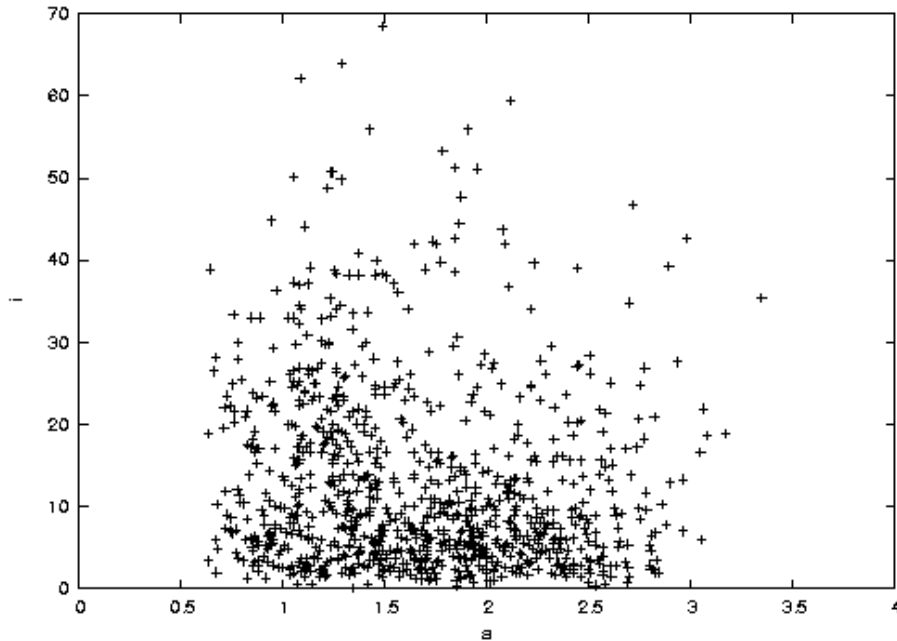


Рис. 2.

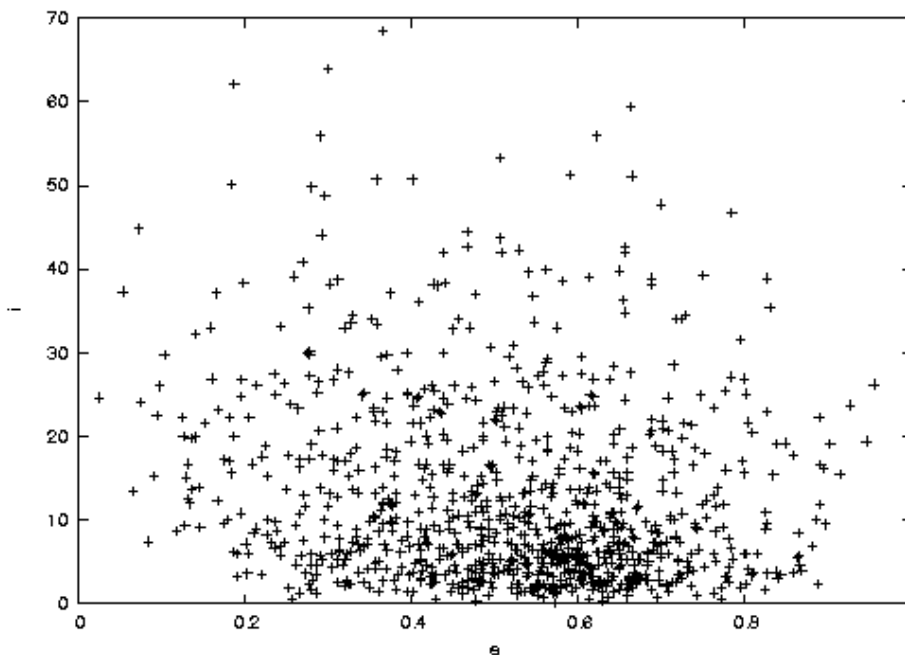


Рис. 3.

Здесь хорошо видно, что большая часть астероидов имеют наклоны к плоскости эклиптики в интервале примерно от $0^\circ.1$ до $27^\circ.0$, хотя имеется немалая доля тел с большими наклонами ($30^\circ < i < 70^\circ$). Распределение последних по эксцентриситетам более равномерное, чем по a . Среди нумерованных потенциально опасных тел максимальные значения наклона имеют астероиды 2102 (Tantalus) и 2101 (Adonis) с $i = 64^\circ.0$ и $i = 1^\circ.3$ соответственно.

На рис. 3, где дано распределение астероидов в плоскости e, i можно отметить сгущение точек в интервале значений e примерно от 0.55 до 0.68-0.69. Такие значения эксцентриситета характерны для АСЗ из главного пояса астероидов ($2.1 < a < 3.3$), что также можно усмотреть из рис. 1.

Согласно современным представлениям большую роль в существовании популяции АСЗ играют резонансы с Юпитером. Поэтому нам показалось интересным отдельно привести статистику потенциально опасных астероидов, локализованных в окрестности главных резонансов с Юпитером.

Потенциально опасные резонансные астероиды

Как известно, существующие в главном поясе астероидов люки соответствуют резонансным соотношениям низких порядков (2/1, 3/1, 4/1, 5/2) между средними движениями астероидов и Юпитера. Поэтому здесь будем рассматривать несколько более широкую окрестность указанных резонансов по сравнению с обычно принятой практикой. В нижеприводимых таблицах дано число занумерованных АСЗ и потенциально опасных астероидов в окрестности главных резонансов с Юпитером из расширенного списка ПОА-2008 г., а также приведены значения основных орбитальных параметров для 13 нумерованных астероидов для двух резонансов.

Таблица 2. Занумерованные потенциально опасные астероиды в окрестности резонанса 3:1 и 5:2 с Юпитером.

| N | a | e | i | ω | Ω | MOID |
|--------------|--------|--------|--------|----------|----------|---------|
| Резонанс 3:1 | | | | | | |
| 4179 | 2.5310 | 0.6287 | 0.450 | 278.740 | 124.296 | 0.00609 |
| 6489 | 2.4979 | 0.6053 | 2.281 | 66.911 | 210.911 | 0.02787 |
| 6491 | 2.5023 | 0.5892 | 5.743 | 320.654 | 304.081 | 0.04823 |
| 137427 | 2.4491 | 0.6138 | 39.051 | 161.253 | 348.340 | 0.02714 |
| 152664 | 2.5116 | 0.7212 | 3.484 | 80.872 | 357.931 | 0.00759 |
| 153220 | 2.5322 | 0.6722 | 5.441 | 132.390 | 72.767 | 0.01521 |
| 153311 | 2.5045 | 0.6434 | 28.431 | 218.375 | 142.481 | 0.03256 |
| 186844 | 2.4373 | 0.6693 | 7.794 | 54.247 | 261.902 | 0.01516 |
| Резонанс 5:2 | | | | | | |
| 4015 | 2.6379 | 0.6243 | 2.785 | 91.250 | 270.555 | 0.04701 |
| 14827 | 2.8449 | 0.6650 | 1.981 | 238.108 | 58.030 | 0.01525 |
| 53319 | 2.7062 | 0.6497 | 13.840 | 166.295 | 133.893 | 0.04921 |
| 100085 | 2.6373 | 0.6259 | 2.809 | 38.233 | 308.481 | 0.01453 |
| 139359 | 2.6499 | 0.8658 | 5.788 | 300.050 | 86.741 | 0.01151 |

Таблица 2. Число занумерованных АСЗ и ПОА в окрестности главных резонансов с Юпитером на 2008 г.

| Резонанс | 2: 1 ($3.0 < a < 3.56$) | 5: 2 ($2.6 < a < 2.9$) | 3: 1 ($2.4 < a < 2.6$) | 4: 1 ($1.95 < a < 2.15$) |
|----------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| АСЗ | 4 | 35 | 52 | 88 |
| ПОА | 0 | 5 | 8 | 19 |

Таким образом, всего в окрестности всех главных резонансов с Юпитером имеем только 32 потенциально опасных астероида из общего количества в 240.

Наибольший интерес при изучении распределений потенциально опасных астероидов из окрестности главных резонансов с Юпитером, по нашему мнению, представляет распределение по наклону к плоскости эклиптики. Ранее в работе [3] нами изучались распределения орбитальных параметров двух групп резонансных АСЗ методами статистического анализа, средние движения которых соизмеримы со средним суточным движением Юпитера в отношении 3:1. Первая группа состояла из 12 нумерованных астероидов, вторая из 28 нумерованных астероидов. Выборка первой группы делалась из 9709 нумерованных астероидов, представленных в "Эфемеридах малых планет на 2000 год". Выборка второй группы проводилась из числа всех нумерованных на начало 2005 года астероидов. Для всех элементов группы из 12 астероидов начальное распределение всех шести элементов близко к нормальному, при этом половина астероидов имеет наклон орбиты к плоскости эклиптики больше 15° . Изучались распределения начальных значений элементов для второй группы из 28 астероидов. Из группы в 28 астероидов уже 16 астероидов имеют сильно наклоненные орбиты, так что условие согласия с нормальным законом распределения выполняется для всех элементов, кроме наклона.

Таким образом, среди АСЗ, локализованных в резонансе 3:1 с Юпитером и нумерованных на начало 2005 года, не наблюдается преобладания астероидов с малыми наклонами ($i < 10^\circ$), скорее наоборот. Тогда как из анализа данных таблицы 3 и не приведенных здесь данных по 19 нумерованным ПОА из окрестности резонанса 4:1 следует, что большинство нумерованных резонансных потенциально опасных астероидов (22 из 32) находятся на орбитах с наклонами к плоскости эклиптики меньше 10° .

Тенденция локализации резонансных ПОА вблизи плоскости эклиптики особенно заметна при изучении всей группы потенциально опасных астероидов из окрестности резонанса 3:1. В рассматриваемом здесь списке -2008 было выявлено 106 таких астероидов, включая 8 нумерованных, приведенных в таблице 3. Орбиты только 20 астероидов из этих 106 имеют наклоны больше 10° .

При изучении всего массива данных для 106 ПОА нельзя не отметить существование значительного числа астероидов, орбиты которых имеют близкие значения нескольких элементов. По-видимому, похожая ситуация наблюдается и для других резонансов. Пример можно видеть в таблице 3 для случая резонанса 5:2 – это астероиды 4015 и 100085.

Заключение

Представленные здесь результаты сравнительного изучения различных распределений для потенциально опасных астероидов имеют предварительный характер. Тем не менее, как нам представляется, проведенный анализ позволяет обнаружить некоторые интересные особенности в распределениях отдельных групп астероидов. В частности, более глубокого исследования требует факт преобладания орбит с малыми наклонами среди резонансных потенциально опасных астероидов. Заслуживает отдельного изучения вопрос существования астероидов с похожими орбитами. Особый интерес могут представлять астероиды, для которых минимальное расстояние между их орбитой и орбитой Земли (*MOID*) не превышает 0.001 а.е. Приведем их список, включая и нумерованные. Для последних дается предварительное обозначение в скобках. Из 979 ПОА следующие астероиды имеют *MOID* < 0.001а.е. – 7482, 35396, 37638, 90416, 143487, 163132, 177049, (1996JA1), (1997XR2), (1999AN10), (1999JD6), (2000EK26), (2000QK130), (2001VK5), (2002CU11), (2002JZ8), (2003CR20), (2003EE16).

Литература

1. *Виноградова Т.А. и др.* Каталог потенциально опасных астероидов и комет / Труды ИПА РАН. Вып. 9. СПб: ИПА РАН, 2003.
2. <http://neo.jpl.nasa.gov/neo/groups>
3. *Тимошкова Е.И.* Статистический анализ орбитальной эволюции группы сближающихся с Землей астероидов, находящихся в резонансе 3:1 с Юпитером // Всероссийская конференция "Астероидно-кометная опасность - 2005" (АКО-2005). Материалы конференции. СПб: ИПА РАН, 2005. С. 316.

**DYNAMICAL AND STATISTICAL PROPERTIES
OF POTENTIALLY HAZARDOUS ASTEROIDS**

Timoshkova E.I.

The Main Astronomical Observatory of RAS at Pulkovo, Saint Petersburg, Russia

The paper contains a description of a study of dynamical and statistical properties of potentially hazardous asteroids (PHAs). The osculating elements, minimum orbital intersection distance (MOID) with the Earth and absolute magnitudes of PHAs are the main studied parameters. Special attention is paid to analysis of distributions of the values of these parameters for the asteroids with orbits presently located in the narrow mean motion resonance ranges 2:1, 3:1 and 5:2 with Jupiter.

НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ И РЕЗУЛЬТАТЫ, ДОСТИГНУТЫЕ В ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИИ

Тиссен В.М.¹, Толстикова А.С.¹, Малкин З.М.²

¹Сибирский НИИ метрологии, г. Новосибирск, Россия

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

В статье рассмотрен новый метод прогнозирования всемирного времени – одной из наиболее актуальных задач координатно-временного, эфемеридного и метрологического обеспечения многих научных задач о Земле и практических приложений. Метод основан на построении общей гармонической модели вращения Земли и использовании модифицированного метода авторегрессии. Сравнительная оценка точности прогнозов, сделанных в СНИИМ и Международной службе вращения Земли и опорных координатных систем (IERS) в 2008-2009 гг., показала более высокую точность прогнозов, выполненных по предлагаемой методике.

1. Задача и проблемы

Задача высокоточного прогнозирования параметров вращения Земли (ПВЗ) приобрела особую актуальность с появлением в России и США в начале 1980-х годов глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. Развитие этих систем требует постоянного совершенствования программного обеспечения (ПО), что необходимо для повышения качества эфемеридно-временного обеспечения (ЭВО) ГЛОНАСС. Выполнение современных требований к ЭВО возможно только при условии обеспечения ПО космических аппаратов (КА) высокоточными прогнозами ПВЗ, так как они входят в начальные условия, используемые при решении дифференциальных уравнений движения КА. Особенно это актуально в случае возникновения необходимости работы навигационных систем в автономном режиме. Из ПВЗ наиболее трудно прогнозируемым параметром традиционно считается всемирное время $UT1$. Это связано со сложным характером его изменений за наблюдаемый 350-летний период, как показано на рис. 1, где приведен график изменений разностей между неравномерной шкалой всемирного $UT1$ и равномерной шкалой земного динамического времени TT .

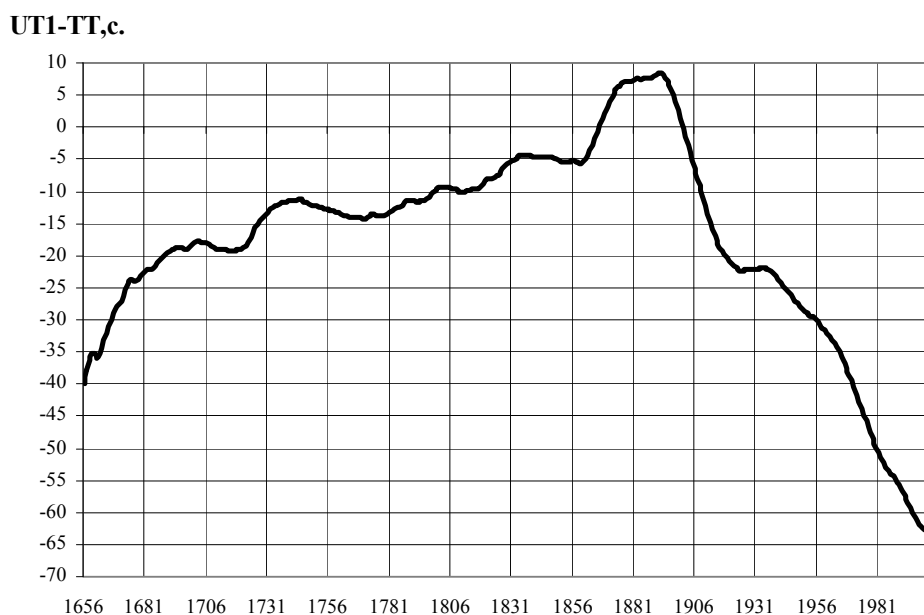


Рис. 1. Изменение разностей $UT1-TT$ за 350 лет.

Анализируя график на рис. 1, можно отметить, что за последние 100 лет не менее шести раз происходили многолетние (длительностью 10 и более лет) трендовые изменения всемирного времени кусочно-гладкого типа различной величины и направленности. Эти изменения, как и менее продолжительные длительностью в 1-2 года в настоящее время считаются практически непредсказуемыми. Природа таких трендовых изменений остается пока еще невыясненной. Предполагается, что они могут быть вызваны суммарным влиянием на процесс вращения Земли ряда нестационарных природных факторов таких как: глобальные изменения климата и уровня солнечной радиации, перераспределение масс в земных недрах после землетрясений и вулканической деятельности, вариации геомагнитного поля, турбулентные движения в ядре, конвективные течения вещества в мантии, процессы перекристаллизации в подкорковом слое и др.

К предсказуемым изменениям относятся приливные колебания от Луны и Солнца и сезонные неравномерности. Всего известно более 60 приливных колебаний с различными амплитудами и периодами. Среди них наиболее заметны составляющие с периодами год, полгода, 13,7; 27,3; 9,1 суток. Сезонные изменения обычно аппроксимируют гармоническими составляющими с амплитудами годовой волны около 20 мс и полугодовой около 10 мс.

В настоящее время разработкой и совершенствованием методов прогнозирования ПВЗ занимаются многие отечественные и мировые службы и научные институты. Официальным поставщиком прогнозов ПВЗ в России является Государственная служба времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ), подведомственная Ростехрегулированию. Международная служба вращения Земли (МСВЗ) выставляет свои прогнозы ежедневно в Интернете на сайте Морской обсерватории США (USNO) <http://maia.usno.navy.mil/>. Этими службами публикуются прогнозы разности $dUT1 = UT1 - UTC$ между всемирным $UT1$ и координированным UTC временем.

Следует отметить, что точность краткосрочных (на 10-15 дней) прогнозов всемирного времени в МСВЗ в ГСВЧ за последние годы заметно возросла. Так, по оценкам авторов в 2008 г. СКП этих прогнозов на интервале до 15 дней составила около 1,5 и 2 мс соответственно. Тем не менее, полученные результаты в полной мере не удовлетворяют задачам дальнейшего совершенствования ЭВО ГЛОНАСС, где необходимо обеспечить среднегодовую оценку СКП около 1 мс.

Главными недостатками, которыми обладают методы, применяемые в ГСВЧ, МСВЗ и других службах, являются зависимость получаемых результатов от интервала данных и от критериев адекватности, используемых для оценивания параметров прогностической модели. Причина этого эффекта может быть в использовании ограниченных массивов данных длительностью не более 4-6 лет для определения параметров тренда и сезонных колебаний, что не позволяет достаточно достоверно учитывать нерегулярные длительные вариации всемирного времени, показанные на рис. 1.

2. Требования ЭВО ГЛОНАСС

Средние квадратические ошибки максимальных отклонений прогнозов $UT1$ $СКП_{(max)}$, рассчитанные по формуле

$$СКП_{(max)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_s} (MAX(\varepsilon_{i,j}))^2 / N_s}$$

где N_s – число прогнозов, включенных в обработку; $\varepsilon_{i,j}$ – отклонение отдельного прогноза i на интервале в j дней, не должны превосходить значений приведенных в табл. 1.

Таблица 1. Требования к точности прогнозирования всемирного времени для целей ЭВО ГЛОНАСС.

| Интервал прогноза, сут. | СКП _(max) прогнозов <i>UTI</i> (мс) | |
|-------------------------|--|-----------|
| | Достигнутые в ГСВЧ (2008-2009) | Требуемые |
| 1 | 0,08 | 0,05 |
| 10 | 1,2 | 0,7 |
| 15 | 2,1 | 1.0 |
| 60 | — | 2–3 |

3. Предлагаемые пути решения проблемы

Авторами разработаны и апробированы новые методы прогнозирования всемирного времени на различные сроки. Предлагаемая методика основана на представлении ряда известных данных наблюдений *UTI* на интервале не менее 75 лет в виде суперпозиции большого числа гармоник. Такой подход в известной степени противоречит сложившейся в настоящее время точки зрения о значительно большем влиянии непериодических длительных изменений в скорости вращения Земли по сравнению с известными периодическими. Так, по данным, приведенными в [1], вклад в суммарную ошибку годового прогноза *UTI* от неучета изменения тренда составляет порядка 99% в сравнении с регулярными приливными и сезонными колебаниями. Тем не менее, полученная авторами аппроксимация трендовых изменений в виде некоторой суммы гармоник позволила существенным образом улучшить точность долгосрочных прогнозов. В табл. 2 приведены наиболее влиятельные и устойчивые периодические составляющие, выявленные при разложении тренда *UTI* в гармонический ряд.

Таблица 2. Главные составляющие трендовых колебаний всемирного времени.

| Гармоника | Период (лет) | Амплитуда (мс) |
|-----------|--------------|----------------|
| 1. | 66,00 | 3500,0 |
| 2. | 33,00 | 500,0 |
| 3. | 22,00 | 750,00 |
| 4. | 14,00 | 160,00 |
| 5. | 10,00 | 50,00 |
| 6. | 8,00 | 20,00 |
| 7. | 6,00 | 40,00 |
| 8. | 4,80 | 25,00 |
| 9. | 3,60 | 15,00 |
| 10. | 2,40 | 15,00 |
| 11. | 2,00 | 4,00 |
| 12. | 1,67 | 4,00 |
| 13. | 1,10 | 2,00 |
| 14. | 1,00 | 21,00 |
| 15. | 0,90 | 1,00 |
| 16. | 0,83 | 1,20 |
| 17. | 0,71 | 1,10 |
| 18. | 0,58 | 1,00 |
| 19. | 0,50 | 8,00 |
| 20. | 0,33 | 1,00 |

4. Техническая реализация

Технология получения прогнозов состоит в последовательном исправлении системы $dUT1$ за приливные, сезонные и другие регулярные коротко- и долгопериодические колебания. Учет океанских приливов выполнен по методике принятой в МСВЗ. Для определения параметров «трендовых» гармоник использованы известные методы оптимизации математических моделей с применением МНК и метода наискорейшего спуска, а также собственные разработки. Остаточные отклонения прогнозируются с помощью модифицированной авторегрессии [2].

Программная реализация предлагаемой методики выполнена на языках программирования Фортран-90 (расчетные модули) и С++ (интерфейс пользователя). Время, затрачиваемое на получение одного прогноза, в зависимости от режима расчета, лежит в пределах от 20 сек до 2 мин. На рис. 2 приведено изображение главного окна пользовательской программы PVZ с прогнозами МСВЗ (IERS) на 90 дней (зеленые точки, верхняя кривая) и СНИИМ (синие точки, средняя кривая) с наложенными позднее действительными значениями $dUT1$ (красные точки, нижняя кривая) от 20 апреля по 28 сентября 2009 г.

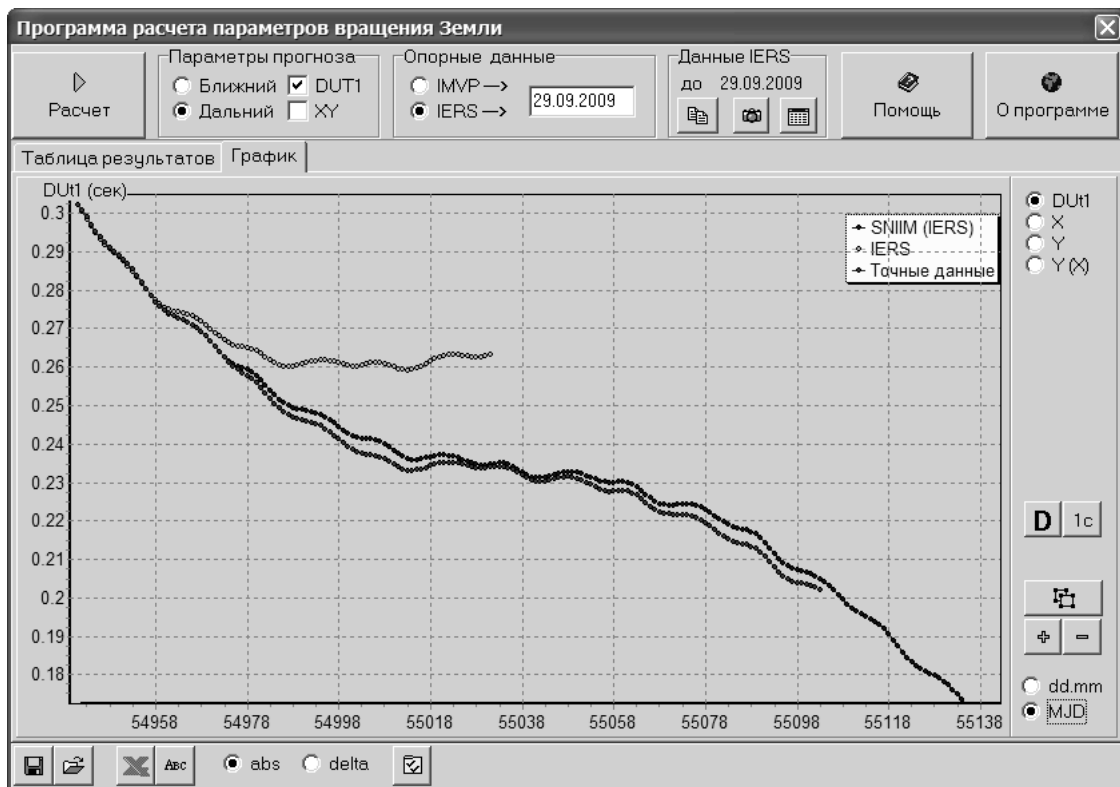


Рис. 2. Главное окно программы PVZ с прогнозами МСВЗ и СНИИМ от 20 апреля 2009 г.

5. Основные результаты

Для объективной и независимой оценки результатов представляемой методики прогнозы, вычисляемые в СНИИМ дважды в неделю и передаваемые по электронной почте в ГАО РАН, 4 ЦНИИ и ГМЦ ГСВЧ, сравнивались с прогнозами, вычисленными, в те же дни в USNO и ГСВЧ относительно опорных систем координат (МСВЗ, USNO). Прогнозы МСВЗ и ГСВЧ доступны в Интернет по адресам: <ftp://maia.usno.navy.mil/> соответственно.

Результаты сравнения за разные периоды времени приведены на рис. 3. Полученные данные показывают, что точность прогноза, по методике, разработанной в СНИИМ, выше, чем точность прогнозов в МСВЗ. Аналогичный результат был получен

в 2007 г., что показывает устойчивое преимущество представляемой методики прогнозирования всемирного времени в сравнении с методикой, применяемой в МСВЗ. Сравнивая графики СКП прогнозов $dUT1$ на рис. 3, можно также отметить положительную динамику в улучшении качества результатов полученных в 2009 г. по сравнению со всем анализируемым периодом с января 2008 по апрель 2009 г.

Прогнозы с января 2008 г. по сентябрь 2009 г.

Прогнозы с января 2009 г. по сентябрь 2009 г.

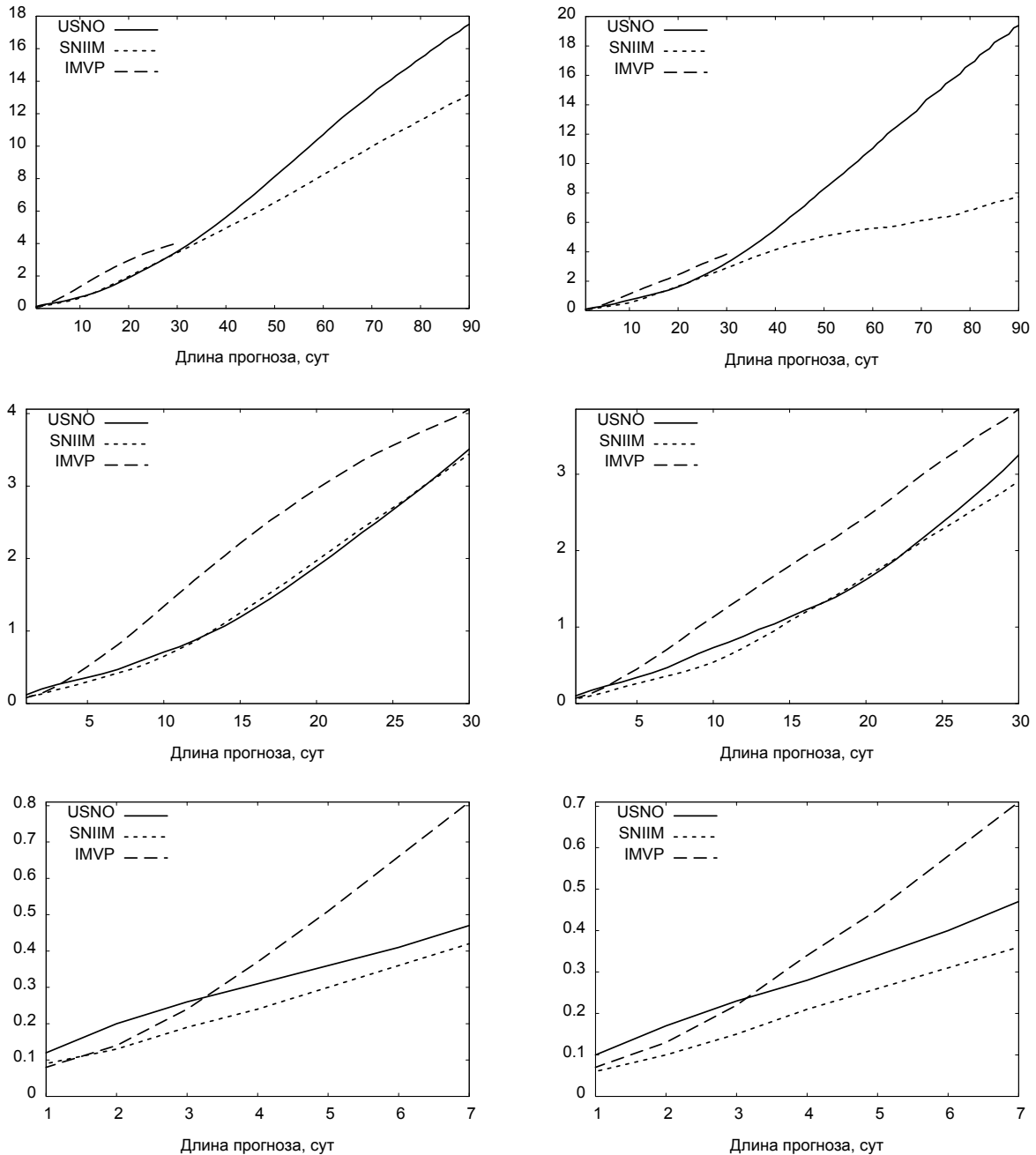


Рис. 3. СКП прогнозов всемирного времени СНИИМ, USNO и ГСВЧ (мс).

6. Выводы

1. Прогнозирование всемирного времени на интервалы не менее 1 года, можно выполнять с относительной погрешностью на уровне 5-10% , в то время как в МСВЗ соответствующая оценка в среднем близка к 30-50%. По переданным в ГМЦ ГСВЧ,

4 ЦНИИ МО и ГАО Пулково 90-суточным файлам с прогнозами всемирного времени за период с июня 2008 г по сентябрь 2009 г получены интегральные оценки СКП максимальных уклонений на интервалы 10 и 15 суток составили 0,66 и 1,15 мс соответственно. Эти результаты полностью удовлетворяют требованиям ЭВО ГЛОНАСС (1,0 и 1,5 мс) на предусмотренных интервалах автономного функционирования КА.

2. Непредсказуемые изменения тренда – основного источника погрешностей прогнозирования можно прогнозировать путем аппроксимации известных данных dUT1 суперпозицией ограниченного числа гармонических составляющих.

3. Доминирующая в настоящее время точка зрения о преобладании стохастических изменений в скорости вращения Земли над регулярными по расчетам, выполненным с использованием данных за последние 100 лет не подтверждается.

7. Планируемая область использования

Предлагаемый метод и разработанное ПМО ориентированы на применение в задачах совершенствования ЭВО ГЛОНАСС, и в ближайшем будущем они планируются к использованию в ГСВЧ России при составлении прогнозов всемирного времени. Кроме этого, данные разработки могут быть также использованы:

- при решении задач координатно-временного обеспечения объектов, находящихся продолжительное время в местах недоступных для приема сигналов ГНСС;
- в задачах геофизики и метеорологии при построении согласующих моделей внутреннего строения Земли и глобального изменения климата;
- в ряде других задач научного и прикладного направлений, к которым относится большинство наук о Земле.

Литература

1. Белоцерковский Д.Ю., Кауфман М.Б. Оценка точности предвычислений разностей между всемирным и координированным временем с заблаговременностью до года // Исследования в области измерений времени и частоты, Труды ВНИИФТРИ, вып. 35(65), 1977.
2. Тиссен В.М., Толстикова А.С., Балахненко А.Ю., Малкин З.М. Высокоточное прогнозирование всемирного времени по 100 летним данным. Измерительная техника, в печати.

IRREGULARITIES IN EARTH ROTATION AND ACHIEVED RESULTS IN ITS PREDICTION

Tissen V.M., Tolstikov A.S., Malkin Z.M.

In this paper, a new method is proposed for prediction of the Universal Time (UT1), which is one of the actual and important tasks in Positioning, Navigation and Timing as well as in Earth sciences. The method is based on construction of a general harmonic model of the Earth rotation and modified autoregression. A comparison of UT1 predictions made at the Siberian Research Institute of Metrology and the International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) in 2008-2009 has shown that proposed method provides better accuracy.

О РОЛИ НАБЛЮДЕНИЙ ГАЛИЛЕЕВЫХ СПУТНИКОВ ЮПИТЕРА В ЗНАМЕНАТЕЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ОТКРЫТИЯХ

Толчельникова С.А., Чубей М.С.
ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия

В истории астрономии нередко решения поставленной задачи приходится ожидать в течение десятков и сотен лет, пока оно окажется возможным благодаря новым техническим достижениям. Одна из таких задач, поставленная перед астрономами великим физиком XIX века Джеймсом Максвеллом, является предметом нашего исследования.

I. Прежде чем рассмотреть современные возможности для решения задачи Максвелла, напомним о наиболее значительных открытиях, связанных с астрометрическими наблюдениями спутников Юпитера. В одну из январских ночей 1610 г. Галилей начал наблюдения с телескопом, им построенным, и увидел четыре яркие «луны» Юпитера. Он назвал их «звездами Медичи». В честь начала 400 лет тому назад «телескопической эры» 2009 год был объявлен Международным годом астрономии.

Наиболее знаменитым из четырех ярких спутников Юпитера оказался Ио. В 1676 г. Олаву Рёмеру, 10 лет проработавшему в Парижской обсерватории, удалось определить скорость света из анализа наблюдений покрытий Ио Юпитером, проведенных Домеником Кассини. Директор Парижской обсерватории Кассини, как и его современники, полагал, что свет распространяется мгновенно, и поэтому обнаруженные Рёмером систематические расхождения наблюдаемых моментов с вычисленными по эфемеридам он считал ошибками наблюдений. Открытие Рёмера было бы невозможным, если бы он не использовал значения параллакса Солнца (9.5"), определенного Кассини и Ж. Пикаром. Рёмеру помогли также таблицы движений спутников Юпитера, составленные Кассини для моряков. Как видим, скорость света, которую Галилей не мог определить в земных условиях, оказалась определяемой при обращении к наблюдениям астрономов.

В XVII веке только Гюйгенс, Ньютон и Галлей признали открытие Рёмера. В «*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*» (1686 г.), в книге III «О системе Мира», посвященной анализу движений тел Солнечной системы, Ньютон начинает математическое описание орбитальных движений с анализа движений спутников Юпитера. Потребовалось почти 100 лет для того, чтобы открытие Рёмера стало общепризнанным. Первое подтверждение было получено Дж. Брадлеем иным методом, из анализа абберационных смещений звезд, — нового явления, обнаруженного и объясненного Брадлеем в 1729 г. [1].

Проблема, являющаяся предметом нашего исследования, была инициирована Максвеллом в письме 1879 г. американскому астроному Д.П.Тодду, которого Джеймс Максвелл спрашивал о возможности «измерения скорости Солнечной системы относительно мирового эфира посредством наблюдения лун Юпитера» ([2], с.49).

Тодд ответил, что данных астрономии для решения этой задачи, недостаточно.

К сожалению, не имея копии письма Максвелла, мы вынуждены воспользоваться изложением его содержания в книге А.Р. Френча «Специальная теория относительности» ([2], с.49).

«Сущность идеи Максвелла очень проста», — пишет Френч. Максвелл предлагал наблюдать затмение яркого спутника Юпитера в тот момент, когда Земля находится в точке *E*, а Юпитер в точке *J*, (Рис. 1), и также примерно через 6 лет, когда Земля и

Юпитер окажутся в положении, показанном на рис.2. В первом случае свет будет распространяться в направлении, совпадающем с направлением движения Солнечной системы, которое указано стрелкой *A* на рисунках 1 и 2. Через промежуток времени, равный t_1 , сигнал дойдет до Земли. Во втором случае сигнал движется в обратном направлении, поэтому *на прохождение расстояния, равного диаметру орбиты Земли*, он затратит время t_2 , которое во втором случае окажется меньшим. Определив разность Δt по формуле (2), астрономы могут получить значение скорости v . Френч приводит следующие формулы:

$$t_1 = \frac{l}{c-v}, \quad t_2 = \frac{l}{c+v}, \quad (1)$$

$$\Delta t = t_1 - t_2 \approx \frac{2lv}{c^2} = \frac{2v}{c} t_1, \quad (2)$$

где через t обозначены *интервалы* времени, l – диаметр земной орбиты, v – скорость движения Солнца, $t_1 = 16.6$ мин., это время, которое затратит свет на прохождение диаметра орбиты Земли.

Максвелл в письме Годду отметил, что в предложенном им методе искомой является скорость движения в одном и том же направлении, и необходимые наблюдения явились бы «экспериментом первого порядка, поскольку искомая величина (ожидаемый эффект) пропорциональна первой степени отношения v/c . Этим его предложение выгодно отличается от земных экспериментов в лабораторных условиях, где неизбежно используется луч света, отраженный и вернувшийся в начальную точку» ([2], с.50).

Действительно, если фиксируется время, затраченное светом на путь в прямом и обратном направлениях, то уравнения (1) складываются

$$t_1 + t_2 = \frac{2l}{c^2 - v^2} \simeq \frac{2l}{c} \left(1 + \frac{v^2}{c^2} \right), \quad (3)$$

и для определения скорости v приходится использовать величину

$$\frac{2lv^2}{c^3}, \quad (4)$$

равную второму члену уравнения (3), который на порядок меньше той величины, которую предлагает определять Максвелл из уравнения (2).

Максвелл рассчитал, что при скорости Солнца, равной хотя бы 150 км/с, остается надежда на обнаружение скорости v . К тому времени астрономы определили только скорость Солнца относительно ярких звезд Местной системы, равную примерно 20 км/с и направленную к созвездию Геркулеса. Эта скорость того же порядка, что и у орбитального движения Земли, которую, как известно, в лабораторных опытах не удается обнаружить¹.

В разделе «Прелюдия к эксперименту Майкельсона-Морли» книги А.Р.Френча написано, что письмо Максвелла было прочитано Майкельсоном, который в 25 лет (в 1878 г.) провел высокоточные определения скорости света и не мог безоговорочно принять заключения Годда о невозможности обнаружения движения Земли из выражения (4). Майкельсон приступил к обдумыванию своего эксперимента – «наиболее знаменитого из всех попыток зарегистрировать наше движение через абсолютное пространство, определяемое эфиром» ([2], с.51)

¹ Этому вопросу посвящена специальная статья П.Ланжевена «О невозможности обнаружить поступательное движение Земли с помощью физических опытов» (“Comptes Rendus” 1905, 140, с.1176–1179).

В следующих разделах мы поясним задачу, поставленную Максвеллом, а также, исходя из современных данных и точности наземных наблюдений, ответим на вопрос о возможных способах ее решения.

II. Приступая к пояснению идеи Максвелла, заметим, что астрономам известно о необходимости **конкретной системы координат** для определения расстояний и скоростей, т.к. **невозможно их определить по отношению к эфиру, реликтовому излучению или какой-либо иной среде**. Необходима более точная формулировка астрономической задачи, мы дадим ее ниже.

На рис. 1 и 2 обозначены буквами **J** и **E** положения Юпитера и Земли в двух противостояниях в проекции на плоскость эклиптики, вблизи которой движутся планеты. Инерциальное движение всех планет вместе с Солнцем происходит в другой плоскости, поэтому рисунки являются только **схемой, удобной для пояснения** идеи Максвелла. Стрелкой **A** отмечена эклиптикальная составляющая скорости Солнечной системы, или проекция на плоскость эклиптики скорости движения Солнца относительно центра Галактики.

Формула (2) может ввести в заблуждение, поскольку l – диаметр орбиты Земли в формуле (2) – должен быть заменен на $2l$, потому что при наблюдениях в противостоянии планета удалена от Земли на расстояние, примерно равное разности радиусов орбит планеты и Земли. Расстояние от Юпитера до Земли можно принять равным $4r$, где r – радиус земной орбиты.

При наблюдениях затмений, астрономы фиксируют несколько фаз (вход в полутьнь, в тень, первый контакт, полная фаза и т.д.). На Рис.1 световой сигнал о начале одной из фаз выходит из точки **J** в момент t_0 , приемник сигнала Земля в это время находится в точке **E**. За время Δt_1 пока свет движется к приемнику (в рассматриваемом случае за 34 мин), положения планет в их орбитах практически не изменятся, но обе планеты сдвинутся в сторону апекса на отрезок, равный $v\Delta t_1$, где v – искомая скорость движения Солнечной системы. В момент приема сигнала планеты окажутся в точках **J'** и **E'**. Очевидно, путь, пройденный световым сигналом **JE'** больше расстояний **JE** и **J'E'**.

На Рис. 2 Земля вместе со всей системой приближается к той точке **J**, откуда был послан сигнал о затмении, поэтому расстояние, пройденное сигналом **JE'**, окажется меньше расстояния **JE = J'E'** на $v\Delta t_2$, следовательно, оно будет скорее пройдено.

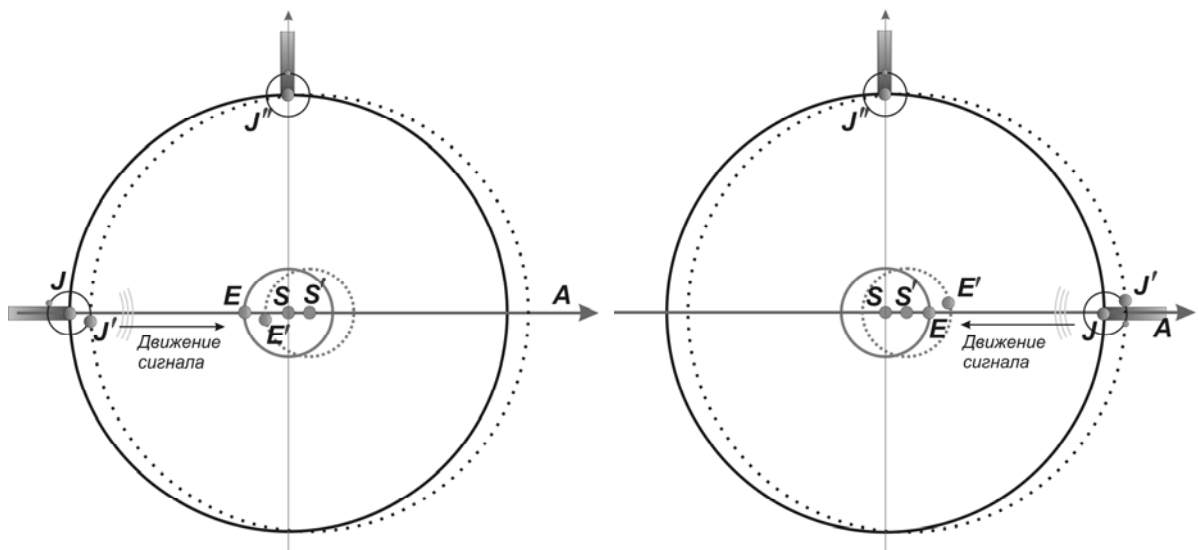


Рис. 1.

Рис. 2.

Юпитер, наблюдаемый в противостоянии, займет одинаковые положения по отношению к апексу Солнечной системы примерно через 12 лет, через 6 лет направление Юпитер-Земля совпадет с направлением на антиапекс. Следовательно, необходимо, чтобы наблюдения охватили всю орбиту, для обнаружения экстремальных значений промежутков времени Δt_1 и Δt_2 . Теперь мы можем вместо выражения (2) записать формулу, пригодную для оценки возможности определения скорости v из наблюдений затмений спутников любой планеты с радиусом орбиты R :

$$\left. \begin{aligned} \Delta t_1 + \Delta t_2 &= \frac{(R-r) \cdot (c+v) - (R-r) \cdot (c-v)}{c^2 - v^2} = \\ &= \frac{2(R-r)}{c} \left(\frac{v}{c} + \frac{v^3}{c^3} + \frac{v^5}{c^5} + \dots \right). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Формула (5) была бы справедлива, если бы Солнце двигалось в плоскости эклиптики, но инерциальное движение системы происходит в другой плоскости. Для оценки возможности решения задачи необходимо знать хотя бы приближенное значение угла между плоскостью эклиптики и Галактики. **Точность решения задачи Максвелла зависит от точности используемых расстояний до планет и их изменений в течение цикла наблюдений, а также точности вычисления моментов затмений спутников. При этом выгодно использовать далекие планеты, чтобы ожидаемый «эффект Максвелла» превосходил ошибки наблюдений не меньше, чем на порядок.**

III. В XX веке было установлено, что Солнце движется относительно центра Галактики со скоростью $V = 250 \pm 50$ км/с, направленной к северной части созвездия Лебедь. Скорость V определялась на основе изучения лучевых скоростей и собственных движений звезд. Представление о порядке скорости движения Солнца в Местной системе не претерпело изменений, следовательно, она не может изменить порядок равнодействующей двух скоростей.

В литературе приводится несколько оценок угла ϵ между эклиптической и экватором, они не значительно отличаются от 60° . Откуда следует, что **искомая проекция скорости** инерциального движения Солнца в Галактике v может оказаться в два раза меньше, чем указанная выше скорость V . Значение ее проекции на плоскость эклиптики $v = V \cos(\epsilon) = \frac{1}{2}V$, поэтому для предварительной оценки искомых смещений по формуле (5), использовалось значение $v = 0.5V$.

Исходя из того, что орбиты Юпитера и Сатурна, а также их наиболее ярких спутников достаточно хорошо изучены, в работе [3] предложено исследовать разности между наблюдаемыми и вычисленными моментами разных фаз затмений, т.е. определять отклонения $(o - c)_t$ в течение полного *геоцентрического* оборота планеты.

При такой модификации метода Максвелла анализ хода разностей $(o - c)_t$, позволит заметить приближения и удаления планет от тех положений, когда наблюдатели фиксируют максимальные запаздывания и опережения приема сигнала, т.е. экстремальные значения $(o - c)_t$. В том случае, когда направление Земля – планета перпендикулярно направлению на апекс, разности $(o - c)_t$ будут минимальными. Сумму запаздывания и опережения мы называем «эффектом Максвелла» ($\Delta M = \Delta t_1 + \Delta t_2$, см. формулу (5)). Мы полагаем, что определение значения скорости v окажется возможным, если «эффект Максвелла» окажется хотя бы на порядок больше ошибок наблюдений. Отмеченные эклиптические координаты планеты в моменты экстремальных значений $(o - c)_t$ укажут на долготу апекса движения Солнца.

В таблице 1 приведены сведения для выбора объектов наблюдений из статьи [3] о спутниках Марса и наиболее ярких спутниках Юпитера и Сатурна, которые наиболее часто наблюдаются с Земли.

Хотя для спутников Урана и Нептуна искомая величина равна соответственно 7.66 с. и 12.08 с., но периоды их обращения слишком велики. Поэтому ошибки вычисленных значений их расстояний и моментов затмений, вероятно, превосходят аналогичные ошибки расстояний более близких планет и регулярно наблюдаемых спутников, следовательно, наблюдения спутников Урана и Нептуна не могут иметь большого значения для решения задачи Максвелла.

Таблица 1. В колонках приведены для каждого спутника: его название, m_v – яркость в оппозиции, S – угловое расстояние спутник–планета и P_{sat} – период оборота спутника вокруг планеты, i – наклон орбиты спутника относительно экватора его планеты; A – расстояние от Солнца до планеты, P_{pl} – период обращения планеты и $ЭМ$ – ожидаемый эффект Максвелла.

| Спутник | планета | m_v | S | P_{sat} сутки | i [°] | A млн.км | P_{pl} годы | $ЭМ$ сек |
|---------|---------|-------|--------|--------------------|------------|---------------|------------------|-------------|
| Фобос | Марс | 11.6 | 0'25" | 0.3 | 1.1 | 227.94 | 1.9 | 0.22 |
| Деймос | | 12.7 | 1'02" | 1.3 | 0.9-2.7 | | | |
| Ио | Юпитер | 5.0 | 2'18" | 1.8 | 0.0 | 778.34 | 11.9 | 1.8 |
| Европа | | 5.3 | 3'40" | 3.6 | 0.5 | | | |
| Ганимед | | 4.6 | 5'51" | 7.2 | 0.2 | | | |
| Калисто | | 5.6 | 10'18" | 16.7 | 0.2 | | | |
| Энцелад | Сатурн | 11.8 | 0'38" | 1.4 | 0.0 | 1427.0 | 29.5 | 3.56 |
| Тетис | | 10.3 | 0'48" | 1.9 | 1.1 | | | |
| Диона | | 10.4 | 1'01" | 2.7 | 0.0 | | | |
| Рея | | 9.7 | 1'25" | 4.5 | 0.4 | | | |
| Титан | | 8.4 | 3'17" | 15.9 | 0.3 | | | |

В XIX веке точность регистрации моментов фаз при наблюдениях затмений спутников не превосходила 10 с, поэтому Тодд был прав, утверждая о невозможности определения инерциального движения Солнечной системы, опираясь на идею Максвелла. В настоящее время при фотоэлектрической регистрации моментов значение этой ошибки уменьшилось незначительно, до ± 7 с. Поэтому трудно надеяться на решение задачи Максвелла, даже опираясь на все данные о наблюдениях затмений спутников.

Чтобы ошибка наблюдений была на порядок меньше искомого эффекта, в статье [4] предложено использовать наблюдения видимых соединений спутников планет, называемых в английской литературе mutual events between satellites. Регистрация моментов отдельных фаз покрытий оценивается ошибкой ± 0.3 с. Соединения спутников Юпитера и Сатурна регулярно наблюдаются на многих обсерваториях, они используются в настоящее время, главным образом, для уточнения орбит планет, периодов обращений, осевых вращений и формы их спутников. Для помощи наблюдателям публикуются эфемериды этих явлений. Существуют базы данных для хранения результатов наблюдений соединений спутников, а также покрытий спутников планетами, хранимыми с эпохи 1653 г., [5, 6].

К сожалению, использование наблюдений соединений спутников удлиняет до 1–2-веков цикл наблюдений, необходимый для решения задачи. В таблицу 1 включены спутники, которые движутся вблизи плоскости экваторов своих планет. Соединения (покрытия одного спутника другим) наблюдаются только в те периоды, когда плоскости экватора планеты весьма близки к плоскости эклиптики. Для Юпитера такие периоды наступают примерно через 6 лет, а для Сатурна – через 14.8 года.

IV. На основании выше изложенного мы приходим к следующему **заклучению.**

Решение задачи, поставленной Максвеллом, представляет серьезные трудности для астрометристов и небесных механиков, потому что возникает необходимость тщательно анализировать наблюдения, неравноточные и продолжающиеся более столетия; на этот период необходимы эфемериды, созданные на основе постоянной теории – численной модели, не содержащей эмпирических членов. Интересы современных астрономов, как правило, направлены на решения задач, гарантирующих быстрое достижение успеха.

Кроме того, предложение Максвелла большинством забыто, у тех, кто помнит о нем, идея ассоциируется с существованием гипотетического эфира, «увлекаемого, либо не увлекаемого планетами в их движениях». Дискуссия физиков о свойствах эфира, о возможности его использования в качестве системы отсчета, продолжается более 100 лет. Неучастие астрономов в этой дискуссии можно объяснить дифференциацией науки. Необходимость исправления этого положения широко обсуждалась в начале прошлого столетия, а рост просвещения в XXI веке создает предпосылки для его преодоления.

Литература

1. Толчельникова С.А. Особенности изучения движений в координатных системах, построенных по наблюдениям практически бесконечно далеких светил // Геодезия и картография. 2008, №6, с. 10–17.
2. French A.R. Special Relativity / 1966–68, New York, W.W. Norton.
3. Tolchelnikova-Murri S.A. A New Way to Determine the Velocity of the Solar System // Galilean Electrodynamics, 1992, v.3, № 4, p.72–75.
4. Смирнов Б.Н., Толчельникова-Мурри С.А. Задача Максвелла и хронометрические наблюдения спутников больших планет. Геодезия и картография, 1996, №10, с. 20–23.
5. Lieske J.H. Collection of Galilean Satellites Eclipse Observations, 1652–1983 // Astron. & Astroph. Supp. 1986, vol. 63, p.143–202.
6. Акснес К., Франклин Ф. Взаимные покрытия и затмения Галилеевых спутников в 1985–86 гг. // Астрономический вестник, 1985, т. XIX. №1, с.86–94.

**ON THE ROLE OF GALILEAN SATELLITES OBSERVATIONS
IN FAMOUS SCIENTIFIC DISCOVERIES**

Tolchel'nokova S.A., Chubey M.S.

Among the scientific problems have been solved due to Galilean satellite observations, e.g. determination of the speed of light by O. Römer (1676), remains the unsolved problem of J.C. Maxwell, described in his letter to astronomer D.P. Todd (1879). “Maxwell asked about the possibility measuring the velocity of the Solar system through the ether by observing the eclipses of Jupiter’s moons. Todd pointed out in his reply that astronomical data are not accurate enough” [2]. The conclusion of Todd was sound for astronomer of XIX century.

Simple explanation of Maxwell’s idea is given *in the frame of astronomical coordinates* and several possible ways to solve the problem are discussed proceeding from the data, achieved in XX century: the accuracy of observations, the value of the inertial velocity of the Solar system and inclination of the Galactic plane to ecliptic. The difficulties of the solution are analyzed and the expected value of “Maxwell’s effect” (see Table 1) is shown to be dependent on the way covered by light signals, i.e. from the distances to the planets whose satellites are observed.

КАТАЛОГ АБСОЛЮТНЫХ СОБСТВЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ 270 МИЛЛИОНОВ ЗВЕЗД

Федоров П.Н., Ахметов В.С.

*НИИ астрономии Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина
г. Харьков, Украина*

Введение

В 2008 году в НИИ астрономии Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина на основе сравнения данных 2-х каталогов - 2MASS и USNO-A2.0 был получен каталог абсолютных собственных движений примерно 270 миллионов звезд от 12 до 21 звездной величины V , покрывающих все небо. Собственные движения этого каталога, названного нами XPM [1], были выведены из 2MASS (PSC) [2] и USNO-A2.0 [3] положений со средней разностью эпох примерно 45 лет для северной полушферы и примерно 17 лет для южной. Абсолютизация была выполнена с использованием примерно 1.4 миллионов положений галактик из 2MASS и USNO-A2.0 каталогов. Средняя формальная ошибка абсолютизации собственных движений звезд меньше 1 миллисекунды дуги в год.

Главной целью данной работы является сравнение абсолютных собственных движений звезд каталога XPM с собственными движениями звезд каталога UCAC-2 [4].

Мы используем термин *абсолютные собственные движения* для описания собственных движений звезд, нуль-пункт которых установлен с помощью квазиинерциальной опорной системы, задаваемой положениями галактик. Каталог XPM представляет собой независимую реализацию внегалактической опорной системы в оптическом и инфракрасном диапазоне, которая по отношению к удаленным галактикам имеет вращение меньше чем 1 миллисекунда дуги в год (мсд). Система собственных движений, задаваемая каталогом абсолютных собственных движений звезд XPM, позволяет воспроизвести квазиинерциальную систему координат на любой заданный момент времени с точностью до каталожных систематических и случайных ошибок.

Система собственных движений, задаваемая каталогом UCAC-2 должна воспроизводить в оптическом диапазоне на любой момент времени систему ICRS [5]. Как известно [6], процедура привязки собственных движений каталога HIPPARCOS [7, 8] к внегалактическим источникам, наблюдаемым с поверхности Земли, была сведена к сравнению их с абсолютными собственными движениями, полученными в рамках различных программ. Таких программ по определению собственных движений звезд по отношению к внегалактическим объектам существовало несколько. Прежде всего, это программа КСЗ, реализованная в виде сводного каталога GPM в Киеве [9, 10], NPM [11], SPM [12] и ряд других. Эта процедура есть не что иное, как абсолютизация собственных движений звезд каталога HIPPARCOS с помощью известных абсолютных собственных движений звезд из упомянутых каталогов. Зная абсолютные собственные движения звезд, и сравнивая их с собственными движениями звезд в HIPPARCOS, можно получить параметры твердотельного вращения одной системы относительно другой. Поэтому сравнение собственных движений звезд каталогов XPM и UCAC-2 является очень важной задачей, поскольку позволяет ответить на вопрос о том, насколько правильно выполнена привязка системы собственных движений HIPPARCOS к внегалактической опорной системе.

Результаты сравнения

В этом разделе приведены результаты сравнения собственных движений звезд XPM и UCAC-2.0. Цель этого сравнения получить представление о согласованности абсолютных собственных движений звезд с относительными собственными движениями, полученными в системе HIPPARCOS/TYCHO-2 [13]. На сегодняшний день существует несколько каталогов собственных движений звезд, однако они далеко не все могут быть использованы для сравнения. Одни из них представляют абсолютные собственные движения и покрывают только северную или южную полусферу, например NPM и SPM. Другие содержат относительные собственные движения только ярких звезд, хотя и покрывают практически всю небесную сферу. Наиболее подходящими для указанной цели являются каталоги USNO-B1 [14] и UCAC-2.0.

Каталог USNO-B1.0 содержит положения на эпоху J2000, собственные движения и некоторые другие данные и покрывает все небо до 21 звездной величины V . Точность положений объектов каталога составляет $0.2''$ на эпоху J2000. Собственные движения, приведенные в каталоге, относительны. Несмотря на то, что в каталоге даны положения примерно для одного миллиарда звезд, собственные движения приведены только для 284 миллионов объектов. Для оставшихся примерно 720 миллионов звезд в каталоге приведены нулевые собственные движения. Это обстоятельство существенно затрудняет отождествление звезд в каталогах и прямое сравнение их собственных движений. Кроме того, каталог содержит огромное количество артефактов (десятки миллионов). Эти факты заставили нас отказаться от использования каталога USNO-B1.0 для сравнения с XPM.

UCAC-2.0 – это второй выпуск проекта UCAC, который был разработан для обзора всего неба в диапазоне звездных величин примерно от 7.5 до 16 R магнитуды. Все наблюдения были выполнены с помощью ПЗС приемника. UCAC2 – является высокоточным астрометрическим каталогом и содержит 48330571 звезд, расположенных на небе в диапазоне склонений от -90° до $+40^\circ$ и, иногда достигающих $+52^\circ$ на некоторых участках неба. Положения и собственные движения звезд приведены в Международной Небесной Системе Координат (ICRS) на эпоху J2000.0. Ошибки положений, по заявлению авторов, составляют около 20 угловых миллисекунд для звезд в диапазоне от 10 до 14 звездной величины и около 70 миллисекунд дуги для остальных звезд до 16 величины. Ошибки собственных движений ярких звезд (до 12 звездной величины) лежат в пределах 1-3 миллисекунды в год. Для более слабых звезд типичные ошибки оцениваются примерно в 4-7 миллисекунды в год.

Сравнение собственных движений звезд каталогов XPM и UCAC2 проводилось двумя простыми способами, а именно:

- были вычислены индивидуальные разности собственных движений звезд в отдельных полях.
- были вычислены систематические разности собственных движений в зависимости от звездной величины.

Для сравнения собственных движений звезд в полях мы просто вычисляли индивидуальные разности собственных движений звезд двух каталогов, а затем изучали распределение этих разностей по полю.

На рисунке 1 представлены зависимости разностей собственных движений звезд сравниваемых каталогов в зависимости от координат конкретного поля.

По нашему мнению, собственные движения звезд не должны показывать такого неестественного поведения внутри относительно небольшого поля (например, $5^\circ \times 5^\circ$). Мы полагаем, что собственные движения должны демонстрировать плавное поведение, а резкое пилообразное и ступенчатое поведение внутри малого поля связано с систематическими позиционными ошибками каталогов. Чтобы разобраться, какому из катало-

гов принадлежит большая часть этих систематических ошибок, мы построили графики зависимости собственных движений от прямого восхождения отдельно для XPM и UCAC-2.0.

На рисунках 2, 3 представлены зависимости собственных движений звезд каталога UCAC-2.0 и XPM от координат того же самого поля. Как видно из рисунков, каталог UCAC-2.0 содержит заметные систематические ошибки. Анализ различных полей и сравнение положений звезд UCAC-2.0 с их положениями в 2MASS показали, что в отдельных областях неба эти ошибки могут достигать значительной величины до 400 миллисекунд дуги.

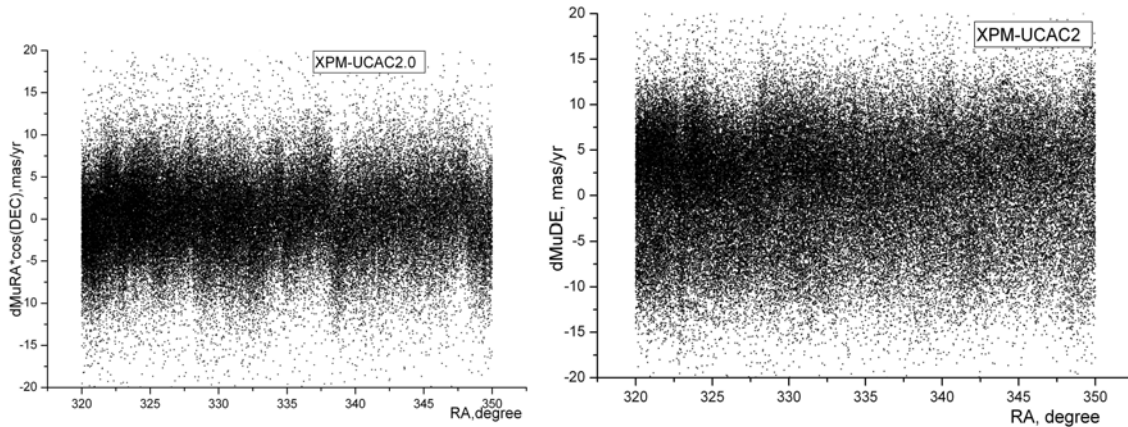


Рис. 1. Разность собственных движений в зависимости от прямого восхождения на конкретной площадке.

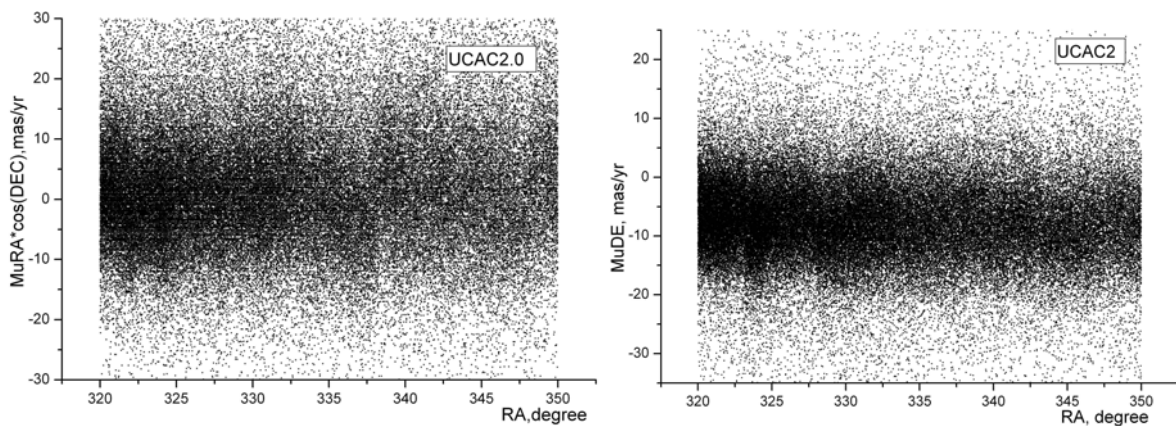


Рис. 2. Собственные движения UCAC-2.0 в зависимости от прямого восхождения.

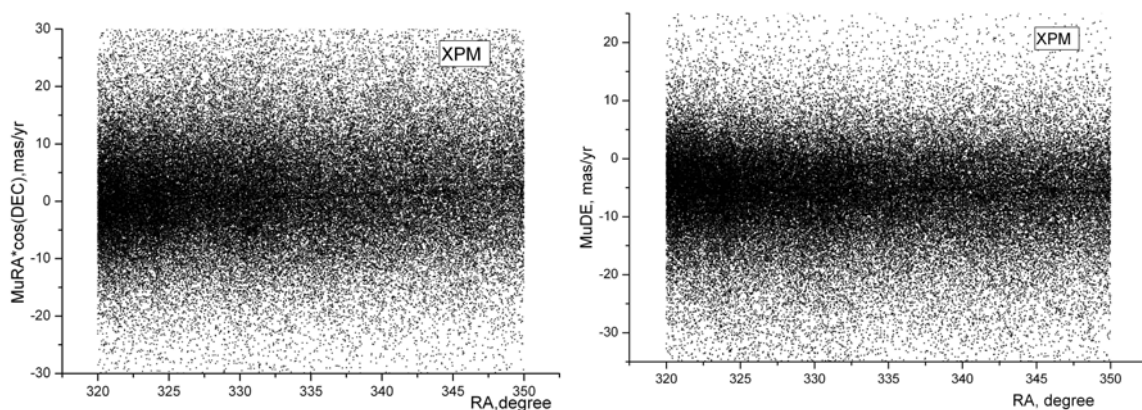


Рис. 3. Собственные движения XPM в зависимости от прямого восхождения.

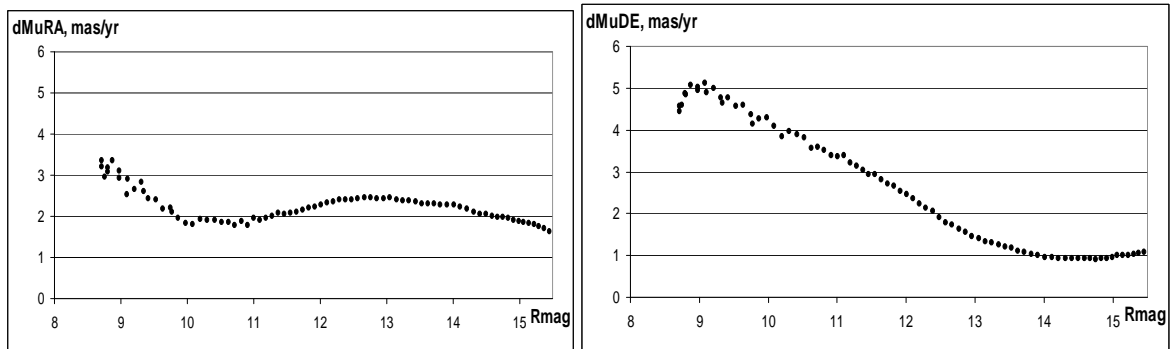


Рис.4. Зависимость систематических разностей собственных движений от звездной величины.

Для получения систематических разностей собственных движений в зависимости от звездной величины (рис. 4), весь диапазон звездных величин разбивался на поддиапазоны шириной в 0.1 звездной величины. Затем в каждом из этих поддиапазонов вычислялись разности собственных движений.

В данной версии каталога XPM уравнение блеска не было исключено во всем диапазоне звездных величин. Мы лишь выполнили тест с помощью квазаров, который показал, что в слабом конце диапазона звездных величин (15-19 звездная величина) уравнение блеска, по-видимому, незначительно или отсутствует совсем [1]. Как видно из приведенных рисунков, в диапазоне от 14 до 16 звездной величины, где, как мы полагаем, уравнение блеска для каталога XPM отсутствует, наблюдаются систематические разности собственных движений по прямому восхождению величиной примерно 2 мсд. в год и примерно 1 мсд. в год для собственных движений по склонению.

Выводы

1. Несмотря на то, что каталог UCAC-2.0 имеет в среднем по небу очень небольшие ошибки, оказалось, что в большинстве случаев в площадках неба размером $5^\circ \times 5^\circ$ наблюдается неестественное поведение собственных движений, что свидетельствует, по нашему мнению, о не исключенных систематических ошибках в каталоге. Эти ошибки в некоторых полях могут быть очень значительными. Этот факт мы считаем важным, поскольку большинство современных наблюдений с помощью ПЗС- матриц выполняются в небольших по размеру полях, опорные звезды которых могут иметь досадные систематические ошибки.

2. Обнаруженные систематические разности собственных движений, как по прямому восхождению, так и по склонению могут быть вызваны вращением систем UCAC-2 и XPM друг относительно друга. Однако для окончательного вывода необходимо тщательное исследование каталога XPM и надежное исключение уравнения блеска и цвета во всем диапазоне звездных величин.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант No 09-02-90443-Укр_ф) с российской стороны и фондом совместных проектов фундаментальных исследований Украины и России (Проект № Ф28.2/042) “ДФФД-РФФД-2009”.

Литература

1. *Fedorov P.N., Myznikov A.A. and Akhmetov V.S.* 2009, The XPM Catalogue: absolute proper motions of 280 million stars. - Mon. Not. R. Astron. Soc. 393, 133–138.
2. *Skrutskie M.F., Cutri R.M., Stiening R. et al.*, 2006, The two micron all sky survey (2mass). - ApJ, 131, 1163.
3. *Monet D.G.*, 1998, The 526,280,881 Objects In The USNO-A2.0 Catalog. - BAAS, 30, 1427.

4. Zacharias N., Urban S.E., Zacharias M.I., Wycoff G.L., Hall D.M., Monet D.G., Rafferty T.J., 2004, The Second U.S. Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC-2). - AJ, 127, 3043.
5. Ma C., Arias E.F., Eubanks T.M., et al. 1998, The international celestial reference frame as realized by very long baseline interferometry. - Astrophys. J., v. 116, No 1711, p. 516-546.
6. Lindegren L., Kovalevsky J. 1995, Linking the Hipparcos Catalogue to the extragalactic reference system. - Astron. And Astrophys., v. 304, p. 189-201.
7. ESA, 1997, The Hipparcos and Tycho Catalogues, ESA SP-1200.
8. Perriman M.A.C., Lindegren L., Kovalevsky J., et al. 1997b, The Hipparcos Catalogue. - Astron. and Astrophys., v. 323, p. L49-L52.
9. Рыбка С.П., Яценко А.И., 1997а, GPM - сводный каталог абсолютных собственных движений звезд в избранных площадках неба с галактиками. - Кинемат. и физ. неб. тел, т. 13, No 5, с. 70-74.
10. Rybka S.P., Yatsenko A.I. 1997b, General Proper Motions, (GPM1), - Astron. Astrophys. Suppl. Ser., No 121, p. 243.
11. Klemola A.R., Jones B.F., Hanson R.B. 1987, Lick Northern Proper Motion Program. I. Goals, organization, and methods. - Astrophys. J., v. 94, No 2, p. 501-514.
12. Platais I., Girard T.M., van Altena W.F., et al. 1995, A study of systematic positional errors in the SPM plates. - Astron. And Astrophys., v. 304, p. 141§-149.
13. Høg E., Fabricius C., Makarov V.V., et al. 2000, The Tycho- 2 Catalogue of the 2.5 Million Brightest Stars. - Astron. and Astrophys., v. 355, p. L27-L30.
14. Monet D., Levine S., Canzian B. et al., 2003, The USNO-B Catalog - AJ, 125, 984.

CATALOGUE OF THE ABSOLUTE PROPER MOTION OF 270 MILLION STARS

Fedorov P.N., Akhmetov V. S.

Institute of Astronomy of V.N Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

Despite the fact that the catalog UCAC-2.0 is an average across the sky very small errors, it appears that in most cases in the areas of the sky a $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ unnatural behavior is observed proper motions, which indicates, in our opinion, are not excluded on the systematic errors in the catalog. These errors in some fields may be very significant (see box DRa-Ra from 160 deg. Up to 162 deg.). This fact we consider it important, because most modern observations with CCDs are performed in small-sized fields, guide stars which can be annoying systematic errors. The observed systematic difference in proper motions of both the right ascension and declination to be caused by the rotation system UCAC-2 and XPM each other. However, for the final conclusion should be a thorough investigation of the catalog XPM and reliable exclusion of the equation of gloss and color over the whole range of stellar magnitudes.

ИНФРАКРАСНАЯ АСТРОМЕТРИЯ ПОСЛЕ IRAS PSC и 2MASS

Харин А.С.

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев, Украина

Проблема распространения международной координатной системы ICRS, представляемой в радио диапазоне каталогом ICRF и в оптическом – каталогом HIPPARCOS, переведенным на систему ICRF, на все остальные диапазоны электромагнитного спектра, включая инфракрасный (0.7–350 микрон), поставлена решением 23 ГА МАС.

Полученные в настоящее время ИК каталоги IRAS PSC и 2MASS являются астрофизическими обзорами, низкая точность положений и отсутствие собственных движений которых исключают возможность непосредственного их использования для решения поставленной проблемы. Для ее решения требуется создание в ИК диапазоне опорного каталога на современном уровне точности, т.е. на уровне точности каталога ICRF или HIPPARCOS.

Такой, или даже более точный, ИК каталог, безусловно, будет создан в результате осуществления новых проектов, разрабатываемых на базе современных технологий, которые (как, например, проект SIM) дадут возможность получить астрометрические наблюдения в ИК диапазоне на микроарксекундном уровне точности. Однако, совершенно очевидно, что для этого потребуется, по крайней мере, минимум полтора-два, а может быть, даже и три десятилетия.

Другой путь, который, конечно, потребует гораздо меньшего времени, поэтому вряд ли от него следует отказываться – решить эту проблему, хотя бы в первом приближении, путем создания сводного опорного ИК каталога на основе идентификации ИК источников астрофизических каталогов с их оптическими двойниками из точных астрометрических каталогов.

К числу таких астрофизических относятся уже упомянутые – IRAS PSC и 2MASS. Астрометрическими в случае первого будут фундаментальный каталог FK5 и несколько дифференциальных каталогов в системе этого фундаментального, а в случае второго – HIPPARCOS, АСТ, TYCHO, TYCHO2 и другие, полученные в системе ICRS, современные каталоги. В результате идентификации создаются новые (вторичные) ИК астрометрические каталоги с точными положениями и собственными движениями ИК-оптических двойников. Они и должны служить исходным материалом для создания сводного опорного ИК каталога, который будет представлять международную координатную систему в инфракрасном диапазоне.

История нового направления в астрономии (ИК астрономии) началась в 60-х годах прошлого (20-го) столетия, когда технический прогресс в разработке ИК детекторов достиг такого уровня, который позволил регистрировать излучение небесных объектов, выходящее за пределы визуального оптического (0.4–0.7 мкм) диапазона, в смежном с ним инфракрасном (0.7–350 мкм) диапазоне электромагнитного спектра.

На первом этапе этой истории, который продолжался около 20 лет и завершился запуском ИСЗ IRAS [1], практически велись только астрофизические (фотометрические и спектральные) наблюдения при точности положений 1–2 мин. дуги, достаточной для установки наблюдаемых объектов в поле зрения телескопа.

Первоначально это были наземные астрофизические наблюдения в полосах пропускания атмосферы, а затем и заатмосферные, с помещавшимися на самолетах и высотных ракетах телескопами. Сведения об этих наблюдениях собраны в базе данных Годдардовского центра NASA и опубликованы в трех томах (1182, 1196, 1294) NASA

REFERENCE PUBLICATION. Согласно приведенным в них сведениям в допутниковый 20-летний период ИК астрономии были получены наблюдения примерно 20 тысяч инфракрасных объектов.

Точно также астрофизический (с фотометрическими измерениями в четырех полосах электромагнитного спектра – 12,25,60 и 100 микрон) обзор неба стал основной целью первого астрономического космического проекта IRAS (Infrared Astronomical Satellite)[1].

В результате удачного осуществления в течение 10 месяцев 1983 г. этого проекта был получен каталог IRAS PSC, в котором для 245489 наблюдавшихся источников инфракрасного излучения приведены фотометрические данные для четырех вышеуказанных спектральных полос, а также экваториальные координаты этих источников, полученные в результате проводившихся на ИСЗ IRAS параллельно с фотометрическими позиционных наблюдений.

Успешная реализация проекта IRAS показала, прежде всего, высокую эффективность и неоспоримое преимущество космических наблюдений, а также сыграла важную роль для развития астрофизических исследований в ИК диапазоне. В то же время, точность полученных ИСЗ IRAS экваториальных координат оказалась совсем невысокой. Случайные ошибки наблюдений распределились по зонам склонений в пределах 5–20 секунд дуги. Причем в отдельных случаях они могли достигать 1–2 минут дуги. Поскольку собственные движения здесь не были определены, возникла опасность потери отдельных звезд этого каталога. Для ее устранения потребовалось улучшить точность положений каталога IRAS PSC, что явилось уже чисто астрометрической проблемой, с решения которой и началась история ИК астрометрии.

Кардинальное решение этой проблемы требовало, конечно, постановки точных астрометрических наблюдений в ИК диапазоне. Однако, технических возможностей для принятия такого решения в то время не существовало и, в результате, было найдено лишь тривиальное ее решение, основывающееся на идентификации ИК источников каталога IRAS PSC с их оптическими двойниками из точных астрометрических каталогов.

Такое решение было найдено практически одновременно в Голосеевской (ГАО НАН Украины) и в Вашингтонской (USNO) обсерваториях.

Самыми точными на период (1983–1998) астрометрическими каталогами были фундаментальный каталог FK5 и несколько дифференциальных каталогов в системе этого фундаментального. Именно с этими астрометрическими каталогами и была выполнена идентификация каталога IRAS PSC. В результате, ИК каталог SPIRS [2], а также несколько других таких же производных каталогов с точными положениями и собственными движениями ИК/оптических двойников из точных астрометрических каталогов в системе FK5 было получено [3, 4].

Однако, проведенные затем сравнения между новыми производными ИК каталогами, полученными в Вашингтонской и Голосеевской обсерваториях, а также между двумя версиями каталога SPIRSS, полученными в Вашингтонской обсерватории, обнаружили существенные расхождения между результатами отождествлений – неидентичность получаемых по разным программам вторичных ИК каталогов. По всей видимости, это стало проявлением недостаточной корректности или математической строгости использовавшихся процедур идентификации.

Тем не менее, как нам сообщил один из авторов каталога SPIRS [5] на этом основании в Вашингтонской обсерватории было принято решение отказаться от такого способа создания точных астрометрических ИК каталогов и перейти к точным астрометрическим наблюдениям в ИК диапазоне. Такие наблюдения предполагалось проводить с оптическим интерферометром М. ШАО (M. Shao). Однако этот последний пока что

используется только как интерферометр для определения звездных диаметров [6]. Откуда следует, что в Вашингтонской обсерватории пока еще нет технических средств для такого перехода, который, как уже сказано выше, может быть осуществлен лишь с помощью новых, таких как SIM, проектов.

Поэтому автор считает, что в настоящее время проблема создания точного опорного ИК каталога, хотя бы в первом приближении, может все-таки быть решена с использованием метода идентификации. Однако, совершенно очевидно, что его применение для идентификации двойников из каталогов, полученных в разных спектральных диапазонах, требует значительного усовершенствования существующих процедур при строгом учете критериев и правил математической статистики.

Каталог 2MASS (The Two Micron All Sky Survey) обзор всего неба в трех (j, h, k) спектральных полосах – проект Массачузетского университета [7], осуществленный с 1997 по 2002 годы в результате наземных наблюдений на двух идентичных телескопах ($D = 1.3$ м), устанавливавшихся в северном (Аризона) и южном (Серро Тололо) полушариях.

Было получено три реализации этого каталога, содержащие фотометрические данные для трех вышеуказанных полос и экваториальные координаты наблюдавшихся объектов. Из них вторая включает данные для 162 и третья – для 470 миллионов ИК источников. Точность экваториальных координат в них не превышает 0.2 секунды дуги. Эта далеко не современная точность положений, а также отсутствие собственных движений в каталоге 2MASS, исключает, как и в случае с IRAS PSC, возможность непосредственного его использования для решения проблемы создания высокоточного опорного ИК каталога. Здесь, также как и там, это может быть сделано лишь путем идентификации ИК источников каталога 2MASS с их двойниками из точных астрометрических каталогов. К числу последних, как уже было сказано выше, относятся HIPPARCOS, АСТ, ТУЧНО, ТУЧНО2 и другие, полученные в системе ICRS, точные современные каталоги.

С целью идентификации с некоторыми из перечисленных здесь астрометрических каталогов в Белградской, Харьковской, Шанхайской и Голосеевской обсерваториях использовались вторая и третья реализации этого каталога. Полученные при этом точные в системе ICRS ИК каталоги, точно также, как и каталоги, полученные при идентификации IRAS PSC, могут быть использованы для создания сводного опорного каталога, который будет представлять международную координатную систему ICRS в инфракрасном диапазоне.

Литература

1. *Beichman C.A., Neugebauer G., Habing H.J., Clegg P.E., Chester T.J. (eds.), 1987, IRAS.*
2. *Hindsley R. & Harrington R., 1994, AJ, 207, 280–286.*
3. *Kharin A.S., 1992, Кинематика и физика небесных тел, 8, No.4, 67.*
4. *Kharin A.S., 1997, Baltic Astronomy, 6, 344.*
5. *Hindsley R., 1997, private communication.*
6. *Mozurkewich D. et al., 2003, AJ, 126, 2502–2520.*
7. *Kleinman S.G. et al., 1994, Astrophysics and Space science, 217, No.1–2, 11–17.*

INFRARED ASTROMETRY AFTER THE IRAS PSC AND 2MASS

Kharin A.S.

Main Astronomical Observatory NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine

The problem of compiling the IR Reference Catalogue is discussed. This one which must contain precise positions and proper motions is necessary to present international coordinate system ICRS in this spectral range as it is recommended by 23 GA IAU resolution.

Now such Catalogue may be compiled on the base of identification of IR stars from the catalogues IRAS PSC and 2MASS with their optical counterparts from HIPPARCOS, TYCHO, ACT, TYCHO2, and others in ICRS system precise astrometrycal catalogues.

It is recommended to use for this aim the new secondary IR catalogues with improved positions and new proper motions which may be fined from such identification treatments. But these lasts, as it was established here, has some deficiencies because it is also proposed to improve these ones with take in attention strict statistical rules and criterions.

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ ГЛАВНЫХ СПУТНИКОВ САТУРНА НА ОСНОВЕ ПЗС-НАБЛЮДЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА НОРМАЛЬНОМ АСТРОГРАФЕ ПУЛКОВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Хруцкая Е.В., Ховричев М.Ю., Бережной А.А., Нарижная Н.В., Дементьева А.А.
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Анализ точности современных теорий движения главных спутников Сатурна тесно связан с исследованием тонких динамических эффектов в их движении (орбитальные резонансы, приливные взаимодействия, проявления динамического хаоса). Точность координат спутников Сатурна, получаемая на основе ПЗС-наблюдений, значительно выше точности наблюдений, использованных при построении современной теории их движений (TASS1.7). Эти обстоятельства делают актуальными попытку оценить точность теорий главных спутников Сатурна на основе материала ПЗС-наблюдений, выполняемых на среднефокусных телескопах.

В 2007-08 годах с помощью Нормального астрографа Пулковской обсерватории (диаметр объектива /фокусное расстояние/ ПЗС-камера/ рабочее поле/ масштаб: 0.33м/3.5м/S2C/18x16 arcmin/ 1000 mas per pixel) были выполнены ПЗС-наблюдения главных спутников Сатурна (S5, S6, S7, S8). Получены экваториальные координаты в системе каталога UCAC2 и относительные координаты "спутник – спутник". Пример ПЗС-кадра, полученного на Нормальном астрографе Пулковской обсерватории и содержащего изображение Сатурна и нескольких из его главных спутников, показан на Рис. 1.

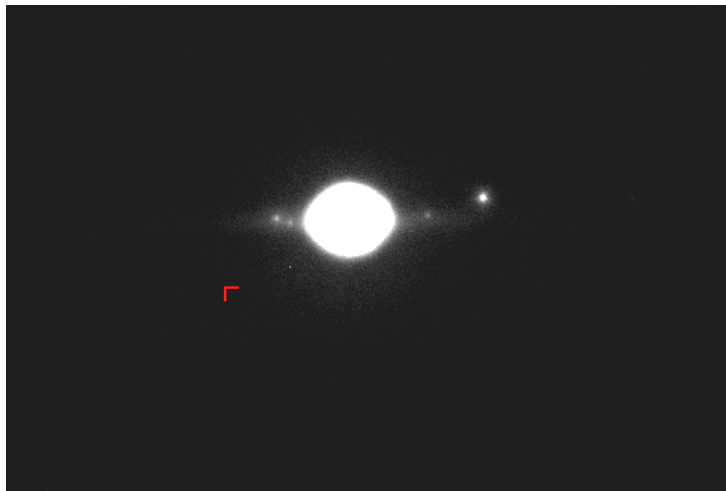


Рис. 1.

Наблюдательные данные и их обработка

Рабочее поле Нормального астрографа позволяет выполнить стандартную астрометрическую редукцию ПЗС-кадров методом шести постоянных и получать как экваториальные координаты спутников в системе каталога UCAC2, так и относительные положения вида "спутник-спутник". Обработка ПЗС-кадров с изображениями спутников Сатурна, полученных на Нормальном астрографе, была затруднена наличием ореола от планеты. В результате на изображениях присутствовал значительный градиент фона. Для исключения систематических ошибок координат спутников и опорных звезд, вызванных данным эффектом, использовались медианная фильтрация изображения и

локальная аппроксимация фона. Пример учета влияния фона методом локальной аппроксимации представлен на Рис. 2.

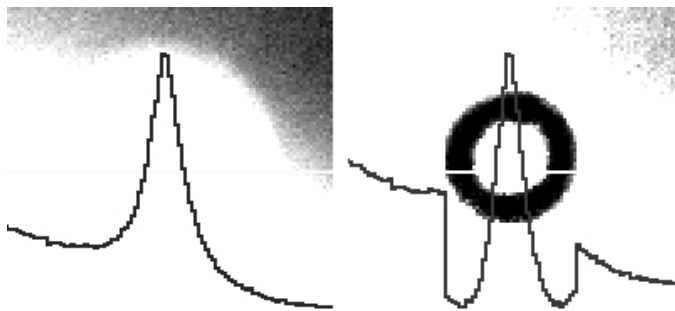


Рис. 2.

После определения пиксельных координат (PSF – профиль Лоренца) вводились поправки за уравнение блеска. Для оценки параметров уравнения яркости в координатах звезд и спутников выполнялись специальные исследования [1].

Анализ результатов наблюдений

Точность полученных координат спутников в среднем составляет 30 - 100 mas. Достигнутая точность позволяет оценивать качество современной теории движения спутников Сатурна (TASS1.7) в комбинациях с планетными эфемеридами DE405 и INPOP06. Для вычисления (O-C) использовался сервис Natural Satellites Ephemeride Server. MULTI-SAT[2].

Средние значения величин (O-C) для комбинации теорий INPOP06+TASS1.7, диапазоны их стандартных ошибок, число положений (n) для каждого спутника представлены в Таблице 1 (экваториальные координаты) и Таблице 2 (относительные координаты вида «спутник-спутник»).

Таблица 1.

| Sat. | (O-C) | | standard errors | n |
|------|-------|---------|-----------------|----|
| | in RA | in Dec. | | |
| | mas | | | |
| S5 | -79 | 45 | 35-80 | 10 |
| S6 | -131 | 103 | 20-50 | 28 |
| S7 | 17 | -9 | 30-90 | 21 |
| S8 | -47 | 84 | 20-80 | 23 |

Таблица 2.

| Sat.-Sat. | (O-C) | | standard errors | n |
|-----------|-------|------|-----------------|----|
| | in X | in Y | | |
| | mas | | | |
| S6-S5 | -77 | 27 | 10-80 | 9 |
| S7-S5 | 23 | -98 | 60-150 | 6 |
| S8-S5 | 231 | -122 | 30-80 | 6 |
| S7-S6 | 160 | -134 | 50-90 | 14 |
| S8-S6 | 140 | -57 | 30-70 | 18 |
| S8-S7 | -177 | 81 | 50-100 | 11 |

Результаты показали, что для спутников S6, S8 теория движения согласуется с наблюдениями в пределах 100 mas. В движении Гипериона S7 имеют место значимые отклонения от теории движения (до 300 mas), которые носят периодический характер и зависят от положения спутника на орбите. Выявлено наличие периодических вариаций

в (O-C) для пары Гиперион-Титан (Рис. 3). Причиной такого поведения (O-C) могут быть динамические эффекты, вызванные тесным взаимодействием этих спутников. В случае Япета мы имеем дело с большим различием альбедо двух полушарий спутника, вращающегося вокруг оси синхронно с обращением вокруг Сатурна. Это свойство поверхности Япета, по-видимому, недостаточно точно учтено в теории движения и оказывает влияние на величины (O-C). Например, зависимость $(O-C)_{Dec}$ для Япета от фазового угла, представленная на Рис. 4, демонстрирует наличие нелинейного тренда. Таким образом, астрометрические наблюдения подтверждают данную особенность физической природы Япета.

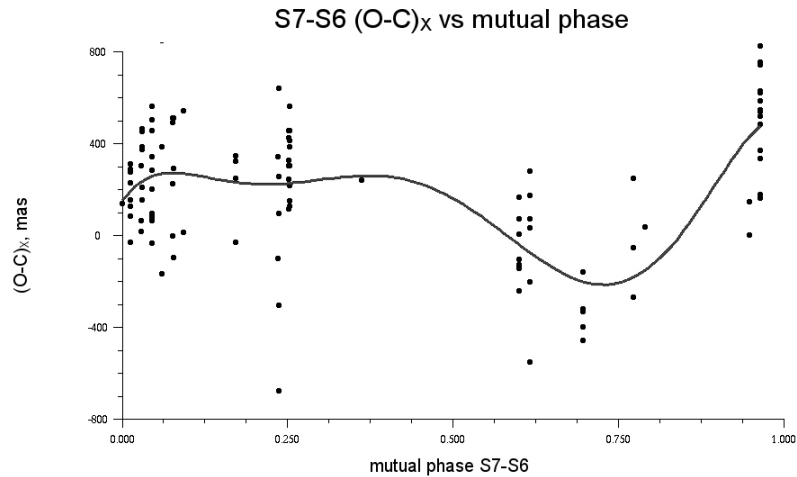


Рис. 3.

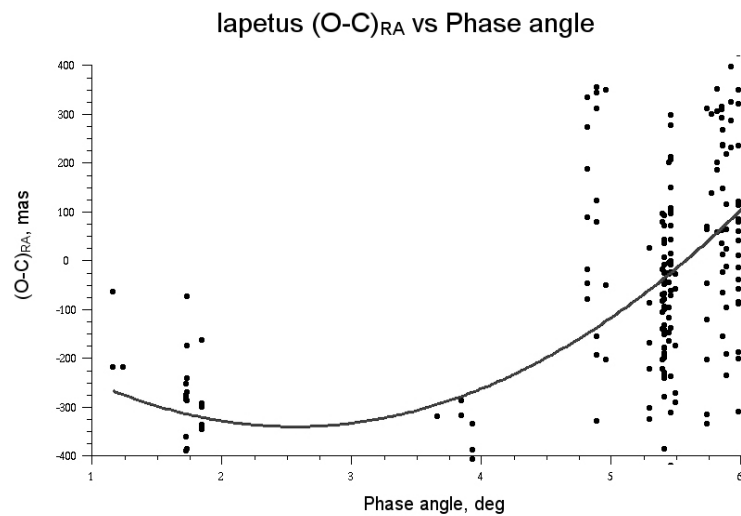


Рис. 4.

Наблюдения Фебы

Кроме главных спутников Сатурна на Нормальном астрографе на протяжении последних трех лет активно велись наблюдения далекого спутника Сатурна Фебы. Спутник относительно слабый (около 16-ой звездной величины). По этой причине мировой ряд наблюдений Фебы ограничен в основном последним десятилетием. В связи с этим, для построения современной теории движения этого спутника требуются высокоточные астрометрические наблюдения. Рис. 5 демонстрирует поведение (O-C) Фебы в зависимости от времени. Даже относительно короткий ряд характеризуется наличием почти линейных трендов.

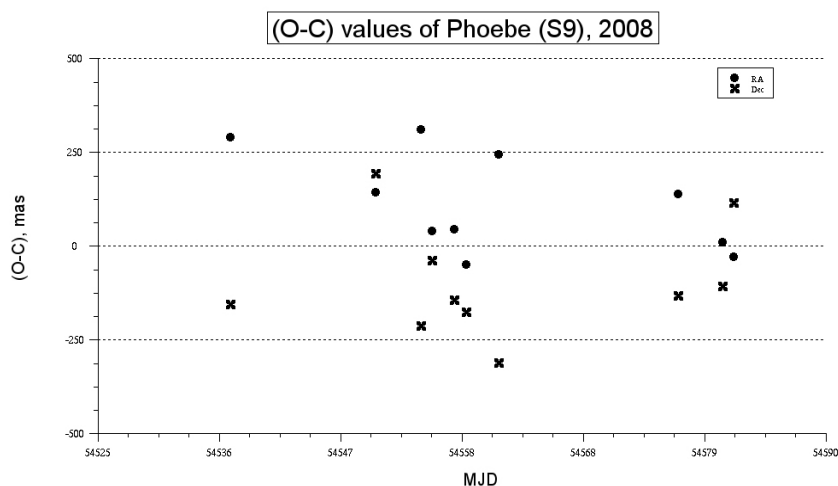


Рис. 5.

Выводы

В результате выполнения астрометрических ПЗС-наблюдений на Нормальном астрографе Пулковской обсерватории получен ряд высокоточных экваториальных и отнесенных положений главных спутников Сатурна S5-S8. Внутренняя точность координат составила 30–100 mas. В большинстве случаев величины (O-C) лежат пределах 100–200 mas. Выявлены систематические эффекты в (O-C) спутников, которые можно интерпретировать как проявления несовершенств теории TASS1.7. Амплитуда этих эффектов не превосходит 200–300 mas.

Благодарности

Данная работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 07-02-00235-а и 07-02-92169).

Литература

- Хруцкая Е.В., Киселева Т.П., Измайлов И.С., Ховричев М.Ю., Бережной А.А. Астрометрические ПЗС-наблюдения главных спутников Сатурна в Пулковской обсерватории в период 2004-2007 гг. // Астрон. Вестник. 2009. Т.43. N 4. С. 299-304.
- Emelianov N.V., Arlot J.E. The natural satellites ephemerides facility MULTI-SAT. // A&A, 2008, V.487. P. 759-765.

THE ANALYSIS OF ACCURACY OF EPHEMERIDES OF THE MAIN SATURNIAN SATELLITES WITH PULKOVO NORMAL ASTROGRAPH CCD-OBSERVATIONS

Khrutskaya E.V., Khovritchev M.Yu., Berezhnoy A.A., Narizhnaya N.V, Dement'eva A.A.
Pulkovo observatory

A set of accurate astrometric observations of the main Saturnian satellites have been collected with Pulkovo Normal Astrograph. Internal accuracy of astrometric observations of the satellites of Saturn is 30 to 100 mas. (O-C) values are less than 100 to 200 mas in the most cases. The theory-dependent systematic effects cause the positional differences of the same order. The systematic effects are seen in (O-C) as functions of phase angle or phase of mutual orbital motion. Hence presented data set may be used to improve the theories of motions of Saturnian satellites. Authors want to thank Organizing Committees of the conference and RFBR (projects: 07-02-00235-a and 07-02-92169).

ПУЛКОВСКАЯ ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ ЗВЕЗД С БОЛЬШИМИ СОБСТВЕННЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ

Хруцкая Е.В., Ховричев М.Ю., Измайлов И.С., Бережной А.А.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН.

Интерес астрономов к “быстрым” звездам ($\mu > 100$ мсд/год) связан, прежде всего, с тем, что, как правило, эти звезды находятся на относительно близком расстоянии от Солнца и большой процент в них приходится на звезды низкой светимости: белые, красные и коричневые карлики. Эти объекты представляют интерес для астрофизики в связи с изучением активных процессов в поверхностных слоях звезд, в частности, нестационарных процессов и связанной с ними “вспышечной” активностью у красных карликов. Исследования пространственного распределения и кинематики звезд низкой светимости и в особенности коричневых карликов имеют большое значение для изучения деталей строения и эволюции различных подсистем Галактики. Исследование близких к Солнцу звезд дает возможность осуществлять поиск и изучение звезд с невидимыми спутниками субзвездных масс. Обширная программа таких исследований на протяжении нескольких десятилетий ведется сотрудниками 26-дюймового рефрактора Пулковской обсерватории [1-3]. Все увеличивающаяся точность наблюдений делает реальным в ближайшие годы при проведении наблюдений из космоса использовать звезды с большими собственными движениями в качестве линзирующих объектов, поскольку они относительно быстро перемещаются на фоне более далеких звезд. В связи с этим интерес представляет предвычисление характеристик таких явлений (вероятность наступления, продолжительность и т.п.) [4].

Необходимым условием для успешного решения перечисленных задач является знание точных координат звезд и особенно их точных собственных движений (1-2 мсд/год), а также знание параллакса на уровне точности не хуже 5-8 мсд. Особенно это актуально для слабых звезд, не вошедших в программу проекта HIPPARCOS [5].

На получение этих данных и направлена Пулковская программа исследования звезд с большими собственными движениями.

В настоящее время наиболее полным каталогом «быстрых» звезд всего неба является каталог LSPM (A New All-Sky Catalogue of Stars with Large Proper Motions) [6]. Каталог LSPM содержит 120 тысяч звезд до 21 звездной величины с собственными движениями больше 150 мсд/год. Точность координат звезд в LSPM в среднем составила 120 мсд, точность собственных движений – 10 мсд/год для звезд севернее -30° и 20 мсд/год для более южных звезд. Полученная точность ниже точности, требуемой для решения перечисленных задач.

Для реализации Пулковской программы исследований звезд с большими собственными движениями в обсерватории задействованы два инструмента: нормальный астрограф (D/F = 0.33 м/3.5 м; CCD: S2C, FOV=18'×16') и 26-дюймовый рефрактор (D/F = 0.65 м/10.5 м; CCD: FLI ProLine 9000, FOV=12'×12'), оснащенные современными ПЗС-камерами. В настоящее время наблюдения на 26-дюймовом рефракторе полностью автоматизированы.

В задачу нормального астрографа входит получение наблюдений для вывода высокоточных собственных движений звезд, задачей для 26-дюймового рефрактора является получение рядов наблюдений для определения тригонометрических параллакса.

Программа наблюдений нормального астрографа содержит 1123 звезды из каталога LSPM в зоне склонений $+30^\circ - +70^\circ$, собственные движения которых больше 300 мсд/год. Программа наблюдений на 26-дюймовом рефракторе содержит 40 звезд низ-

кой светимости из каталога LSPM для определения параллакс с собственными движениями больше $1''/\text{год}$. Обе программы допускают расширение. Следует отметить, что в программы наблюдений включены, главным образом, звезды, которые отсутствуют в современных высокоточных звездных каталогах (Tycho-2, UCAC2), они не имеют хорошей наблюдательной истории, а, следовательно, и точных собственных движений.

Наблюдения на обоих инструментах были начаты в конце 2007 года. На сегодняшний день на нормальном астрографе получено более 50% всех запланированных наблюдений. В 2009 г. начата их обработка и исследование возможных систематических ошибок наблюдений. Выявлено заметное уравнивание яркости (рис. 1), вызванное главным образом несимметричностью ПЗС-изображений ярких объектов.

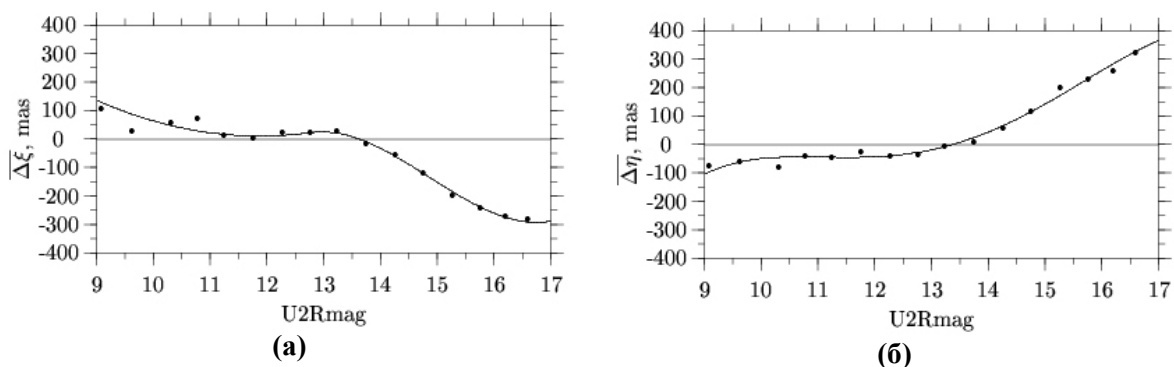


Рис.1. Зависимость сглаженных разностей (Наблюдения-Каталог) по RA (а) и DECL (б) от звездной величины.

Наиболее вероятной причиной данного эффекта следует считать неравномерность ведения часового механизма и оптические аберрации, вызывающие пространственное перераспределение световой энергии в пучке [7]. Полученные поправки вносились в наблюдаемые тангенциальные координаты звезд.

Для вывода точных собственных движений “быстрых” звезд в качестве первых эпох планируется использовать положения этих звезд в каталогах 2MASS и SDSS, а также материал фотографических наблюдений звезд в площадках с галактиками [8]. Последнее предполагает оцифровку имеющихся фотопластинок и их новую редукцию в современной опорной системе ICRF. Точность получаемых координат звезд с большими собственными движениями 12-16 звездной величин лежит в пределах 10-50 мсд, что позволяет, учитывая точность координат этих звезд в первые эпохи, получить точность новых собственных движений на уровне 1-4 мсд/год. Сравнение полученных собственных движений звезд с собственными движениями каталога LSPM даст возможность:

- оценить систематические ошибки обоих наборов собственных движений и дать независимую оценку точности собственных движений каталога LSPM,
- выявить звезды, у которых обнаружены большие разности собственных движений с каталогом LSPM. Наличие значимых разностей может служить указанием на присутствие невидимых спутников у данных звезд и потребует дополнительных исследований этих звезд.

На 26-дюймовом рефракторе из 40 программных звезд низкой светимости, собственные движения которых превышают $1''/\text{год}$, для 29 звезд получены предварительные значения параллакс со средней точностью 4 мсд.

В таблице 1 приведены параллаксы, полученные из наблюдений на 26-дюймовом астрографе за 1.5 года.

Таблица содержит:

Name – номер звезды по каталогу LSPM

π - значение параллакса, $\varepsilon\pi$ - средне-квадратическая ошибка параллакса (в мсд)

μ_x , $\varepsilon\mu_x$ - годовое собственное движение по X и его ошибка (в мсд)

μ_y , $\varepsilon\mu_y$ - годовое собственное движение по Y и его ошибка (в мсд)

e_{x1} , e_{y1} – ошибка единицы веса по X и Y (в мсд)

Npl – число полученных ПЗС-серий (каждая серия в среднем по 10 кадров)

Use – число ПЗС-серий, использованных для получения параллакса.

Neph – число эпох

P – период наблюдения в годах

parfac – разность между максимальным и минимальным параллактическим фактором

maxres – величина максимальной невязки (в мсд)

begin, end – начало и конец периода наблюдений (год, месяц, число)

refuse – количество ПЗС-серий не использованных при определении параллакса.

Для получения параллаксов и собственных движений использовалась методика, разработанная А.А. Киселевым [9]. Новым в ней является принцип назначения весов, которые вводились с учетом ошибок вписывания профиля (PSF-функция) в ПЗС-изображения звезд. Использованный прием привел к существенному увеличению точности (~ на 40%) результатов. Полученные параллаксы были сравнены с уже имеющимися параллаксами, полученными по программам Yale/USNO (рис. 2-4).

Для двух звезд (0803+3456 и 1202+3636) не удалось найти параллаксы в имеющихся публикациях, не исключено, что они определены впервые.

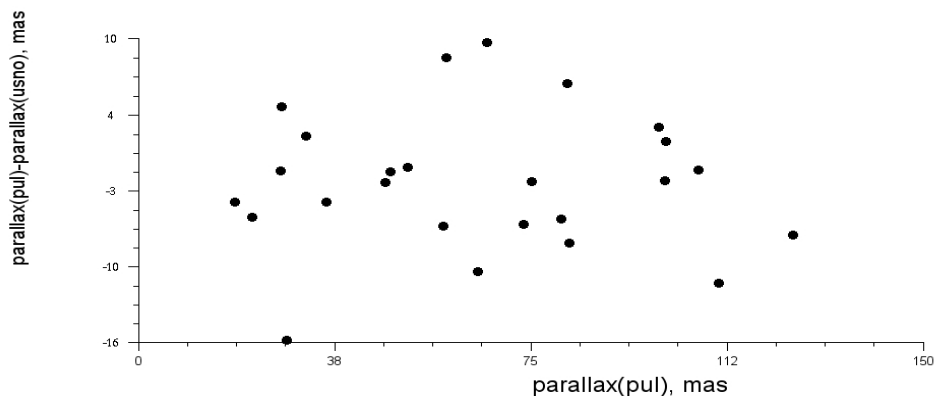


Рис. 2. Разности параллаксов (pul-usno) как функция полученных параллаксов.

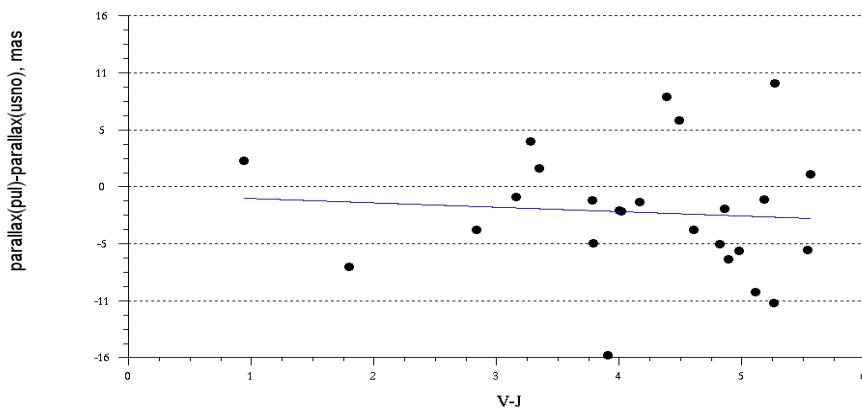


Рис. 3. Зависимость разностей параллаксов (pul-usno) от показателя цвета (V-J).

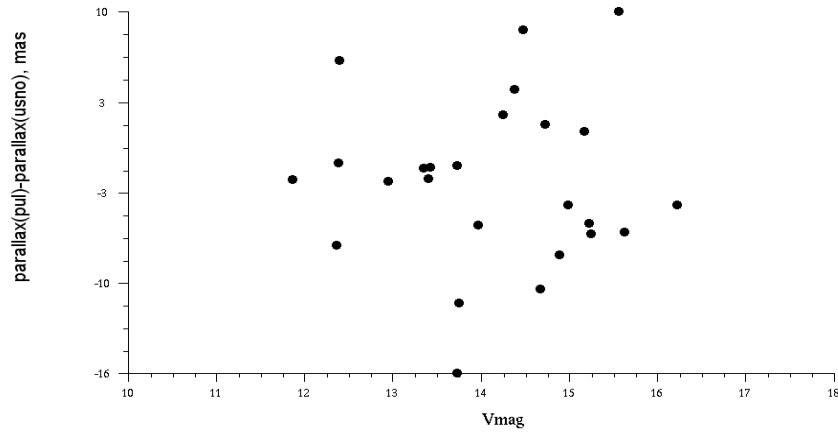


Рис.4 Зависимость разностей параллакса (pul-usno) от визуальной звездной величины (V).

Как видно из приведенных рисунков не обнаруживается систематических зависимостей разностей между пулковскими и вашингтонскими параллаксами от звездной величины и цвета. Можно заметить лишь некоторое преобладание отрицательных разностей (pul-usno), что может быть связано с тем, что полученные параллаксы пока не были абсолютизированы по стандартной методике. Параллаксы были получены относительно слабых опорных звезд (15-17 mag), для которых параллаксы должны быть ничтожно малы. В дальнейшем планируется более детальное рассмотрение вопроса об абсолютизации полученных параллакса

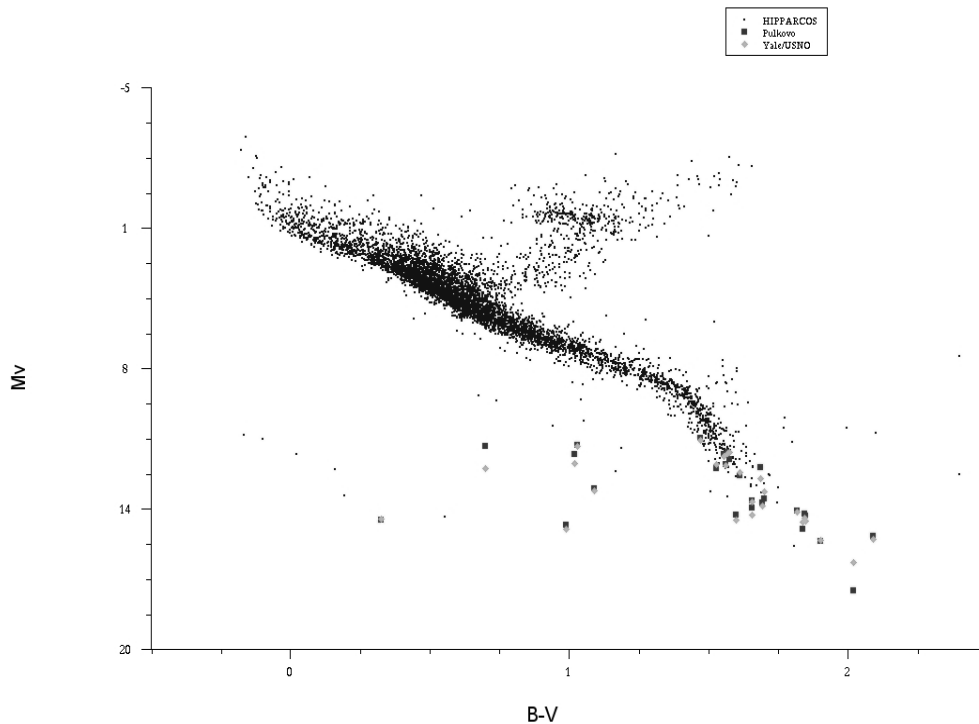


Рис. 5. Диаграмма Герцшпрунга-Рессела, построенная с использованием параллакса каталога HIPPARCOS (•), параллакса программы Yale/USNO (◊) и пулковских параллакса (■).

Для сопоставления пулковских параллакса и параллакса, полученных по программе Yale/USNO было решено построить диаграмму Герцшпрунга-Рессела, используя данные каталога HIPPARCOS, и “наложить” на нее диаграмму, построенную с использованием пулковских и вашингтонских параллакса (рис. 5). Это дает возможность

косвенно сравнить пулковские и вашингтонские параллаксы в плане их достоверности и относительной точности. При построении диаграммы Г-Р по данным каталога HIPPARCOS отбирались звезды с малой относительной погрешностью параллаксов (меньше 5%). Если “экстраполировать” ветви главной последовательности, белых карликов и субкарликов, построенные по данным каталога HIPPARCOS, в область более “красных” и более слабых звезд можно сказать, что в плане достоверности и относительной точности полученные пулковские параллаксы и параллаксы USNO примерно одинаковы.

Приведенные здесь данные являются самыми первыми результатами, полученными в рамках пулковской программы исследования звезд с большими собственными движениями. В настоящее время продолжается накопление наблюдательного материала, его обработка и анализ результатов.

Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ N 09-02-00419.

Литература

1. *Deich A.N.* New data on unseen companions of 61 Cygni. // *Pis'ma v Astron. Zh.* 1978. V. 4. P.95-98.
2. *D.L. Gorshanov, N.A. Shakht, A.A. Kiselev.* Observations of the binary star 61 Cyg on the 26-inch refractor at the Pulkovo observatory. // *Astrophysics.* 2006. V.49. N3. P.386-396.
3. *O.B. Куяева.* Астрономическое исследование тройной звезды ADS 9173. // *ПАЖ.* 2006. T.32. N12. С.928-936.
4. *Salim, S, Gould, A.* Nearby Microlensing Events - Identification of the Candidates for the Space Interferometry Mission. // *The Astrophysical Journal.* 2000. V. 539. Issue 1. P. 241-257.
5. *Burgasser A, Vrba F.J, Lépine S, et al.* Parallax and Luminosity Measurements of an L Subdwarf. // *The Astrophysical Journal.* 2008. V. 672, Issue 2. P.1159-1166
6. *S. Lépine, M.M. Shara, M.R. Rich.* A New All-Sky Catalog of Stars with Large Proper Motions. // *Proc.of IAU Symp.* 2008. N 218.
7. *Е.В. Хруцкая, М.Ю. Ховричев.* Астрометрия малых тел Солнечной системы с пулковским нормальным астрографом. // *Изв.ГАО в Пулкове.* 2009. N 219.
8. *Khrutskaya E.V., Khovritchev M.Yu., Bronnikova N.M.* The Pul-3 catalogue of 58483 stars in the Tycho-2 system. // *Astronomy and Astrophysics.* 2004. V.418. P.357-362.
9. *А.А. Киселев, О.А. Калиниченко, О.П. Быков.* Тригонометрические параллаксы 12 визуально-двойных звезд по наблюдениям в Пулкове на 26-дюймовом рефракторе. // *Изв. ГАО в Пулкове.* 1994. N 208. С.9-17.

THE PULKOVO PROGRAM OF INVESTIGATIONS OF STARS WITH LARGE PROPER MOTIONS

Khrutskaya E.V., Khovritchev M.Ju., Izmailov I.S., Berezhnoy A.A.

The Central Astronomical Observatory of the Russian Academy of Sciences at Pulkovo

Two concepts are realized in Pulkovo program of investigations of stars with large proper motions: determination of accurate trigonometric parallaxes and improvement of stars proper motions. The list of investigated stars contain 1123 stars with total proper motion more than 300 mas/yr within declination zone $+30^\circ - +70^\circ$ and 40 stars with total proper motion more than 1arcsec/yr for determination of trigonometric parallaxes. The Normal astrograph and 26-inch refractor of the Pulkovo Observatory with modern CCD cameras are used in this work. Expected accuracy of the new proper motions is 1 to 4 mas/yr. Preliminary parallaxes for 29 stars are given. The precision turn out of parallaxes in average 4 mas. The Pulkovo program of investigation of fast stars is supported by RFBR grant № 09-02-00419.

МЕЖПЛАНЕТНАЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ: АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ НАУЧНОЙ ПРОГРАММЫ И КОМПОНОВКИ

Чубей М.С.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Целевая программа Межпланетной Солнечной Стереоскопической Обсерватории (МССО) ориентирована на применение метода стереоскопии при выполнении фундаментальных исследований в рамках: 1) проблемы «Физика Солнца и солнечно-земные связи»; 2) проблем небесной механики, звездной астрономии, астрометрии и астрофизики в диапазоне яркостей, осваиваемом современной астрономией – $\Delta V_c \{-4^m \rightarrow 25^m\}$. В соответствии со спецификой требуемого приборного оснащения, обусловленного в свою очередь яркостью объектов и их распределением по небесной сфере, проект МССО развивается в двух вариантах, – «солнечный» для решения задач раздела 1), и «звездный» для решения задач раздела 2). Вариант 2) представлен в настоящей работе.

Введение

Целесообразность установки двух идентично оборудованных космических аппаратов (КА) в окрестности Лагранжевых центров либрации в системе «Солнце — барицентр системы “Земля+Луна”» (СбсЗЛ) имеет ряд весомых научных аргументов для выполнения фундаментальных исследований. Привлекательность идеи состоит в том, что: 1) радиационные и температурные условия работы аппаратуры не жестче, чем на околоземных орбитах, где ИСЗ пересекают силовые поля геосферы, испытывая скачек температуры на борту при входе и выходе из тени Земли; 2) физические свойства пространства в окрестностях центров подобны свойствам пространства геостационарной орбиты, плотно заселенной еще с конца минувшего столетия именно в силу устойчивости определенного типа движений и их удобства для исследовательских и практических целей, поэтому точки либрации непременно будут заселены в текущем веке; 3) пространственное расположение КА в окрестностях центров, рассчитываемое на эффективное применение принципа синхронной триангуляции и стереоскопии в наблюдениях с базой $B = a\sqrt{3} \cong 259.111 \text{ млн. км}$ (Рис. 1), имеет неоспоримые преимущества трехмерности перед КА на околоземных орбитах, производящих наблюдения с одного направления, – прежде всего, в решении задач проблемы астероидно-кометной опасности (АКО) и проблем физики Солнца; 4) синхронная работа двух идентичных астрографов, установленных на концах базы B , в комбинации с режимом отдельного наблюдения каждым из телескопов исключает «слепые» засолнечные для земного наблюдателя участки орбит практически всех классов объектов, сближающихся с Землей (ОСЗ), и орбитальная стереообсерватория имеет в точности наблюдений, их полноте и эффективности в несколько раз более высокие показатели по сравнению с околоземными орбитальными и наземными средствами; 5) синхронный обзор неба двумя астрографами, снабженными соответствующей системой светофильтров, помимо альтернативной системы расстояний в пределах, обеспечиваемых перспективой базы B и инструментальными ограничениями, позволяет получить достаточно подробное распределение энергии в излучениях не отдельных звезд, а всех регистрируемых в градусном поле зрения объектов (планет, звезд, галактик и протяженных объектов) – в каждой серии кадров области съемки; 6) наконец, в технологическом отношении дополнительной защиты или испытаний аппаратуры, по сравнению с таковой, используемой на околоземных орбитах, разрабатывать не нужно, поскольку удаление от Солнца также равно одной астрономической единице, как и для околоземных орбит.

Общий потенциал идеи создания орбитальной стереообсерватории изложен в [1]. Технологические возможности освоения окрестностей тригональных центров к настоящему времени созрели. Анализ этих возможностей, однако, привел к ясному осознанию, что решать с одной платформы задачи наблюдений Солнца и наблюдений звездного неба технически пока невозможно, если ставить цель получить наблюдения высокого качества в разрешении изображений. Солнце и Земля в эклиптикальной аппаратноцентрической системе координат движутся по эклипке со скоростью $\sim 1^\circ/\text{сутки}$. Система наведения комплекса солнечных приборов (КСП) и приборов связи с Землей, по существу, лишь «удерживает» направления на эти объекты. При этом КСП рассчитан на работу с потоком солнечного излучения, интенсивность которого характеризуется звездной величиной $V = -26.75^m$ и требует специальных солнцезащитных решений.

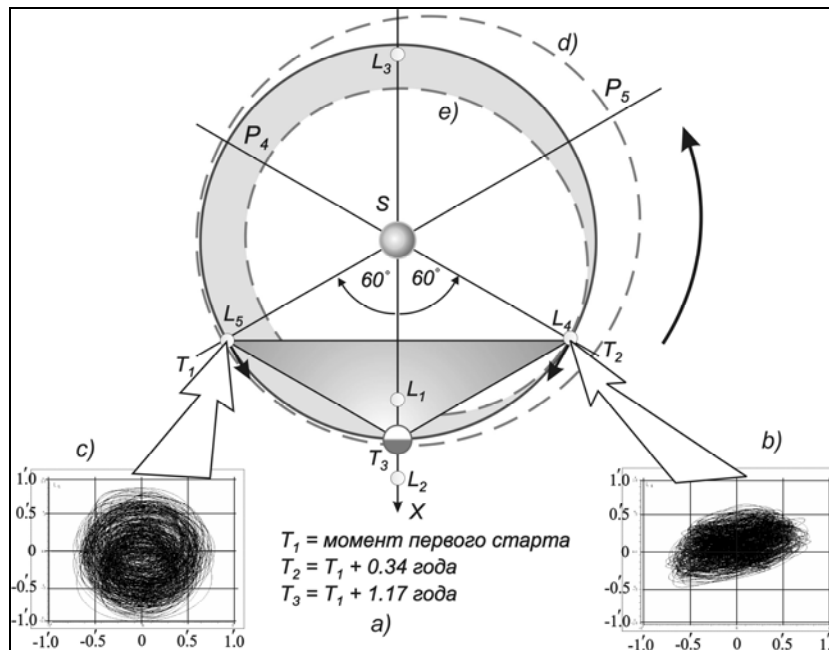


Рис. 1. Пространственная конфигурация и схема разворачивания рабочих орбит в окрестностях устойчивых центров либрации Лагранжа L_4, L_5 в проекции на плоскость эклиптики; T_3 – Земля, S – Солнце. Треугольник $L_4L_5T_3$, вершины которого всегда расположены в эклипке, совершает квази-твердотельное обращение вокруг Солнца S с периодом в один год. Штрих-пунктир – расчетные орбиты гелиоцентрических переходов «Земля – L_5 » d), или «Земля – L_4 » e), a) – последовательность событий разворачивания. Увеличенное изображение окрестностей центров L_4, L_5 и либрационные движения КА в течение 160 лет показаны в частях b) и c). Диаметр этих областей ограничен величиной ~ 65000 км и составляет $2.5 \cdot 10^{-4}$ часть базы B ($\sim 0.025\%$).

Звездный же астрограф, предназначенный для получения прямых снимков звездных полей с высоким разрешением и имеющий в оборудовании целесообразно подобранную систему светофильтров, «зоной избегания прямых засветок» имеет конус с осью «КА → Солнце» с углом раствора, равным 50° , и требует применения системы наведения, подобной системе телескопа «Hubble». Выполнение научной программы, объекты которой распределены по всему небу, требует частой смены точки наведения и удержания телескопа на время серии экспозиций. Это обосновывает необходимость разделения МССО на две компоновки, – «солнечную» и «звездную» и в дальнейшем изложении речь будет идти в основном о «звездной» компоновке – производной проекта МССО, которую назовем Межпланетной Звездной Стереоскопической Обсерватори-

ей (МЗСО). Очевидно, астрограф по качеству изображений должен иметь класс лучших инструментов, используемых и проектируемых в настоящее время для исследований в орбитальных условиях, с внедрением электронного и программного обеспечения высшей степени автономности, самоконтроля и надежности.

Звездный астрограф МЗСО

Принимая во внимание идеи развития современных оптических телескопов [2], для нашей цели наиболее оптимальным решением будет использование двухосевого трехзеркального ортоскопического объектива с действительным промежуточным изображением после отражения от двух зеркал. Исследование специфики расчета и изготовления таких систем и условий защиты их фокальной плоскости от прямых засветок [3] позволило рассчитать систему с применением теории аберраций третьего порядка с устранением сферической аберрации, комы, астигматизма, кривизны изображения, допуская, однако, дисторсию $S_v \leq 0.003\%$ для реального облегчения технологических операций контроля при изготовлении объектива. Поскольку орбитальные тесты при вводе телескопа в эксплуатацию и периодически при самой эксплуатации на орбите в любом случае требуют выполнения операций загрузки и калибровки системы, то дисторсию в этих пределах следует считать приемлемой. На Рис. 2. представлена схема расположения оптических элементов в компоновочном пространстве астрографа.

Астрограф посчитан на основе работы [4], требования к расчету, параметры телескопа и параметры его регистрирующей системы, дифракционные качества, Функция Рассеяния Точки и компоновочные размеры, по необходимости сжато, перечислены ниже:

эквивалентное фокусное расстояние $f = 20000$ мм; угловое поле зрения $2W = 60'$; апертура $D = 1000$ мм; расчетная предельная величина в интегральной области спектра $V_{\text{lim}} = 25^m$ при отношении «сигнал/шум» ≈ 3 и $V_v = 22^m$ с применением светофильтров; $D/f = 1:20$; линейное поле зрения диаметром $d = 350$ мм; спектральный диапазон $0.25 - 1.0$ микрона; масштаб $\mu = 10.3''/\text{мм}$; регистрирующий фокальный ансамбль — ПЗС-мозаика из ~ 20 ПЗС-матриц и турель с $20 - 25$ узкополосными светофильтрами; пиксел квадратный со стороной 6 микрон угловым размером $\text{pix} = 0.062''$; фокальное поле плоское (именно это свойство достижимо в трехзеркальных системах); изображение дифракционное по всему полю; дисторсия $S_v \leq 0.003\%$; полный вес оптических компонент ≈ 120 кг; полный вес астрографа со светофильтровой турелью в компоновке не превосходит 500 кг; компоновочные размеры $\sim 150 \times 200 \times 270$ см³ и включают объективную бленду длиной 100 см; требуемая точность определения положения центра максимума интенсивности в изображении точечного источника не хуже $\sigma_1 = \pm 0.001''$.

Функция Рассеяния Точки (ФРТ), посчитанная методом лучевого трассирования, представлена на Рис. 3. Практически ее вид не меняется по всему полю в пределах 0.05% , ширина ФРТ на половине максимума составляет 11.3 микрона. Для дискретизации изображения на пиксельную структуру ПЗС-матрицы без потери точности по критерию Найквиста размер ПЗС-пиксела не должен превосходить значения полуширины ФРТ на половине ее максимума. В нашем случае пиксел должен иметь размер 6 микрон. При таком согласовании положение максимума интенсивности излучения точечного источника определяется с точностью на уровне не грубее 0.01 пиксела, а теоретически – на уровне 0.002 пиксела [5], что включает величину ошибки одиночного измерения в пределы $0.00062'' \geq |\sigma_1| \geq 0.00012''$. При наборе статистики в 10 измерений астрометрическая точность повысится еще примерно в три раза, – до уровня $\pm 0.0002'' \leftrightarrow \pm 0.00004''$. При достижении этого уровня перспектива базы МЗСО определится радиусом сферы $R = 1/0.0002 = 5$ кпс. Таким образом, по каждой сессии синхронных на-

блюдений одной площадки параллаксы звезд на дальностях $D \leq R$ могут быть определены на основе метода синхронной триангуляции, альтернативного классическому варианту метода, свободному от трудностей, присущих классическому методу.

Фотометрическую точность определяют величина накопленного заряда, отношение «Signal/Noise» (S/N) и полнота исключения действия технических факторов. При использовании свойств ФТП на стадии обработки и при соблюдении «критерия Найквиста» в согласовании свойств регистрирующей системы и изображений современные алгоритмы позволяют подсчитать число квантов в сформированном изображении при минимальном отношении $S/N \approx 3$ и получить фотометрические величины с точностью не хуже $\pm 0.005^m$.

Коллектив, разрабатывающий МЗСО, понимает сложности создания и эксплуатации трехзеркальных систем, но их преимущества непременно выдвинут эту систему на острие инструментальных проблем, решаемых для применения и в орбитальных, и в наземных условиях. Заметим, что в трехзеркальных вариантах формируются телескопы в проектах SNAP [6], JASMINE [7] и OBSS [8]. К преимуществам этой системы перед двухзеркальными, например, перед системой Ричи-Кретьена, относятся: 1) возможность получить широкоугольное плоское фокальное поле без применения линзовых или зеркальных корректоров; 2) возможность скомпоновать систему в минимальных пространственных размерах; 3) минимальная из возможных дисторсия и дифракционное изображение по всему полю. Вполне возможно ряд параметров будут несколько другими, но в целом качество телескопа не может значительно уступать вышеописанному уровню: соответствующие технологии изготовления существуют, а тратить средства на малоэффективный аппарат никто не станет.

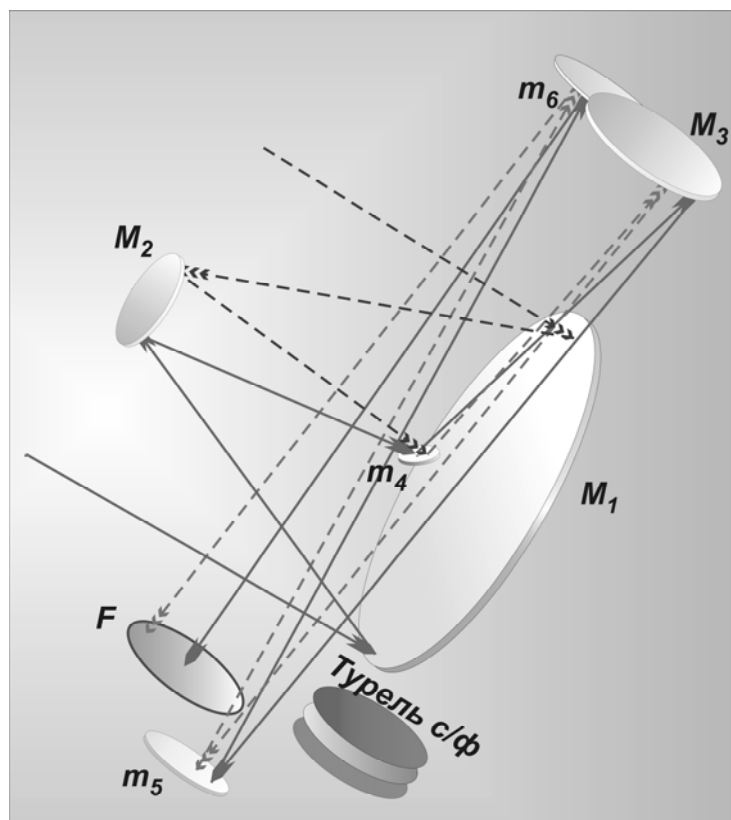


Рис. 2. Масштабированная и соответствующая расчету пространственная схема оптических элементов трехзеркальной системы Цукановой-Корша. M_1 и M_3 – эллипсоиды вращения, M_2 – гиперboloид вращения, m_4 , m_5 , m_6 – плоскости, F – плоский фокус. Турель с/ф – набор светофильтров.

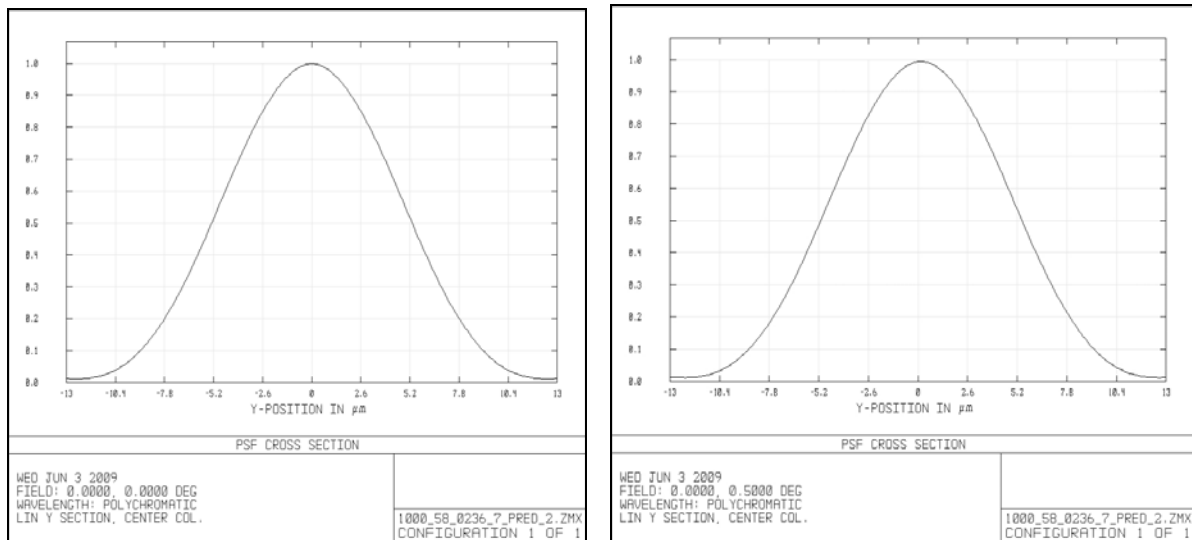


Рис. 3. Функция Рассеяния Точки. Слева – центр, справа – край поля зрения. Сечение по Y. В сечении по X картина полностью идентична.

Таким образом, с астрографом вышеописанных свойств возможно получить прямые снимки площадки на небе с угловым диаметром 1° в интегральной области спектра и примерно в 20–25 узкополосных светофильтрах с разрешением на абберационном уровне. Максимально предметную конкретизацию параметров телескопа, его проникновения во всех опциях, – режимов съемки, системы наведения и удержания на время экспозиции, – и, наконец, деталей научной программы эксперимента – все это возможно сделать только на стадии НИОКР.

Научная программа, вариант – астрономия и астрофизика

Имея астрографы с вышеуказанными свойствами на двух КА в точках либрации, целесообразно организовать научную программу наблюдений для решения следующих задач:

I. Трехмерный мониторинг малых тел Солнечной системы и решение задач *проблемы* астероидно-кометной опасности (АКО). Наблюдения тел Солнечной системы всех типов по оптимальной программе, наблюдения явлений покрытий в спутниковых системах больших планет для уточнения их орбит, определение геометрической формы и вращения астероидов, уточнение астрономической единицы длины из наблюдений Земли и Луны. Наблюдения глобальных свойств Земли как планеты.

II. Определения тригонометрических параллаксов методом прямой триангуляции, альтернативным классическому методу, из синхронных наблюдений звезд, удаленных до расстояний в 3–5 кпк, в рамках *проблемы* построения координатной системы. Подробное распределение энергии в спектрах всех регистрируемых объектов для решения задач галактической и внегалактической астрономии, астрометрии, небесной механики и астрофизики.

III. Поддержка программ наземных наблюдений явлений микролинзирования в рамках *проблемы* астрофизики массивных темных объектов и линзируемых звезд;

IV. Фотометрические и астрометрические наблюдения комет, сверхновых звезд и других астрофизических объектов, по мере их появления и актуальности их наблюдения – «горячие наблюдательные задачи».

Обсуждение научной программы

Создание МЗСО с расположением научной аппаратуры в Лагранжевых точках L_4 и L_5 стратегически выгодно для отечественной и мировой науки. На начальной стадии

освоения точек либрации предлагается простая компоновка – компоуется только один инструмент – астрограф, но с хорошим потенциалом наблюдательных возможностей.

I. Проблема АКО осознана, сформулирована [9] и в виду высокой степени ее актуальности включена в национальные программы фундаментальных исследований космических агентств США, Европы, России, Японии, Индии и Китая. В известной мере можно утверждать, что состоятельность современной науки и разумность человека вообще будут определяться способностью решить проблему точного предсказания событий в космической стихии и организовать разумные, согласованные и эффективные действия по предотвращению возможных столкновений и защите цивилизации от этого стихийного бедствия. Проблему не следует драматизировать. Но своевременно изучить ее возможно только на базе длительных высокоточных наблюдений.

Моделирование решения наблюдательной задачи проблемы АКО с помощью астрографов МЗСО с вышеописанными свойствами [10] позволяет сделать вывод о том, что за 6 лет решаются задачи обнаружения и построения высокоточных орбит всех подвижных объектов, как сближающихся с Землей, так и не сближающихся, имеющих абсолютную звездную величину ярче 22^m , путем сплошного обзора эклиптикальной зоны в комбинировании двух режимов наблюдений – наблюдения одиночными телескопами в своих зонах с детектированием объектов и выявлением таких, которые не имеют надежно построенных орбит. Затем в режиме стереоскопа следует выполнить построение их высокоточных орбит, дополняя и базы данных для требуемого существенного улучшения орбит объектов в необходимых случаях.

Поскольку решение проблем АКО осуществляется международными усилиями, то можно согласовать в этой части программу МЗСО так, чтобы наиболее сильные стороны этой обсерватории были использованы без расхода ее полного ресурса.

II, III, IV. Планируемые обзоры неба в проектах OBSS [8] и GAIA [11] рассчитаны на применение сканирующего метода, успешно реализованного в эксперименте HIPPARCOS. Оба КА проектов будут установлены в окрестностях Лагранжева центра либрации L_2 в системе «Солнце — Земля». Преследуемая точность положений, собственных движений и параллакс звезд яркостью до 16^m определяется несколькими миллионными долями секунды дуги, понижаясь до миллисекунд для более слабых звезд на пределе 20^m . Многополосная система фильтров и наличие спектрографов позволяет получить спектральные и фотометрические характеристики объектов программ, включая лучевые скорости для значительной их части. Гелиоцентрическое движение космического аппарата, ведущего наблюдения с указанной точностью, позволяет построить параллактический эллипс и «криволинейность» пути каждой звезды, обусловленную собственным движением и действием сил притяжения со стороны тел ее планетной системы в конусе, угловой размер которого определяется одной или несколькими секундами дуги, соответственно ее собственному движению и удалению от Солнца. Программы проектов [8, 11], по мнению их разработчиков, выполняются как «технологический вызов» времени и достойны всяческого одобрения и поддержки.

В чем будет содержательное отличие и самостоятельная ценность данных проекта МЗСО в сравнении с данными этих грандиозных проектов?

Первое отличие в методе наблюдений. Два высокоточных астрографа стереообсерватории с базой $B = 1.7274$ а.е. выполняют наблюдения методом синхронной экспозиции объектов программы – с удержанием точки наведения до окончания серии экспозиций. В ближней области перспективы базы объекты – тела Солнечной системы. В дальней области перспективы – площадка небесной сферы угловым диаметром в 1° , общая для обоих телескопов. Каждая серия наблюдений объекта представляет законченный полностью определенный ряд. Ряд, не нуждающийся в матричном уравнивании в едином процессе обработки всего материала наблюдений всего неба, не свободного

от трудно выявляемой корреляционной связи целевых параметров и параметров гелиоцентрического движения аппаратов, параметров его вращения и параметров инструментов, как это происходит в проектах [8, 11] и имело место в эксперименте HIPPARCOS.

Второе отличие в конфигурации обсерваторий. Аппараты МЗСО (и можно надеяться, на втором этапе, аппараты МССО) устанавливаются в дальнем космосе, – на расстоянии в 1 *a.e.*, в окрестностях Лагранжевых центров L_4 , L_5 , а не в окрестностях центра L_2 , расположенного на удалении в 0.01 *a.e.* от Земли. Это обстоятельство формирует более сложные условия передачи потока данных и ограничения ресурса аппаратов. Одновременно это же обстоятельство обеспечивает МЗСО преимуществом в трехмерных наблюдениях, прежде всего тел Солнечной системы. Из серии кадров, выполненных синхронно во времени, выводятся прямые «мгновенные» тригонометрические параллаксы, свободные от их связи с собственными движениями звезд. Именно в этом состоит интерес и ценность такой системы параллаксов. Учитывая проницание до 25^m , расстояния до слабых звезд на расстояниях в пределах до 4–5 кпс могут быть определены.

Более существенное отличие состоит в возможности применить широкоугольный астрограф высокого разрешения с системой узкополосных светофильтров. Изображения объектов ярче предела проницания в интегральном свете планируется получить и во всех фильтрах, правда с потерей трех звездных величин, т.е. для всех объектов ярче 22^m будут получены подробные распределения энергии в спектрах. Этот материал не даст возможности определить лучевые скорости, но будет представлять популяции звезд, на 2–3 звездные величины более слабых, чем это планируется в проектах [8, 11], поскольку применение метода точечного наведения телескопа и автоматического его удержания в течение цикла измерений, как это выполняется для космического телескопа «Hubble», позволяет получить с астрографами две синхронные серии кадров, отображающих эффект перспективы базы стереоскопа в каждой полосе во всех фильтрах, для звезд до 22^m и на двух кадрах для звезд до 25^m в интегральной полосе. Статистика для увеличения точности определения параллаксов оказывается достаточной уже в одной серии из 25–26 пар кадров, полученных и обработанных по освоенной в наземных ПЗС-наблюдениях методике. В этом несомненная самостоятельная ценность материала наблюдений планируемого проекта МЗСО.

Программы наблюдений и ожидаемые цели исследования проектируемых баз данных МЗСО и проектов [8, 11], безусловно, имеют пересечения, хотя МЗСО уступает в дальности объектов, параллаксы которых планируется определить. Научное обоснование проекта «СТРУВЕ» (см. [12], глава 3), оснастить который планировалось инструментом со значительно меньшим пределом проницания и уступавшим в масштабе и, соответственно в точности, будучи развиваемым для МЗСО, значительно расширяется по числу целей и потенциалу возможностей, превосходя иногда даже проект [11], например, в возможности наблюдать любой объект произвольно или по приоритету, возможности менять план наблюдений, усиливая их статистику для избранных объектов или отвлекаясь на «горячие» и линзируемые объекты. Чтобы оценить различие или близость проектов [8, 11] и проекта МЗСО по классу, можно учесть тот факт, что в проекте [11] каждый объект будет наблюдаться минимум 80 раз, т.е. за счет статистики точность результата в 9–10 раз или на порядок выше точности единичного наблюдения. По точности единичного наблюдения МЗСО если уступает, то незначительно. По ценности ожидаемых результатов проекты приблизительно одного класса.

Заключение, благодарности

Научно-исследовательская разработка проекта МЗСО закончена. Научная программа проекта концептуально оформлена и детализирована в той степени, которую

определяет стадия НИР. Проект широко представлен в профессиональных коллективах и его уровень научного обоснования поддержан рекомендациями перевести проект на стадию НИОКР. В разработке отдельных вопросов НИР принимали участие сотрудники многих учреждений. Автор считает своим долгом выразить искреннюю благодарность за сотрудничество и поддержку коллегам ИСЗФ СО РАН и ГАО РАН. Особую благодарность автор выражает доцентам СПбГТУ ИТМО Цукановой Г.И. и Бахолдину А.В., высокопрофессиональную работу по расчету астрографов которых трудно переоценить, а также сотрудникам ГАО РАН Львову В.Н., Ягудину Л.И., Цекмейстер С.Д. и Толчельниковой С.А. за обсуждения, моделирования и поиск решений.

Литература

1. *В.М. Григорьев, П.Г. Папушев, С.А. Чупраков, М.С. Чубей, Е.С. Кулагин, Г.И. Ерошкин, В.Н. Львов, С.А. Толчельникова, Л.И. Ягудин.* Межпланетная Солнечная Стереоскопическая Обсерватория. Оптический Журнал, том 73, №4, 2006. С. 43–48.
2. *В.Ю. Теребиж.* Современные оптические телескопы. Москва, Физматлит, 2005.
3. *Чубей М.С., Цуканова Г.И., Бахолдин А.В.* Защита от прямых засветок в системе астрографа для Межпланетной Солнечной Стереоскопической Обсерватории. «Оптический журнал», 76, 8, 2009, с. 70–73.
4. *Чубей М.С., Цуканова Г.И., Бахолдин А.В.* Специфика расчета оптической системы астрографа для проекта «Межпланетная солнечная стереоскопическая обсерватория» // Оптический журнал. Т. 74. № 7. 2007. С. 37–41.
5. *Bernard F. Burke et al.* TOPS: Toward Other Planetary Systems. A report by the Solar System Exploration Division. MIT, NASA, Sept. 1992, page 103.
6. SNAP (arXiv:astro-ph/0405232v1 12 May 2004)
7. JASMINE, <http://www.jasmine-galaxy.org/pub/index.html>
8. *Carl J. Grillmair et al.* The Origins Billion Star Survey. <http://ad.usno.navy.mil/OBSS/>
9. Астероидно-кометная опасность. Ред. Сокольский А.Г., ИТА РАН, МИПАО, Санкт-Петербург, 1996 г.
10. *Чубей М.С., Львов В.Н., Ягудин Л.И., Цекмейстер С.Д., Смирнов Е.А.* Моделирование решения задач Астероидно-Кометной Опасности в орбитальном проекте «Межпланетная Солнечная Стереоскопическая Обсерватория». Настоящий выпуск «Известий ГАО».
11. GAIA <http://www.rssd.esa.int/gaia/>
12. *В.Н. Еришов, М.С. Чубей, А.Е. Ильин, И.М. Копылов, Д.Л. Горшанов, И.И. Канаев, Т.Р. Кирьян.* Космическая астрометрическая система СТРУВЕ (Научное обоснование проекта). Санкт-Петербург, «Глаголь», 1995.

INTERPLANETARY STEREO SCOPIC OBSERVATORY: ASTRONOMICAL PART OF SCIENTIFIC PROGRAM AND ARRANGEMENT

Chubey M.S.

Central (Pulkovo) astronomical observatory of Russian Academy of Sciences

The scientific target program of the Interplanetary Solar Stereoscopic Observatory (ISSO) is oriented to application of stereoscopic method for solving the basic researches in the following areas: 1) Solar physics and Solar-Terrestrial Relations; 2) the Asteroid-Comet Hazard problem, the problems of stellar astronomy, astrometry and astrophysics. The main project instrument is the astrograph of the Korsh system with aperture 1 m, focal length 20 m, CCD-mosaic with ~20–25 colour filters in registration system. The limiting star magnitude is 25^m in the integral diapason 0.2–1.0 micron. According to the technical requirements and the brightness properties of the program objects there are two directions of the project design – «solar» and «stellar». The «stellar» option is presented here as **Interplanetary Stellar Stereoscopic Observatory (IPSSO)**.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АСТЕРОИДНО-КОМЕТНОЙ ОПАСНОСТИ В ОРБИТАЛЬНОМ ПРОЕКТЕ «МЕЖПЛАНЕТНАЯ СОЛНЕЧНАЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ»

Чубей М.С., Львов В.Н., Ягудин Л.И., Цекмейстер С.Д., Смирнов Е.А.

ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия

Наблюдавшееся в 1898 году умеренно тесное сближение с Землей астероида 433 Эрос открыло проблему изучения объектов, сближающихся с Землей (ОСЗ), возможное столкновение с которыми может грозить разрушительными последствиями для земной цивилизации. Решение проблемы предсказания параметров сближения – проблемы астероидно-кометной опасности, АКО, – сопряжено с известными трудностями, [1].

Началом и основой решения проблемы АКО являются профессионально организованные программы наблюдений ОСЗ. В настоящее время интенсивно используются автоматизированные наземные оптические телескопы с ПЗС-регистрацией изображений, радиоастрономические системы с активной локацией и планируется ряд экспериментов в космосе для получения высокоточных наблюдений избранных астероидов.

Характеристики точности современных средств наблюдений с применением лучших из известных методов анализа этих наблюдений можно продемонстрировать на примере предсказания орбиты астероида 99942 Апофис, имеющего самое тесное из всех известных в настоящее время астероидов сближение с Землей 13 апреля 2029 года. Оно характеризуется минимальной дальностью от Земли 37500 км, что привлекло интерес и пристальное внимание специалистов, профессиональных наблюдателей и любителей астрономии, мировой общественности. Теоретически астероид может задеть область геостационарной орбиты и получить гравитационный маневр, выводящий его вновь на орбиту тесного сближения через 7 лет в 2036. Информация о наземных наблюдениях Апофиса и их точностях, взятая из работы [2], приведена в таблице 1 с добавлением нижней строки.

Таблица 1. Оценка точности наземных наблюдений астероида Апофис.

| Тип наблюдений | Оптические | Радиолокация (задержка) | Радиолокация (Доплер) |
|----------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|
| Период наблюдений | 15.03.04–17.06.05 | 27.01.05–29.01.05 | 27.01.05–29.01.05 |
| Кол-во наблюдений | 946 | 2 | 3 |
| Точность σ_1 | 0.4" | 0.4 мкс | 0.1 нс/с |
| σ_1 в линейной мере | ± 150 км | ± 120 м | 3 мм/с |

Оптические наблюдения ОСЗ выполняются в элонгациях, лоцирование производится на расстояниях не далее 0.3 AU (до 45 миллионов км), на этих же расстояниях производится определение лучевой скорости объекта по измеренному доплеровскому смещению частоты, на которой производится лоцирование.

Следует отметить, что дальность действия современных радиотелескопов, используемых для локации малых объектов в дальнем космосе, ограничена величиной, близкой к 0.3 AU, и зависит от размеров лоцируемого тела и его положения на небесной сфере, [3]. Только два радиотелескопа в настоящее время могут быть эффективно использованы для излучения лоцирующего импульса требуемой мощности, принять эхо от которого способны уже около десятка радиотелескопов, подключаемых к сеансу наблюдений. Предельные возможности существующей в настоящее время на Земле

системы радиоастрономических средств завязаны, таким образом, на работу двух наиболее мощных на Земле радиотелескопов-излучателей, расположенных в Aresibo и Goldstone, США. Таким образом, систематическую работу по обнаружению, отслеживанию и последующему улучшению орбит могут выполнить только оптические средства – наземные и космического базирования. Радиолокационные же системы могут привлекаться лишь эпизодически в периоды непосредственного сближения ОСЗ с Землей.

Современные наземные средства дают субсекундную точность, которая недостаточно высока и не обеспечивает возможности не терять вновь открытый объект в период, когда он уходит из зоны видимости наземными средствами. По этой причине порядка 40% открытых при первом появлении ОСЗ теряются и вновь переоткрываются.

Наблюдение ОСЗ с бортов

Межпланетной Солнечной Стереоскопической Обсерватории

Главная задача Межпланетной Солнечной Стереоскопической Обсерватории (МССО), [4], – выполнение комплексных квазисинхронных наблюдений астрономических объектов двумя идентичными группами инструментов, расположенными в Лагранжевых точках L_4 и L_5 системы «Солнце – барицентр системы Земля + Луна». Проект рассчитан на продолжительность до 11 лет, в течение которых планируется выполнить фундаментальные исследования по программе «физика Солнца солнечно-земные связи» с наблюдениями проявлений активности Солнца на протяжении гелиоцикла, а также трехмерный мониторинг небесных тел. Целью данной статьи является оценка эффективности использования МССО в деле защиты Земли от астероидной опасности.

Астрономический аспект проблемы астероидно-кометной опасности (см. [1], стр. 47–48.), собственно, требует решения двух главных задач:

1. Уточнения орбит уже известных ОСЗ для возможно более точного предвычисления параметров их угрожающих сближений с Землей;
2. Обнаружения новых ОСЗ – астероидов и комет.

Вторая задача решается организацией постоянного и непрерывного мониторинга космического пространства по всем направлениям, требует большого инструментального ресурса, и может быть успешно решена с помощью МССО только как основная программа миссии. Напротив, первая задача, уточнение орбит известных ОСЗ, может быть успешно решена инструментами МССО, позволяющими свести ошибку определения положения максимума интенсивности в изображении точечного источника к дифракционному пределу $\pm 0''.001$, что недостижимо в условиях атмосферы. Причем, ценой весьма малых затрат ресурсов аппаратов и с получением наблюдений, в разы превосходящих в эффективности, точности и проницании их наземные аналоги.

Согласно Гауссу, для определения эллиптической орбиты небесного тела достаточно выполнить три измерения его положения на возможно более широкой дуге. Орбита будет определена еще точнее, если наблюдений будет четыре – в окрестностях точек орбиты, в которых величина эксцентрической аномалии кратна 90° . Такие данные оптимальны и для улучшения орбиты уже известного объекта, если не требуется ускорить процесс улучшения. Если время для трех–четырех синхронных наблюдений каждого объекта не может быть меньше некоторой величины, зависящей от его яркости, то время, потраченное на переориентирование аппаратов на другой объект, можно свести к минимуму, особенно в случае, когда МССО выполняет только программу АКО.

Посмотрим, насколько эффективным может оказаться использование МССО для уточнения орбит ОСЗ. Главными факторами, определяющими точность эфемерид, основанных на построенной таким образом орбите, являются: 1) точность наблюдений, 2) распределение наблюдений по орбите и 3) интервал экстраполяции при учете возмущений.

Точность наблюдений определяется исключительно техническими параметрами телескопов и регистрирующей аппаратуры и не зависит в космосе от характеристик окружающей среды. В наших расчетах мы исходили из априорной оценки угловой погрешности одного наблюдения $\pm 0''.001$ с длиннофокусными астрографами.

Влияние третьего фактора можно свести к нулю, организовав синхронные наблюдения на каждом витке орбиты ОСЗ. Поскольку периоды обращения всех известных ОСЗ вокруг Солнца составляют от 0.5 года до 5.5 лет, ясно, что достаточно выполнить минимум три, четыре наблюдения в соответствующий период времени, подстраховавшись, однако, и увеличив это число в два-четыре раза.

Наконец, возможность удачного распределения наблюдений по орбите ОСЗ определяется исключительно взаимным расположением ОСЗ, аппаратов МССО и Солнца за все время выполнения миссии. Проницающей силы телескопов-астрографов ($V = 25^m$), расположенных вне земной атмосферы, достаточно для наблюдения на всех участках орбит астероидов и комет, и единственным фактором, ограничивающим зону наблюдений, остается наличие «зоны избегания» засветки от Солнца, исключающей из наблюдений каждого из двух аппаратов конус с осью КА \rightarrow Солнце и с углом раствора 50° . Важным фактором, влияющим на фактическую точность определения пространственных координат ОСЗ, является форма треугольника, образованного аппаратами и ОСЗ (см. Рис. 1). Все вышеперечисленные обстоятельства являются «индивидуальными» для каждого ОСЗ, зависят от времени существования миссии, и могут быть оценены только в результате численного моделирования наблюдений. Такое моделирование выполнено нами с целью ответить на вопрос: «*эффективно ли применение МССО для решения задач проблемы АКО?*» Результаты моделирования приводятся ниже.

Алгоритм вычислений

Выведенные нами формулы (1) для вычисления прямоугольных координат объекта $[x_0, y_0, z_0]$ по его наблюдаемым экваториальным координатам $[\alpha_i, \delta_i]$ имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= \frac{\cos \gamma_1 \cos \phi_2 x_1 - \cos \gamma_2 \cos \phi_1 x_2 - \cos \phi_1 \cos \phi_2 (z_1 - z_2)}{\cos \gamma_1 \cos \phi_2 - \cos \gamma_2 \cos \phi_1} \\ y_0 &= \frac{\cos \phi_1 \cos \beta_2 y_1 - \cos \phi_2 \cos \beta_1 y_2 - \cos \beta_1 \cos \beta_2 (x_1 - x_2)}{\cos \phi_1 \cos \beta_2 - \cos \phi_2 \cos \beta_1} \\ z_0 &= \frac{\cos \beta_1 \cos \gamma_2 z_1 - \cos \beta_2 \cos \gamma_1 z_2 - \cos \gamma_1 \cos \gamma_2 (y_1 - y_2)}{\cos \beta_1 \cos \gamma_2 - \cos \beta_2 \cos \gamma_1} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где (x_i, y_i, z_i) – координаты i -ого аппарата, а $(\phi_i, \beta_i, \gamma_i)$ – углы между направлениями (аппарат–объект) и осями экваториального триэдра, вычисляемые в свою очередь по формулам (2):

$$\left. \begin{aligned} \cos \phi_i &= \cos \alpha_i \cos \delta_i \\ \cos \beta_i &= \sin \alpha_i \cos \delta_i \\ \cos \gamma_i &= \sin \delta_i \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Довольно сложная зависимость среднеквадратической ошибки определяемых величин от всех исходных параметров может быть качественно проиллюстрирована рисунком 1. Этот рисунок, представляя геометрическую картину наблюдений, помогает понять, что точность определения положения ОСЗ в пространстве определяется главным образом двумя параметрами: расстоянием астероида от аппаратов (ошибка прямо

пропорциональна расстоянию) и величиной угла при астероиде (ошибка минимальна при $\varphi = 90^\circ$ и устремляется в бесконечность при приближении φ к 0° и 180°).

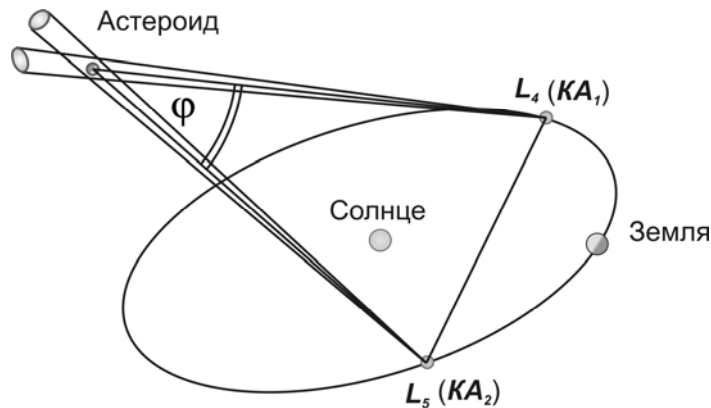


Рис. 1. Геометрическая картина наблюдений ОСЗ с бортов МССО.

Таким образом, для верхней оценки ошибки определения положения ОСЗ можно использовать следующую простую формулу: $\sigma = \max(R_1, R_2) \times \operatorname{tg}(\sigma_1) / \sin \varphi$, где σ_1 – ошибка определения направления единичной серии наблюдений в радианах, R_1, R_2 – расстояния от ОСЗ до аппаратов соответственно, – в нашем моделировании они выражены в километрах.

Моделирование наблюдений

Список ОСЗ составлен нами на основе базы данных международного Центра Малых Планет (MPC) в Гарварде (<ftp://cfa-ftp.harvard.edu/pub/MPCORB/MPCORB.DAT>). Из каталога нумерованных малых планет мы выбрали все объекты с перигелийным расстоянием меньше 1.017 а.е. и афелийным расстоянием больше 0.983 а.е. Все эти тела приближаются к орбите Земли, и столкновение их с Землей возможно. Всего в нашей выборке оказалось почти 400 объектов из списка нумерованных малых планет и более 2000 объектов из списка нумерованных малых планет. Все это – так называемые “астероиды типа Аполлона” и “астероиды типа Атона”.

Для расчета положения в пространстве тел Солнечной системы и аппаратов миссии использованы JPL Planetary and Lunar Ephemerides DE405/LE405 [5].

В качестве времени работы миссии мы выбрали шестилетний период с 1 января 2010 по 31 декабря 2015 года. Как станет ясно из анализа результатов, время начала наблюдений, вообще говоря, безразлично; продолжительность же в пять – шесть лет целесообразна. Все расчеты выполнялись с шагом по времени, равным одним суткам.

Итак, “запустив” 1 января 2010 года наблюдательную программу продолжительностью в шесть лет, мы оценили для каждого ОСЗ, с шагом по времени в одни сутки, возможность одновременного наблюдения его астрографами обоих аппаратов и, если такое наблюдение возможно, вычислили погрешность определения его пространственных координат в данных условиях.

Результаты расчетов представлены для каждого ОСЗ отдельным графиком. Каждый такой график будет иметь самостоятельную ценность при составлении реальной программы наблюдений. Здесь мы демонстрируем лишь три графика, иллюстрирующих довольно типичные результаты для астероидов с разными орбитами (Рис.2, 3).

Все графики построены по одному и тому же шаблону. В верхней части рисунка приведены идентификатор объекта в каталоге MPC, а также минимальное и максимальное расстояние от Земли за период наблюдений. По оси абсцисс отложена средняя ано-

малия. Таким образом, левый и правый концы оси соответствуют перицентру орбиты, а ее середина – апоцентру. По оси ординат отложено вычисленное значение ошибки σ единичного определения положения ОСЗ в пространстве в километрах.

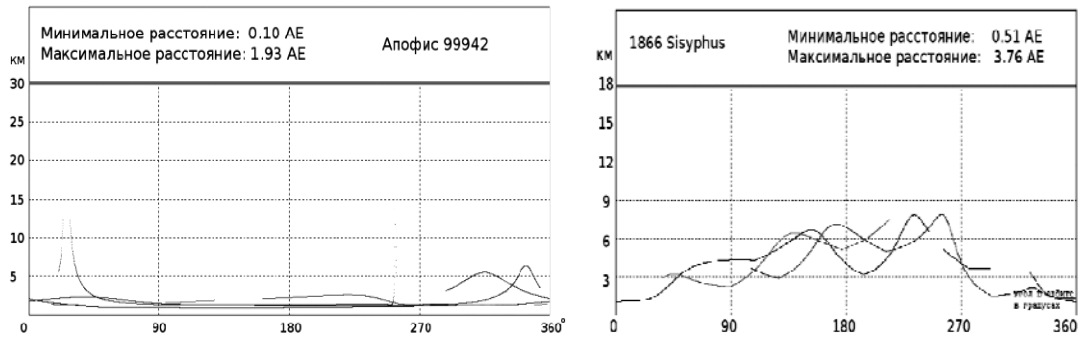


Рис. 2. Точность единичного наблюдения астероидов Апофис и Сизиф.

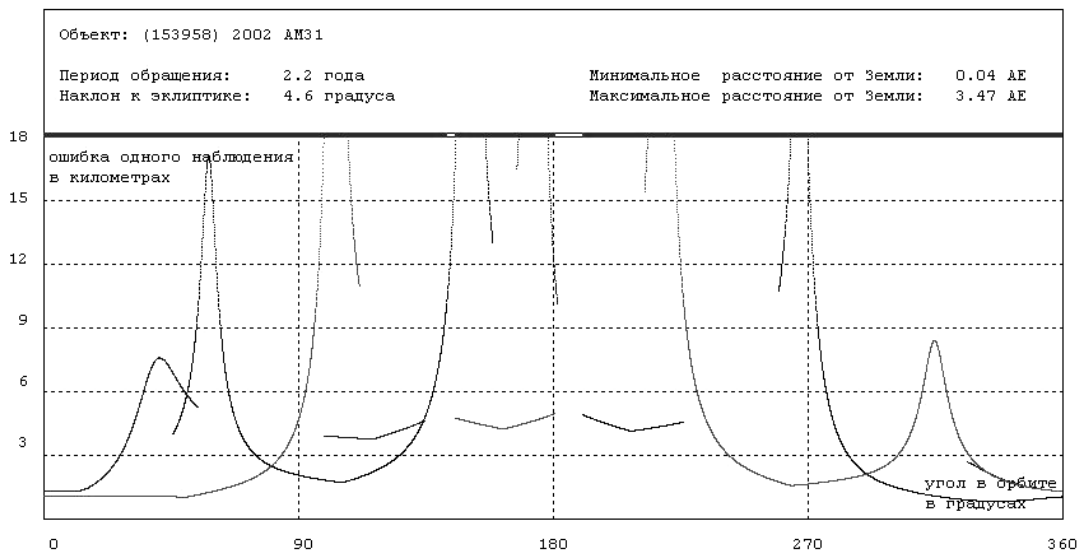


Рис. 3. Точность единичного наблюдения астероида (153958) 2002 AM31.

Короткопериодические ОСЗ успевают прочертить несколько кривых за шестилетний период наблюдений; долгопериодические – не более двух. Разрывы кривых вызваны либо засветкой от Солнца (как на рисунке 3, например) либо непомерным увеличением σ , связанным чаще всего с выстраиванием ОСЗ и аппаратов в линию, в створ.

Дискуссия и заключение

Итак, что мы имеем? Если внимательно проанализировать все графики, выясняется, что ответ на главный вопрос исследования – уверенное “ДА”! Около 10% ОСЗ может быть отнаблюдено на четырех предпочтительных участках их орбиты с точностью единичного определения от 2.5 до 3.0 км; 34% – с точностью от 3.0 до 5.0 км; 40% – с точностью от 5.0 до 10.0 км; 14% – с точностью от 10.0 до 15.0 км. Для остающихся 2% ОСЗ область апоцентра недоступна для высокоточных наблюдений, тем не менее, и для этих объектов можно найти три достаточно широко разнесенных области, подходящих для определения орбиты. Заметим также, что в случае особой необходимости наблюдения возможно вести каждым астрографом в режиме одиночного телескопа, как в наземных условиях, но с точностью на порядок более высокой. Конфигурация МССО (см. [4]) позволяет исключить «слепые» участки орбит, ненаблюдаемые с Земли.

Важно отметить также, что на графиках показаны и в тексте обсуждались до сих пор погрешности ЕДИНИЧНОГО определения положения ОСЗ в пространстве. Совер-

шенно очевидно, что всего лишь незначительное усложнение программы наблюдений (короткая серия вместо одного наблюдения) позволит без труда повысить точность еще в два–три раза. При этом определения орбит комет в первом их появлении преимущество синхронных триангуляционных наблюдений с МССО очевидно. Достаточно точная орбита кометы строится из одной серии наблюдений.

Важно отметить также, что наблюдение ОСЗ именно в указанных предпочтительных участках его орбиты обеспечивает равную точность эфемериды ПО ВСЕЙ орбите.

Наименее благополучная картина складывается для долгопериодических ОСЗ, удаляющихся от Земли на наибольшие расстояния. Ясно поэтому, что выбранная нами продолжительность работы миссии не может быть уменьшена, если мы хотим определять орбиты всех ОСЗ. Напротив, ее увеличение может оказаться весьма полезным.

Итак, преимущества проекта “Межпланетная Солнечная Стереоскопическая Обсерватория” в решении поставленной задачи очевидны. Обеспечение долговременного прогноза движения любого ОСЗ (астероида или кометы) с точностью в несколько десятков километров, причем, ценой малых затрат ресурса орбитальной обсерватории, недостижимо сегодня никакими другими методами.

Литература

1. Астероидно-кометная опасность. *А.Г. Сокольский (ред.)*, ИТА РАН, МИПАО, Санкт-Петербург, 1996.
2. *Э.И. Ягудина, В.А. Шор*. Орбита АСЗ (99942) Apophis 2004 MN4 из анализа оптических и радарных наблюдений. Тр. Всеросс. конф. АКО-2005, 3–7 октября 2005, СПб, 2005, с. 355–358.
3. *Steven J. Ostro & Jon D. Giorgini*. Radar Reconnaissance of Potentially Hazardous Asteroids and Comets. In: Mitigation of Hazardous Impacts due to Asteroids and Comets. JPL, Calif. Inst. of Technology, Dec. 26, 2002. Cambridge Univ. Press.
4. *Григорьев В.М., 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. // Опт. Журн. – 2006, т. 73, № 4, стр. 43–48.
5. *Standish, E.M., Newhall X.X., Williams J.G. and Folkner, W.F.*: 1995, "JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE403/LE403", JPL IOM 314.10–127.

MODELING OF THE ASTEROID COMET HAZARD PROBLEM IN THE INTERPLANETARY SOLAR STEREOSCOPIC OBSERVATORY PROJECT

Chubey M.S., L'vov V.N., Yagudin L.I., Tsekmejster S.D., Smirnov E.A.

Central (Pulkovo) astronomical observatory of Russian Academy of Sciences

We have performed modeling of the astrographic observations of about 400 numbered Near Earth Asteroids (NEA) and more than 2000 unnumbered asteroids of Apollo and Aten families by means of the Interplanetary Solar Stereoscopic Observatory (ISSO) astrographs, which permit to get the accuracy $\pm 0.001''$ in single observation. In our modeling we assumed ISSO operating on a 6-year interval from January 1, 2010 to December 12, 2015. For each NEA we have estimated with one day time step the opportunity of its simultaneous observation from both spacecrafts and if such observation is possible, calculated the expected error of its spatial coordinates in the given conditions.

According to our analysis about 10% of the source list objects can be observed on four optimal parts of their orbits with single observation accuracy of 2.5–3.0 kilometers; 34% – as accurate as 3.0 – 5.0 km; 40% – as accurate as 5.0 – 10.0 km; 14% – as accurate as 10.0 – 15.0 km. Only 2% can not be observed close to their aphelia. Nevertheless, the orbits of even such NEA can be significantly improved. Such result permits to produce the most precise orbits for practically all NEAs.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД В РАМКАХ ПРОГРАММЫ НАЗЕМНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЕКТА "GAIA"

Шахт Н.А., Киселев А.А., Романенко Л.Г., Грошева Е.А.

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

Исследование двойных звезд и определение их орбит и масс в Пулкове основаны как на наших долговременных астрометрических наблюдениях, так и на результатах астрометрических и астрофизических наблюдений других обсерваторий. Для получения наиболее уверенных значений орбитальных элементов и масс во многих случаях необходима дополнительная информация о параллаксах и лучевых скоростях этих звезд. Эти данные для некоторой части наших звезд имеются в каталоге Hipparcos и в других источниках, однако для многих звезд нашей программы таких данных нет. Мы возлагаем надежду на космические наблюдения, в частности, на космический комплекс Gaia. Наша работа в связи с ожидаемыми результатами этих наблюдений обсуждалась на международных конференциях, см., например, <http://www.oca.eu/tanga/GaiaEarthBased/>.

Вступление

Одной из основных задач наблюдений на 26" рефракторе ($D = 65$ см, $F = 10.4$ м, $M_0 = 19''.81/\text{mm}$) в Пулкове является исследование двойных и кратных звезд с целью получения их орбит и оценок масс, а также с целью выявления возможных невидимых спутников звездной и субзвездной массы на основе продолжительных наблюдений (см. статью Киселева и др. [1]).

По данным, полученным с помощью этих наблюдений, опубликованы два каталога: [2, 3]. Однако для получения наиболее уверенных значений динамических характеристик этих звезд во многих случаях необходимы дополнительные данные относительно параллакса и лучевых скоростей. Для некоторой части звезд нашей программы имеются наблюдения, сделанные с помощью космического аппарата "Гиппаркос", для других звезд таких наблюдений еще нет.

В то же время для большинства наших звезд в Пулковской обсерватории имеются уникальные однородные, наблюдательные ряды, в несколько раз превосходящие по времени продолжительность работы космических аппаратов. С помощью наших рядов возможно вычисление параметров движения с большой точностью. В этой статье мы даем информацию об избранных близких звездах с имеющимися и заподозренными спутниками звездной и субзвездной массы, а также о наблюдательном материале, состоящем из 166 звезд, большая часть которых измерена, но для исследования которых необходимы точные значения параллакса и лучевых скоростей.

В связи с этим мы возлагаем надежду на космические наблюдения, в частности, на космический комплекс Gaia.

Наблюдения двойных звезд в Пулкове

Большинство звезд нашей программы являются широкими парами, у которых относительное расстояние между компонентами $\rho \geq 3''$; предельная звездная величина $m_v < 12^m.0$; разность в блеске между компонентами: $\Delta m < 1^m.0$.

С учетом географического положения Пулковской обсерватории для программы были выбраны звезды со склонением $\delta \geq 30^\circ$. Из них часть звезд (около 15%) находится в северной околополярной зоне, их наблюдения представляют особый интерес, так как для них, как правило, нет регулярных рядов наблюдений на других обсерваториях.

Динамическое исследование относительного движения компонентов в широких парах производится на основе метода параметров видимого движения (ПВД), разработанного в Пулкове [1]. Существенной особенностью этого метода является возможность определения орбитальных параметров по короткой дуге видимой орбиты даже при большом ее периоде, порядка 1000 лет. Также для получения орбит широких пар мы можем воспользоваться уникальной возможностью - привлечь наблюдения наших предшественников, часто отстоящие от наших далеко по времени. Это позволяет выбрать правильную однозначную орбиту, улучшить ее и уменьшить О-С.

При этом нам необходимы точные параллаксы, которые можно получить только с помощью наблюдений из космоса, а также как можно более точные лучевые скорости компонентов.

Данный метод был неоднократно применен для определения орбит ИСЗ и астероидов из наблюдений на относительно короткой дуге орбиты (см., например, [4]).

В последнее время мы применили его к оценке массы черной дыры в центре нашей галактики в системе: черная дыра + звезда S01, вращающаяся вокруг динамического центра (см. [5]), также используя при этом относительно короткую дугу.

В таблице 1 в качестве примера мы представляем часть исследованных по нашим фотографическим наблюдениям двойных и одиночных звезд с предполагаемыми или имеющимися невидимыми спутниками, для которых космические наблюдения могут позволить уточнить орбиту фотоцентра системы: звезда + невидимый спутник. В таблице 1 даны: π – тригонометрический параллакс, σ – ошибка среднегодового положения, ΔT – общий интервал наблюдений в годах. Ссылки на приведенные в таблице 1 двойные звезды имеются в [1].

Таблица 1. Звезды с невидимыми спутниками, наблюдаемые в Пулкове на 26" рефракторе.

| No | Название | π | σ | ΔT | Результаты |
|----|-----------------------------|--------|----------|------------|---|
| 1 | ADS 5983 (δ Gem) | 0."061 | 0".020 | 35 | Выявлены возмущения от спутника с массой $0.2 M_{\odot}$ |
| 2 | Lal 21185* | 396 | 16 | 32 | Звезда с заподозренными невидимыми спутниками |
| 3 | Gliese 623* | 124 | 13 | 27 | Подтверждено присутствие спутника с массой $0.09 M_{\odot}$ с периодом 3.76 года. |
| 4 | ADS 14636 (61 Cyg) | 286 | 7 | 46 | Звезда с возможными невидимыми компонентами с периодом 6.5 и 12 лет с массами не менее $0.01 M_{\odot}$ |
| 5 | ADS 15571 | 25 | 7 | 43 | Обнаружены возмущения от спутника с периодом 23 года и массой $0.6 M_{\odot}$ |

В таблице 2 мы представляем также 15 звезд из общего списка, включающего в себя 166 объектов. Для звезд этого списка в Пулковской обсерватории имеются однородные, длительные ряды наблюдений (как правило, от 20 до 40 и более лет). С помощью этих наблюдений возможно вычисление параметров движения с большой точностью.

Таблица 2. Часть общего списка звезд, для которых необходимы точные параллаксы и лучевые скорости.

| № | №ADS | $\alpha_{2000.0}$ | $\delta_{2000.0}$ | m_A | m_B | Sp _A | Sp _B | ρ | θ | ΔT |
|----|-------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|--------|----------|------------|
| 1 | 845 | 1 ^h 01 ^m .6 | 45°35' | 9 ^m .4 | 9 ^m .9 | | | 3" | 360° | 1970-1993 |
| 2 | 1198 | 1 35.3 | 83 21 | 8.5 | 9.4 | F5 | G | 14 | 86 | 1970-2000 |
| 3 | 1918 | 2 32.3 | 54 14 | 9.1 | 9.3 | A0 | | 8 | 313 | 1968-2005 |
| 4 | 3593 | 5 01.3 | 50 15 | 8.7 | 8.7 | G | | 4 | 129 | 1970-2006 |
| 5 | 7067 | 8 55.7 | 70 48 | 7.5 | 7.6 | M0 | M0 | 4 | 54 | 1965-2005 |
| 6 | 7639 | 10 07.4 | 59 08 | 9.0 | 10.1 | K0 | | 6 | 218 | 1972-2005 |
| 7 | 8742 | 13 00.7 | 73 43 | 9.3 | 9.5 | | | 5 | 91 | 1962-2004 |
| 8 | 8861 | 13 19.5 | 35 08 | 9.0 | 10.0 | M2 | | 18 | 124 | 1971-2002 |
| 9 | 9444 | 14 56.2 | 29 28 | 8.4 | 10.0 | F8 | | 20 | 234 | 1976-2000 |
| 10 | 12031 | 19 05.3 | 38 03 | 9.3 | 9.4 | | | 6 | 12 | 1970-2005 |
| 11 | 13821 | 20 24.4 | 40 02 | 11.7 | 12.0 | | | 5 | 336 | 1970-2000 |
| 12 | 15228 | 21 31.2 | 86 52 | 8.5 | 8.7 | K0 | | 15 | 162 | 1969-2005 |
| 13 | 15229 | 21 36.9 | 82 55 | 8.5 | 9.0 | G5 | | 3 | 288 | 1971-2005 |
| 14 | 15868 | 22 20.7 | 68 28 | 9.5 | 10.0 | | | 5 | 6 | 1965-2005 |
| 15 | 16986 | 23 46.2 | 62 40 | 9.0 | 9.5 | | | 5 | 271 | 1969-2001 |

Для части этих звезд также получены предварительные орбиты. Однако для некоторых из них в настоящее время нет параллакс и лучевых скоростей, которые необходимы для определения орбиты по короткой дуге. Для них космические наблюдения позволят вычислить орбиту и оценить массу видимых, а также невидимых компонентов.

Космические наблюдения

В книге Ж. Ковалевского "Современная астрометрия" [6] отмечается, что в основном современная ситуация с двойными звездами определяется большим числом наблюдений тесных пар, полученных с помощью спекл-интерферометрии, с помощью которой легко наблюдать пары с $\rho < 0.2$ ". При этом с параллаксом Гиппаркоса можно получить новые орбиты. Таким образом, вклад Гиппаркоса в открытие двойных и кратных звезд – существенный, но продолжительность его наблюдений не позволила получить параметры значительного числа новых орбит.

Отмечается также, что роль наземной астрометрии в будущем должна рассматриваться в свете достижений космических исследований. Существенной является роль наземной астрометрии в определении нелинейной части собственных движений звезд из-за возмущения невидимыми объектами.

В области исследований двойных звезд наземная астрометрия может и должна сосредоточиться на широких парах. В этом случае, если будут точные V_t и параллаксы, мы определим массы для многих звезд, которых нам сейчас не хватает.

Отличительной особенностью проекта Gaia является спектрограф, находящийся между двумя астрометрическими телескопами. Часть спектрографа с полем зрения, $1 \times 1^\circ$ предназначена для измерений лучевых скоростей. Лучевые скорости будут определены для большинства звезд до 17-й величины с ошибкой ~ 1 км/сек.

В докладе д-ра Миньяра [7] были перечислены крупные космические проекты, выдвигаемые после Гиппаркоса, которые по тем или иным причинам (в основном финансовым) окончательно не были реализованы. Там же были упомянуты наиболее перспективные проекты, на реализацию которых есть надежда. Это JASMINE (JAP) – в

стадии разработки, SIM (US) – “задерживается, но еще жив” и проект Gaia (Global Astrometry Instrument for Astrophysics) (ESA) – полностью поддержанная миссия, одобренная Европейским Космическим Агентством в 2000 г. Последняя дата его запуска, представленная авторами проекта на момент 27.10.2008 – декабрь 2011 года.

Следует отметить, что среди упомянутых проектов Gaia – единственный космический инструмент, который будет определять лучевые скорости. Благодаря этому в результате работы миссии Gaia будут получены положения и скорости звезд в трехмерном пространстве – данные, которые позволят изучать кинематику и динамику звезд Местной системы.

Ожидаемые результаты

В соответствии с прогнозом миссии Gaia будут получены положения звезд от 6 до 13 величины с ошибкой порядка 4-6 μas , а также параллаксы и собственные движения таких же звезд с ошибками 8 μas и 5 μas соответственно. Лучевые скорости будут определены для большинства звезд до 17^m с ошибкой ± 1 км/сек.

Согласно методу ПВД [1] для физической пары в случае наблюдений короткой дуги получаем оценку суммы масс компонентов $M_1 + M_2$:

$$M_1 + M_2 \geq 0.0127 \frac{\rho (\Delta\mu)^2}{\pi^3}$$

Здесь ρ и $\Delta\mu$ – выраженные в сек. дуги относительное расстояние и относительное собственное движение компонентов В и А вблизи среднего момента наблюдений, π – параллакс, M_1, M_2 – массы компонентов в единицах массы Солнца.

В случае если определена эллиптическая орбита, согласно закону Кеплера:

$$M_1 + M_2 = \frac{a^3}{\pi^3} P^{-2} .$$

Здесь a – большая полуось в сек. дуги и P – период обращения в годах. В обоих случаях, как видим, относительная ошибка суммы масс, по крайней мере, в три раза больше относительной ошибки параллакса:

$$\frac{\Delta(M_1 + M_2)}{M_1 + M_2} \geq 3 \frac{\Delta\pi}{\pi}$$

Таким образом, для наиболее далеких звезд нашей программы, у которых $\pi = 0.''010$ относительная ошибка суммы масс составит 0.3%.

В нашем случае для исследования двойных звезд и определения их орбит нам необходима также высокая точность относительной лучевой скорости, а именно, разности лучевой скорости компонентов А и В: $\Delta V_r = V_{r(A)} - V_{r(B)}$.

Эта точность должна соответствовать точности определения относительных собственных движений $\Delta\mu$, получаемых из наших наблюдений.

Приведем следующий пример. Для определения орбиты и массы близкой двойной звезды 61 Лебеда ($\pi = 0.''286$) по 39-летнему ряду пулковских наблюдений Горшановым и др., [8] было получено относительное собственное движение компонентов – $\Delta\mu$ и движение центра масс системы – μs с ошибкой $\pm 0.''0005$. Дополнительно использовались лучевые скорости V_r , полученные другими авторами с помощью наземных средств. При этом ошибки V_r составляли ± 0.1 км/сек.

Расчеты показывают, что для далеких пар нашей программы при точности определения $\Delta\mu$, характеризуемой ошибкой $\pm 0''.001$, допустима ошибка определения разности лучевых скоростей, составляющая ± 5 км/сек. Для близких звезд эта ошибка должна быть по крайней мере на порядок меньше.

В таблице 2 приведены двойные звезды, для которых получены большие ряды наблюдений в Пулкове (ΔT в годах), но нет точного определения параллакса. Некоторые из них не имеют также оценок спектрального класса. Среди общего списка звезд имеются тройные системы, представляющие интерес с точки зрения небесной механики. Часть звезд расположена в северной околополярной области. Наблюдения этих звезд в Пулкове являются в значительной степени уникальными.

Выводы

С помощью наблюдений космических телескопов типа Gaia, обеспечивающих точные положения и параллаксы, мы сможем уточнить долгопериодические орбиты наших звезд (от нескольких сот до несколько тысяч лет у широких пар). Тем самым наблюдения с помощью Gaia позволят уточнить орбиты и массы как видимых, так невидимых компонентов этих звезд. Это расширит информацию о родительских звездах в случае, если впоследствии у них будут найдены планетные компоненты, а также, если у этих звезд будут обнаружены спутники звездной или субзвездной массы. Однако точность наземных наблюдений лучевых скоростей отдельных звезд может превосходить космические наблюдения. Известно, что при исследовании звезд с планетоподобными спутниками используются наземные спектроскопические наблюдения, при которых точность определения лучевой скорости достигает 3 м/сек. [9]. Возможно, что за следующие несколько лет нам удастся найти также какие-то альтернативные способы получения лучевых скоростей.

В любом случае мы старались привлечь внимание к нашей программе. Результаты наших наблюдений, описание программы, часть списка наших звезд и методы обработки были представлены на международных конференциях, посвященных проекту Gaia [10, 11] (Франция, 2006 и 2008 г.г.), а также на Первой международной конференции "Космические технологии" (Греция, 2009 г.) [12].

Литература

1. *А.А. Киселев и др.* (см. настоящий сборник).
2. *А.А. Киселев, О.А. Калиниченко, Г.А. Плюгин, и др.* – Каталог относительных положений 200 визуально-двойных звезд по наблюдениям на 26" рефракторе с 1962 по 1987 гг. – Ленинград – Наука – 39 с., 1988.
3. *А.А. Киселев, О.А. Калиниченко, О.В. Кияева и др.* – Каталог относительных положений визуально-двойных звезд по наблюдениям на 26" рефракторе Пулковской обсерватории – <http://www.puldb.ru/>, 2006.
4. *А.А. Киселев, О.П. Быков, АЖ*, т.50, № 6, с.1298-1308, 1973.
5. *A.A. Kisselev et al.*, Astronomy Reports, v. 51, 2, p. 100-108, 2007.
6. *Ж. Ковалевский*, в книге "Современная астрометрия", 480 стр., 2004.
7. *F. Mignard*, <http://www.oca.eu/tanga/GaiaEarthBased/>, 2008.
8. *D.L. Gorshanov., N.A. Shakht., A.A. Kisselev.*, Astrophysics. v.49, 3, p.386-396, 2006.
9. *M. Mayor, D. Quelos*, Nature, v. 378, p. 355, 1995.
10. *N.A. Shakht, A.A. Kisselev*, Planetary Sp Sci, 2478, v. 56, 14, p.1903-1907, 2008.
11. *A.A. Kisselev, N.A. Shakht, E.A. Grosheva, L.G. Romanenko*, <http://www.oca.eu/tanga/GaiaEarthBased/>, 2008.
12. *N.A. Shakht, et al.*, Proc. of Intern. Conf. "Space Technology" (Thessaloniki, Greece, 24-26 Aug. 2009), №37, (ISBN 978-1-901725-88-4), 2009.

**INVESTIGATION OF DOUBLE STARS IN THE PROGRAM
OF EARTH SUPPORT OF "GAIA" PROJECT**

Shakht N.A., Kisselev A.A., Romanenko L.G., Grosheva. E.A.

Investigation of double stars and determination of their orbits and masses are based both on our long-term astrometric observations at Pulkovo, and on results of astrometric and astrophysical observations of other observatories. In many cases the additional information about parallaxes and radial velocities is necessary for the most precise values of orbital elements and masses. These data for some part of our stars are available in catalogue Hipparcos and in other sources, however for many stars of our program such data is not present. We hope for space observations, in particular, for space project Gaia. Our work in connection with expected results of these observations was discussed at the international conferences, see, for example, <http://www.oca.eu/tanga/GaiaEarthBased/>.

АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ САТУРНА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА 26-ДЮЙМОВОМ РЕФРАКТОРЕ В ПУЛКОВЕ В ПЕРИОД 1995–2007 гг.

Киселева Т.П., Измайлов И.С., Калининченко О.А., Васильева Т.А.
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

1. Введение

Астрометрические наблюдения системы спутников Сатурна в Пулковской обсерватории были начаты на 30-дюймовом рефракторе Германом Струве в конце XIX века и продолжались примерно до 1920 года. Наблюдения были возобновлены в 1972 г. на 26-дюймовом рефракторе и Нормальном астрографе и продолжаются по настоящее время. Целью наблюдений являлось определение точных координат восьми главных спутников Сатурна. 26-дюймовый рефрактор имеет диаметр объектива 650 мм, фокусное расстояние 10413 мм, поле 30×30 угловых минут, масштаб 19.81 "/мм). До 1994 г. производились только фотографические наблюдения, а с 1995 г. начались регулярные ПЗС-наблюдения с камерой ST-6 (количество пиксел 242×375 , размер поля $170'' \times 129''$, размер пиксел $0.46'' \times 0.53''$). Фотографические наблюдения также продолжались параллельно с ПЗС-наблюдениями вплоть до 2007 г. Наблюдения с ПЗС-камерой ST-6 продолжались с 1995 по 2007 гг., в 2007 г. на телескопе была установлена новая ПЗС-камера FLI ProLine 09000 ($12' \times 12'$, 3056×3056 px, $1 \text{ px} = 0.24''$).

Астрометрические наблюдения спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе охватывают два периода: с 1972 по 1984 гг. и с 1994 по 2007 гг. Результаты наблюдений первого периода, представляющие собой однородные ряды относительных положений «спутник – планета» и «спутник – спутник» (1-й – 6-й, 8-й спутники), представлены в пулковской базе данных наблюдений тел Солнечной системы и доступны в INTERNET'e по адресу www.puldb.ru. Переход на новый метод регистрации наблюдений с помощью ПЗС во втором периоде позволил увеличить внутреннюю точность результатов, повысить проникающую силу телескопа, в связи с чем удалось наблюдать слабый спутник Сатурна – Гиперион. Однако фотографический метод регистрации в эти годы еще не утратил своего важного значения, связанного с возможностью измерять одновременно большее количество спутников одновременно, чем на ПЗС-камере, вследствие значительно большего поля фотографии. Поэтому фотографические наблюдения во втором периоде производились параллельно с ПЗС-наблюдениями (иногда в одни и те же ночи). Данная работа представляет анализ результатов фотографических и ПЗС-наблюдений второго периода – с 1995 по 2007 гг. – и их сравнение. Списки относительных положений 1–8-го спутников Сатурна опубликованы в работах [1–8] и представлены в пулковской базе данных.

2. Наблюдения

В период 1994.08 – 2007.04 наблюдения проводились в течение 2–5 месяцев относительно 13 противостояний Сатурна на зенитных расстояниях от 44 до 70 градусов. Всего наблюдательных ночей было: 126 фотографических и 70 ПЗС-наблюдений. Получено 157 пластинок и 89 серий ПЗС-кадров. Определено 1052 фотографических положений и 162 ПЗС относительных положений вида «спутник – спутник».

2.1. Фотографические наблюдения

Фотографические наблюдения производились в каждую ясную ночь по 1–2 пластинкам (NP-27). При наблюдениях использовался светофильтр ЖС-18 непосредствен-

но в кассетах перед фотопластинкой. Таким образом, при фотовизуальном объективе телескопа обеспечивалась спектральная полоса пропускания с максимумом 5500 Å. На каждую фотопластинку фотографировались 6–10 экспозиций системы Сатурна длительностью 1–2 минуты. Изображения самого Сатурна при этом получались передержанными. Кроме цепочки изображений системы спутников в начале и в конце наблюдений фотографировались следы спутников на суточной параллели в виде двух экспозиций – для определения параметра ориентировки фотографий. Метод наблюдений обусловлен применением для астрометрической редукиции метода «след-масштаб». Геометрический масштаб телескопа, использующийся для редукиции измерений фотографий в методе «след-масштаб», был получен на основании ранее выполненных специальных исследований (19.8078 "/mm). Определялись также экваториальные координаты спутников (абсолютные) в тех случаях, когда на фотографиях получались опорные звезды современных каталогов (TYCHO-2 и UCAC-2). При редукиции учитывалась дифференциальная рефракция.

2.2. ПЗС-наблюдения

ПЗС-наблюдения были начаты в 1994 г. после установки и исследования матрицы ST6. Наблюдения производились сериями по 10 и более кадров с экспозициями от 30 до 60 секунд. Наблюдались все 8 главных спутников Сатурна. При наблюдениях использовалась комбинация светофильтров синего и желтого, дающая полосу пропускания в видимой части спектра V около 5500 Å. До 2003 г. для астрометрической редукиции ПЗС-измерений использовался метод «след-масштаб» подобно тому, как это делалось при обработке фотографических наблюдений. Была произведена калибровка ПЗС-матрицы с определением параметров масштаба и ориентировки. После 2003 г. был применен новый метод редукиции, использующий наблюдения контрольных звезд космического каталога Tycho-2, расположенных по небу в непосредственной близости от наблюдаемых объектов. При определении центров ПЗС-изображений наиболее подходящей моделью, представляющей форму ПЗС-изображений, оказалась модифицированная модель Моффата

$$I(x,y) - I_F = 1/[A(x - x_0)^2 + B(y - y_0)^2 + C] + D$$

Здесь $I(x,y)$ – отсчеты интенсивности – числа, пропорциональные суммарному заряду, накопленному в данном пикселе с координатами x, y , I_F – средняя интенсивность фона для данной матрицы; x_0, y_0 – координаты центра изображения; A, B, C, D – параметры модели.

Результаты определения взаимных расстояний между спутниками по каждой серии ПЗС-кадров усреднялись.

3. Сравнение результатов фотографических и ПЗС-наблюдений

В результате обработки фотографических и ПЗС-наблюдений 1995-2007 гг. получены относительные координаты спутников вида «спутник минус спутник» ($S_i - S_j$):

$$X_{ij} = \Delta\alpha \cos \delta = (\alpha_i - \alpha_j) \cos \delta, \quad Y_{ij} = \Delta\delta = (\delta_i - \delta_j)$$

Каждый результат представляет собой среднее по серии ПЗС-наблюдений или по пластинке.

Результаты наблюдений сравнивались с эфемеридами, вычисленными на основе теории TASS 1.7 [9] с помощью средств вычисления эфемерид MULTI-SAT [10], доступных в Интернете по адресу <http://lnfm1.sai.msu.ru/neb/nss/servicer.htm/>.

В таблице представлены результаты оценок внешней точности на основе сравнения наблюдений с теорией TASS 1.7. $(O-C)_{x,y}$ – средние значения за весь период, $(rms)_{x,y}$ – корень квадратный их суммы квадратов $(O-C)$ по X и по Y , $\sigma_{x,y}$ – средне-

квадратичные ошибки наблюдений, вычисленные по уклонениям (O-C) относительно их линейного представления. Величины $(rms)_{x,y}$ включают не только случайные, но и систематические ошибки, поэтому они могут быть больше по величине, чем величины $\sigma_{x,y}$, характеризующие только случайные ошибки.

Таблица. Оценка внешней точности наблюдений.

| Источник, Спутники | Метод наблюдений | $(O-C)_x$ arcsec | $(O-C)_y$ arcsec | $(rms)_x$ arcsec | $(rms)_y$ arcsec | σ_x arcsec | σ_y arcsec |
|--|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Пулково, S1 - S6, S8 | Фото | -0.011 | 0.004 | 0.110 | 0.138 | 0.111 | 0.133 |
| | | -0.042 | -0.065 | 0.144 | 0.200 | 0.119 | 0.147 |
| Пулково S3 - S6, S7 S8 | ПЗС | 0.021 | -0.005 | 0.114 | 0.129 | 0.110 | 0.120 |
| | | 0.006 | -0.045 | 0.283 | 0.220 | 0.180 | 0.170 |
| | | -0.008 | -0.013 | 0.145 | 0.165 | 0.150 | 0.123 |
| Бразилия Veiga S1 - S6 S7 S8 | ПЗС | 0.007 | -0.011 | 0.113 | 0.104 | 0.119 | 0.103 |
| | | 0.191 | 0.143 | 0.218 | 0.173 | 0.105 | 0.099 |
| | | -0.178 | 0.084 | 0.181 | 0.088 | 0.036 | 0.026 |
| | | | | | | | |

Средние значения (O-C) для ПЗС и фото наблюдений близки к нулю. Этот результат свидетельствует об удовлетворительном соответствии наблюдений и теории в смысле систематических ошибок для 1–6-го спутников. 7-й и 8-й спутники показывают заметные уклонения от теории. В случайном отношении внешняя точность ПЗС и фото наблюдений практически одинакова. Внешняя точность наблюдений в значительной степени зависит от искажений, вызванных атмосферными факторами.

Для сравнения пулковских наблюдений с зарубежными в таблице представлены также результаты наблюдений спутников Сатурна, выполненные в Бразилии С.Н. Veiga и др. [11] в 1995-1999 гг. Эти результаты показывают хорошее согласие с пулковскими результатами.

Анализ (O-C) позволяет оценить возможные систематические ошибки наблюдений, возникающие при недостаточной точности основных параметров астрометрической редукции – масштаба и ориентировки. Были построены графики зависимости $(O-C)_x$ от расстояний между спутниками по координате X – для фотографических и ПЗС-наблюдений, характеризующие точность масштаба, и зависимости $(O-C)_y$ от X, характеризующие точность ориентировки. Эти зависимости представлены на рисунках 1 и 2 для фотографических и ПЗС-наблюдений. Анализ рисунков показывает отсутствие каких-либо заметных систематических ошибок в наблюдениях.

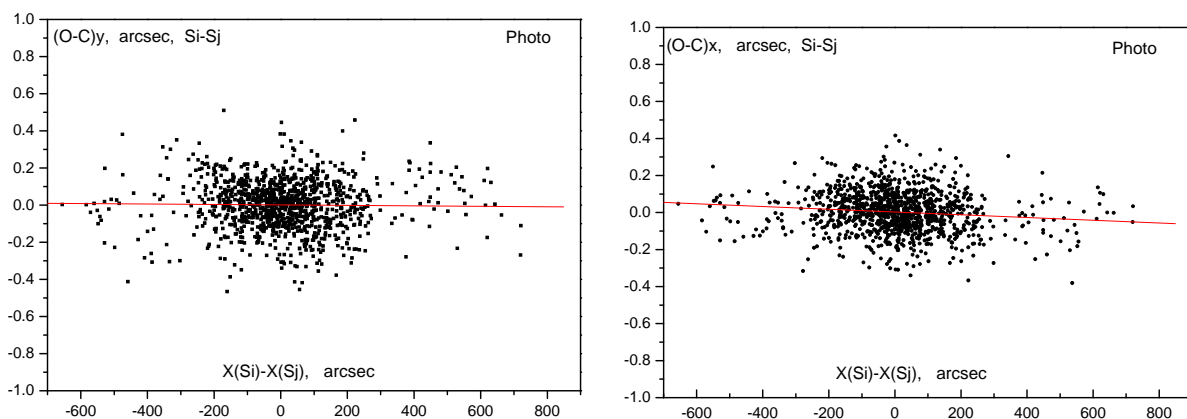


Рис. 1. Фотографические наблюдения. Зависимость $(O-C)_x$ и $(O-C)_y$ от расстояния между спутниками по X.

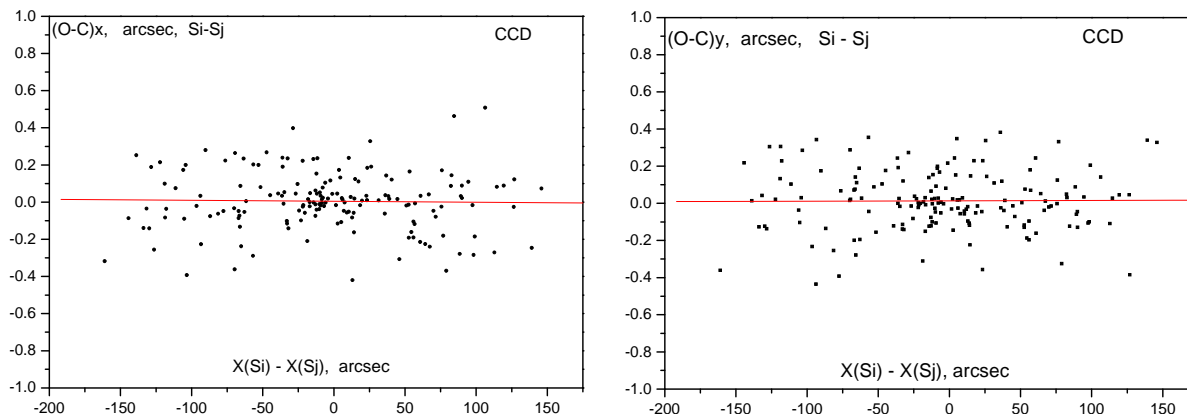


Рис 2. ПЗС-наблюдения. Зависимость $(O-C)_x$ и $(O-C)_y$ от расстояния между спутниками по X.

4. Внутренняя точность наблюдений

По сходимости результатов внутри серий ПЗС или пластинок при фотографических наблюдениях, содержащих до 10 отдельных экспозиций системы спутников, были вычислены внутренние ошибки наблюдений. Значения этих ошибок равны $0.054''$ по X и Y для фотографических наблюдений и $0.014''$ для ПЗС-наблюдений по обеим координатам. Как видим, внутренняя точность ПЗС-наблюдений почти в 4 раза выше точности фотографических наблюдений. Однако внешняя точность практически одинакова для ПЗС и фотографических наблюдений. Внутренняя точность зависит от качества изображений спутников и способа их измерений. Внешняя точность наблюдений зависит в значительной степени от искажений, вызванных атмосферными факторами, а также от влияния цветовых и яркостных характеристик системы «телескоп + атмосфера + приемник».

5. Сравнение одновременных наблюдений и оценка точности теории

Поскольку фотографические и ПЗС-наблюдения выполнялись в близкие или иногда в одни и те же ночи, возможно было сравнить результаты таких почти одновременных наблюдений, разделенных промежутком времени не более одного часа (в одни и те же ночи). Таких наблюдений пар спутников оказалось 14. Сравнение $(O-C)$ для одновременных наблюдений дало следующие результаты (по двум координатам).

$$\begin{aligned} \text{Средние разности } (O-C)_{\text{ПЗС}} - (O-C)_{\text{ФОТО}}: & \quad 0.015'' \pm 0.031''; \quad -0.054'' \pm 0.025'' \\ \text{СКО одного ПЗС или ФОТО наблюдения:} & \quad \pm 0.081'', \quad \pm 0.067'' \end{aligned}$$

Величины СКО (средние квадратические ошибки) наблюдений одной пары спутников 0.081 и 0.067 представляют внешнюю точность относительных положений, не зависящую от ошибок теории, так как в разностях $(O-C)_{\text{ПЗС}} - (O-C)_{\text{ФОТО}}$ ошибки теории исключаются.

Внешние ошибки теории TASS 1.7 согласно представлению наших наблюдений получаются равными $0.077''$, $0.115''$ (для относительных координат спутников). Эти величины удовлетворительно согласуются с величинами ошибок теории согласно оценке авторов теории TASS 1.7 [10]:

$$0.070'' \text{ для } S1 - S6; \quad 0.150'' \text{ для } S7 \text{ и } S8$$

6. Определение положений Сатурна по наблюдениям его спутников

Регулярные наблюдения спутников планет, и в частности, Сатурна, позволяют определять положения самой планеты, не измеряя ее изображений на фотографиях или ПЗС-кадрах. Преимущество этого метода определения координат планет по сравнению

с классическими методами, когда непосредственно измеряются изображения планет, заключается в том, что в этом методе исключаются такие трудно учитываемые систематические ошибки, которые связаны с фазой или с протяженной фигурой планеты (кольца в случае Сатурна), или с неоднородностью яркости диска планеты. Для определения положения планеты достаточно иметь в поле зрения телескопа на фотопластинке или в поле ПЗС-кадра хотя бы одну звезду (или больше) с достаточно точными координатами из космического или другого современного высокоточного каталога, а также измерить расстояния между спутниками планеты и звездами. Необходимым условием также является наличие достаточно точных эфемерид спутников. Современные теории движения спутников Сатурна (TASS 1.7. и др.) имеют точность около 0.070–0.100 arcsec. Точность координат Сатурна, определяемых таким методом, определяется, следовательно, точностью эфемерид спутников в сатурноцентрических орбитах, точностью координат звезд и точностью измерений. По нашим наблюдениям спутников 1995–2007 гг. определены 53 положения Сатурна за этот период времени с ошибками одного наблюдения 0.121", 0.105" по прямому восхождению и склонению [6], вычисленными на основе сравнения с теорией DE405.

7. Анализ результатов наблюдений 6-го, 7-го и 8-го спутников

Сравнение с теорией результатов наблюдений 7-го и 8-го спутников показало заметно большее отклонение от эфемериды, чем для результатов остальных спутников, 1-го – 6-го. Была предпринята попытка выяснить причину этого явления путем рассмотрения зависимости (O-C) для трех спутников: 6-го, 7-го и 8-го от их положений в сатурноцентрической орбите. Расстояния спутников от центра Сатурна были взяты из эфемериды на моменты наблюдений. Для 6-го спутника использовались только разности координат 6-го и 4-го спутника, для 7-го и 8-го спутников использовались все разности координат (относительно всех других спутников). Зависимости (O-C)_{x,y} для 7-го и 8-го спутников проиллюстрированы на рисунках 4 и 5. По горизонтальной оси отложены расстояния спутников от центра Сатурна по координате X, по вертикальной оси (O-C)_x и (O-C)_y. 6-й спутник (Титан) не обнаружил заметных систематических отклонений в орбите около Сатурна (рис. 3). Заметное систематическое отклонение наблюдается для 7-го спутника (Гипериона), причем по обеим координатам. Это обстоятельство может указывать на неточность некоторых параметров орбиты 7-го спутника.

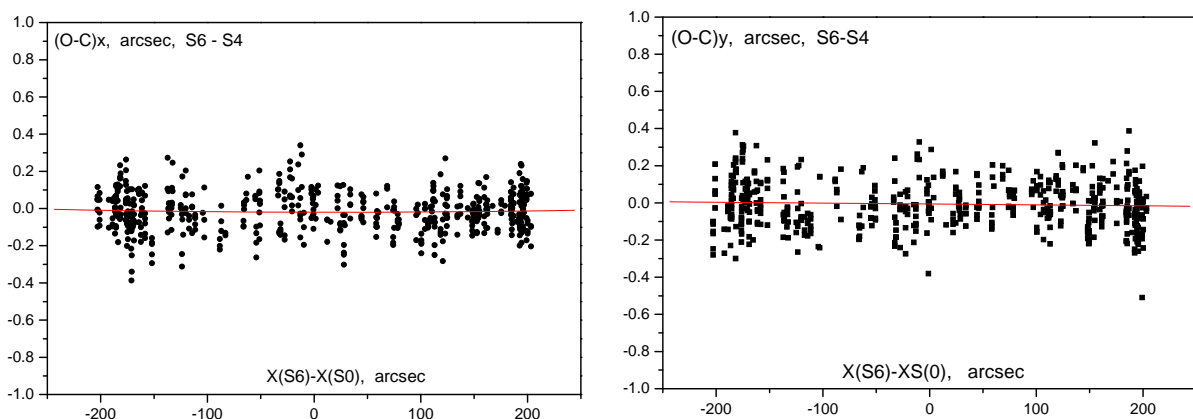


Рис. 3. Зависимость (O-C)_{x,y} для 6-го спутника от положения в видимой сатурноцентрической орбите.

Для исследования особенностей движения 8-го спутника, Япета, были использованы три вида координат, полученных на большом интервале времени: абсолютные

(звездные) координаты Япета в период 1972-2007 гг., сатурноцентрические координаты в период 1977-1995 гг. и все взаимные координаты (разности координат 8-го спутника

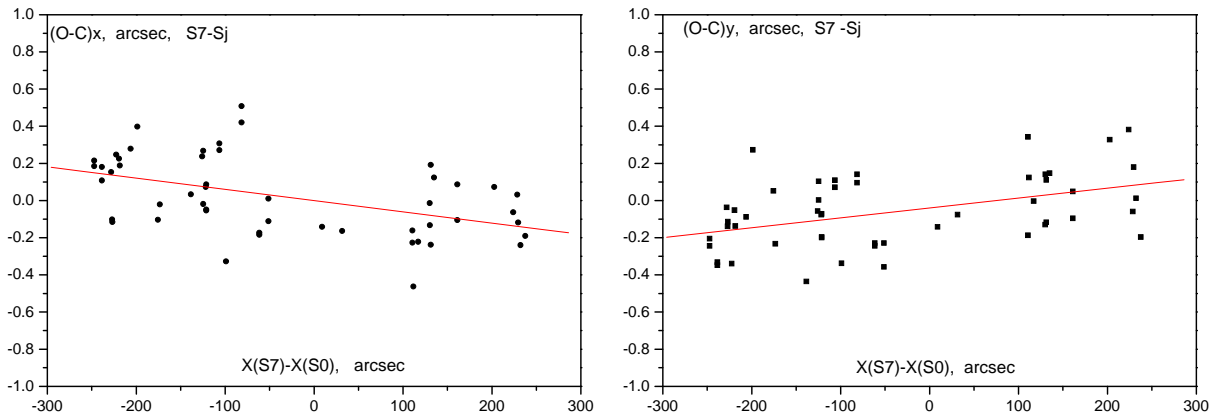


Рис. 4. Зависимость $(O-C)_x$, $(O-C)_y$ для Гипериона от положения спутника в сатурноцентрической орбите.

и всех остальных) за весь период наблюдений. Были рассмотрены $(O-C)$ всех наблюдений в зависимости от положения Япета в видимой сатурноцентрической орбите. На рисунке 5 представлены зависимости $(O-C)$ для абсолютных координат Япета (прямые восхождения и склонения) от положения спутника в видимой сатурноцентрической орбите. Графики показывают существование некоторой волны в ходе $(O-C)$, что указывает на наличие особенностей в движении Япета, не учтенных в теории его движения. Для других видов координат: взаимных (то есть «спутник 8-й минус все спутники») и сатурноцентрических координат Япета зависимости $(O-C)$ очень похожи и потому в данной работе не приводятся.

Япет вращается вокруг своей оси синхронно с обращением вокруг Сатурна. Два полушария Япета лобовое (по орбитальному движению) и заднее сильно различаются по яркости: альbedo темного полушария равно 0.08 (лобовое), альbedo светлого полушария равно 0.65 (заднее). Вследствие этого значительно различаются звездные величины Япета в восточной (E) и западной (W) элонгациях: 12 и 10 зв. величины. (Видимый диаметр спутника = 0.19"). По-видимому, это свойство поверхности Япета оказывает влияние на наблюдаемые астрометрические положения спутника, как относительные, так и абсолютные, вызывая систематическое уклонение $(O-C)$ в виде волны с амплитудой около 0.10" – 0.15".

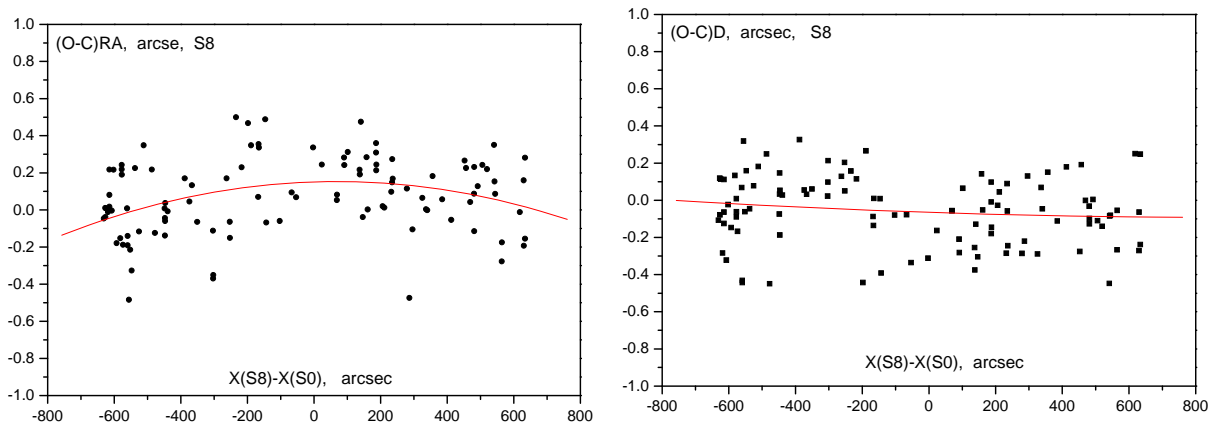


Рис. 5. Япет, абсолютные координаты. Зависимость $(O-C)_{RA}$, $(O-C)_D$ от положения спутника в видимой сатурноцентрической орбите.

Выводы

В 1995–2007 гг. в Пулковской обсерватории на 26-дюймовом рефракторе выполнены параллельные ряды фотографических и ПЗС-наблюдений восьми главных спутников Сатурна. Получены абсолютные и относительные координаты спутников и Сатурна с высокой точностью.

Анализ наблюдений на основе сравнения с теорией TASS 1.7. показал отсутствие систематического различия ПЗС и фотографических наблюдений, высокую внутреннюю точность наблюдений и одинаковую внешнюю точность фотографических и ПЗС-наблюдений на уровне мировых современных наблюдений спутников Сатурна. Этот результат свидетельствует, что наибольшее влияние на внешнюю точность наблюдений оказывают атмосферные факторы, искажающие качество изображений, а также недоучет рефракции, атмосферная дисперсия, зенитные расстояния и другие условия наблюдений.

Опыт фотографических наблюдений спутников планет послужил основой для освоения ПЗС-наблюдений и разработки методики.

Оценка точности теории TASS 1.7. показала, что пулковские наблюдения представляются теорией с точностью 0.077", 0.115" (по прямому восхождению и склонению).

Наблюдения Гипериона и Япета обнаруживают систематические отклонения от эфемериды, свидетельствующие о неточности некоторых параметров теории движения этих спутников.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 07-02-00235-а.

Литература

1. *Киселева Т.П., Калиниченко О.А.* Результаты фотографических наблюдений спутников Сатурна в Пулкове в 1994-1998 гг. // Известия ГАО в Пулкове, № 214, С.344-355.
2. *Киселева Т.П., Калиниченко О.А.* Результаты фотографических наблюдений спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове в 1999-2001 гг. // Известия ГАО в Пулкове, 2002, № 216, С.185-190.
3. *Киселева Т.П., Калиниченко О.А.* Результаты фотографических наблюдений Сатурна и его спутников в 2004-2005 гг. на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове. // Известия ГАО в Пулкове, 2006, № 218, с. 108-116.
4. *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. // Известия ГАО в Пулкове, 2004а, № 217, С.286-291.
5. *Киселева Т.П., Калиниченко О.А., Можяев М.А.* Фотографические наблюдения спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе в 2001-2003 гг. в Пулкове. Определение координат Сатурна по наблюдениям его спутников. // Известия ГАО в Пулкове, 2004б, № 217, С.297-305.
6. *Киселева Т.П., Калиниченко О.А., Васильева Т.А.* Результаты фотографических наблюдений Сатурна и его спутников на 26-дюймовом рефракторе Пулковской обсерватории в 2005-2007 гг. // Известия ГАО в Пулкове, 2009а, № 219. В печати.
7. *Киселева Т.П., Измайлов И.С.* Результаты ПЗС-наблюдений главных спутников Сатурна с ПЗС-матрицей ST6 на 26-дюймовом рефракторе Пулковской обсерватории в 1995-2007 гг. // Известия ГАО в Пулкове, 2009б, № 219, вып.1. В печати.
8. *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. // Известия ГАО в Пулкове, 2004в, № 217, С. 292-296.
9. *Vienne A., Duriez L.* TASS 1.6: Ephemerides of the major Saturnian satellites.// A&A, 1995, v.297, p.588.

10. *Emelianov N.V., Arlot J.E.* The natural satellites ephemerides facility MULTI-SAT. // *A&A*, 2008, 487, 759-765
11. *Veiga C.H., Viera Martin R., Vienne A., Thuillot W., and Arlot J.-E.* CCD astrometric observations of Saturnian satellites. // *A&A*, 2003, 400, 1095-1101.

**THE ASTROMETRIC INVESTIGATIONS OF THE SATURNIAN SYSTEM
BY THE OBSERVATIONS WITH 26-INCH REFRACTOR OF PULKOVO OBSERVATORY
IN THE PERIOD 1995-2007**

Kiseleva T.P., Izmailov I.S., Kalinichenko O.A., Vasilieva T.A.

The Main (Pulkovo) astronomical observatory of RAS, Saint-Petersburg

The work was devoted to the results of the investigations and the comparison of the results of photographic observations of the Main satellites of Saturn and CCD-observations with camera ST6. The observations were carried out with the 26-inch refractor at Pulkovo observatory in 1995-2007. The comparison of the observations and the theory of motion of Saturnian satellites TASS 1.7 were taken as a basis of investigations. The average $(O-C)_{x,y}$ and the errors of observations were calculated. The same external accuracy of the photographic and CCD-observations were shown but the inner accuracy of CCD-observations is higher. The results of Pulkovo observations were in agreement with the results of the other modern observations in accuracy. The estimations of the precision of the theory were made on the basis of comparison of simultaneous observations obtained in the same nights. The mean square errors of the theory and observations are equal 0.077, 0.115 arcsec and 0.081, 0.067 arcsec correspondingly. The analysis of the dependences of $(O-C)_{x,y}$ for three satellites: 6, 7, 8 on the positions of satellites in cronocentric orbits has shown the systematic deviations for the 7-th and the 8-th satellites (Hyperion and Japetus).

The work were supported by RFBR grants, project № 07-02-00235-a.

ИСТОРИЯ АСТРОНОМИИ

НЕСБЫВШИЙСЯ ПРОЕКТ Ж. Н. ДЕЛИЛЯ «О МЕРЯНИИ ЗЕМЛИ В РОССИИ»

Богданов В.И., Малова Т.И., Медведев М.Ю.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

21 января 1737 г. на заседании Конференции Императорской (Петербургской) Академии наук первый астроном Ж.Н. Делиль «представил и зачитал» доклад «Об операциях для измерения Земли, предложенных в России», который был через 3 дня сдан «для прочтения под измененным названием “Об измерении Земли в России”». Рукопись, для ознакомления с нею, взял Х. Гольдбах. «Работа была напечатана по-французски (*Project de la mesure de la Terre en Russie*. SPb., 1737), а также в немецком переводе Х.Н. Винсгейма и в русском переводе В.К. Тредиаковского. 26 апреля из академической Книжной лавки были доставлены в Академию 18 экз. немецких переводов работы и 6 экз. французского оригинала и розданы профессорам» [1, с. 186].



Рис. 1. Ж.Н. Делиль. Гравюра К. Вестермайера, начало XIX в.

Жозеф Никола Делиль (*De L'isle, Delisle Joseph Nicolas*, 1688-1768), астроном, географ, геодезист, член Лондонского Королевского общества, Парижской, Болонской, Берлинской, Стокгольмской, Упсальской, Руанской Академий, а также Академии Леопольдины, первый профессор астрономии Петербургской Академии наук (1725-1747) и иностранный почетный ее член (1747-1748); основатель научных школ астрономии и математической картографии в России; глава астрономической обсерватории и руководитель Географического департамента; инициатор и активный участник начального этапа комплексного развития астрономических, геодезических и картографических работ и исследований с передовых ньютоновских позиций; автор проекта первого в России градусного измерения, программы составления генеральной карты Российской Империи и др. [1-7 и др.].

Помимо указанных выше публикаций [8-10], брошюра Ж.Н. Делиля на французском языке была переведена на английский и в виде статьи опубликована в журнале «*The Philosophical Transactions*», 1737, № 449 [11, п. 228]. А.И. Оснач, переводчик труда И. Тодхантера, отмечает, что единственный в России экземпляр этого перевода был утрачен во время пожара 1988 г. в Библиотеке АН СССР в Ленинграде [12, с. 638]. Но английский перевод брошюры обнаружен авторами в том же журнале за 1809 г., со ссылкой на исходную его публикацию в № 445 за 1737 г. [13]. Причины разночтений в номерах журнала выяснить до настоящего времени не удалось.

Кроме того, известно о существовании второго титульного листа в одном из экземпляров брошюры на русском языке, без указания автора, хранящемся в Российской Государственной Библиотеке под названием: «Предложение касающееся до операции земныя меры, учиненное в России и чтенное в обыкновенной Конференции Санктпетербургския Императорския Академии Наук. 1737 года. Печатано при Императорской Академии Наук, 1737 года». Этот титульный лист являлся, возможно, исходным, но в таком случае он был заменен до выхода брошюры из типографии [14, п. 1746, 1747].

Ж.Н. Делиль начинает текст брошюры с утверждения: «Нужда того в Географии и в Навигации требовала, что с самага начала надлежало стараться о мере Земли: ибо каким бы способом возможно было сочинять Ландкарты каждаго Государства, или Империи, ежели бы не означать все места, в их подлинных расстояниях, употребительными мерами в каждой Стране...» [10, с. 3]. Далее он излагает историю разногласий в вопросе о фигуре Земли; методы градусных измерений по меридианам, параллелям и по не-

большим одинаковым их дугам; результаты маятниковых измерений французской экспедиции на пути в Перу (о. Санто-Доминго (ныне о. Гаити), $\varphi \approx 18^\circ 37'$, – «пендул с секундами около двух линей короче, нежели в Париже»), Л. Делиля де ла Кройера (Архангельск, $\varphi \approx 64^\circ 34'$, – длина «простаго пендула в 3/20 линии долее нежели в Париже»); основные следствия, вытекающие из теории И. Ньютона, включая феномен «предварения равноденствий»; цели Перуанской и Лапландской экспедиций Французской Академии наук, не завершившихся ко времени предложенного Ж.Н. Делилем проекта; программу наблюдений «для совершенства Российския Географии», которая «сверх своей пользы, имеет еще приобрести высокую честь Санкт-петербургской Академии, буде бы она возмогла посредством сего труда помощь подать к разрешению толь славнаго Впроса о фигуре Земли» [10, с. 6-13].

«Надлежит начать сия Операции, – согласно Ж.Н. Делилю, – учинивши базис толь великой, коль возможно будет», который необходимо измерить «совсякою возможною исправностию», поскольку «оной долженствует быть основанием меры всех треугольников». Такой базис предлагалось измерить по льду Финского залива от Петергофа до Сестрорецких заводов. Расстояние между этими пунктами – около 20 верст, и его «можно вымерять очень исправно, особливож в нынешний год, длятого что лед весьма гладок» [10, с. 15-16]. Далее Ж.Н. Делиль отмечает необходимость создания и другого базиса «от самая середины Императорския Обсерватории, до колокольни новья Кронштатския Церькви», поскольку они «видимы одна от другой» ($L \approx 30$ верст). Полагая, что расстояние 30-40 верст может быть принято за основание всех последующих треугольников планируемой сети, он пишет: «Есть еще и Дудоровская гора, которая с Императорскою Обсерваториею, и колокольнею Кронштатския Церькви, сочинит наипольнейший треугольник для сего дела» [10, с. 16].

После утверждения Анной Иоанновной проекта Ж.Н. Делиля в начале 1737 г., начинается бурный этап его реализации. Основные ссылки на материалы по этому делу содержатся в [4, с. 39; 15]. 21 марта 1737 г. Ж.Н. Делиль доложил о первых результатах определения «действительной меры базиса» между Петергофом и Дубками [15, п. 396]. Базис был измерен в прямом и обратном ходах шестами, с плоскими медными «маковицами» на концах, длиной по 20 английских футов, связанными вместе по два и три, и железной цепью, длиной 70 футов. В докладе описаны погодные условия во время работ, методика измерений и редуцирования высот будущих пунктов триангуляции к уровню Финского залива (ледовому покрову), с использованием мерных линеек, отвесов и архитектурных сведений. Длина измеренного базиса составила 74250 английских футов [11, п. 228; 15, с. 366], а расхождение между прямым и обратным ходами на части базиса достигла всего лишь 6 футов 10 дюймов (чуть больше 2 м).

В 1739 г. работы по измерению этого базиса были повторены; создан новый базис по льду р. Невы; выполнены угловые измерения, позволившие определить треугольники: «Петергоф – Дубки – Кронштадт» и «Астрономическая обсерватория – Адмиралтейство – Петропавловская крепость», – весьма важный этап работ для реализации проекта градусных измерений и обеспечения точных триангуляционных съемок города.

Необходимость выполнения измерений в 1739 г. объясняется, по-видимому, двумя причинами. Во-первых, созданная Сенатом в конце 1736 г. Комиссия весов и мер изначально предполагала принять за основу линейных мер длину градуса меридиана. С этими целями Комиссия затребовала из Академии наук сведения о постоянстве градуса меридиана и о выражении его в английских мерах [16], о чем Ж.Н. Делиль писал ранее Петру I и, позднее, Л.Л. Блюментросту [4, с. 103-116; 6, с. 21, 24-28, 106; и др.]. 14 марта 1737 г. Ж.Н. Делиль обратился в Монетный двор с просьбой сообщить ему «истинные начала русских аршина и сажени», необходимые для сравнения с английским футом, который использовался при измерениях «со всевозможной тщательностью» точно-

го расстояния «между палатами в Петергофе и Дубках» [15, III, п. 383]. Через 9 дней, 23 марта, Академия наук направила в Комиссию весов и мер Промеморию о необходимости предоставления Ж.Н. Делилю эталонов аршина и сажени «для освидетельствования с английским футом», согласно указу Ее Императорского Величества [Там же, п. 393]. Однако, до обнаружения в Кунсткамере полуаршина Петра I и сличения его с английским футом, Комиссия весов и мер такими сведениями не располагала [Там же, п. 588]. И поскольку полуаршин Петра I по измерениям Л. Эйлера оказался больше $1\frac{1}{6}$ английского фута почти на целый дюйм [Там же, п. 592; 17-18; и др.], то, возможно, в этой связи Ж. Н. Делиль принял решение о повторном измерении базиса во французской линейной мере, принятой также в работах Перуанской и Лапландской экспедиций.

Во-вторых, помимо определения дуги меридиана, Ж.Н. Делиль планировал сначала измерить градус параллели между Петербургом и островами Даго и Озел в Эстонии [15, III, с. 368-371]. Результаты работ 1737 и 1739 гг. представлены на рис. 2-3, а перспективы (программа) дальнейших измерений описаны в [Там же, п. 396, С].

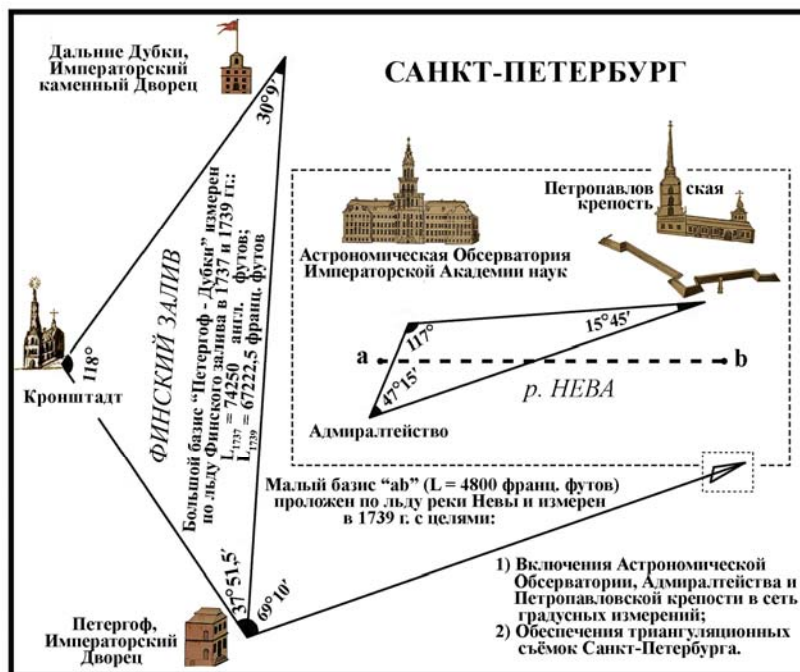


Рис. 2. Схема-коллаж линейных и угловых измерений Ж.Н. Делиля, выполненных в рамках проекта «Меряния Земли в России», в 1737 и 1739 гг.

Зарисовки пунктов триангуляции заимствованы из рукописных материалов Ж.Н. Делиля [19].

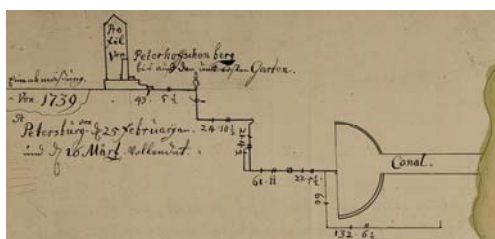


Рис. 3. Пример редуцирования высоты пункта триангуляции в Петергофе к поверхности ледового покрова Финского залива и измерения локальной линии, проложенной по льду канала в Петродворце, для последующей проекции ее на линию базиса «Петергоф – Дубки» (фрагмент плана Ж.Н. Делиля, 1739 г. [19, № 780]).

Несмотря на полученные важные результаты и детально разработанную актуальную программу дальнейших работ по градусному измерению в России, эти работы были прекращены после кончины Анны Иоанновны. В 1763 г. Екатерина II повелела вернуться к рассмотрению проекта Ж.Н. Делиля. Однако историк Г.Ф. Миллер и физик Ф.У.Т. Эпинус представили отрицательные отзывы об этих работах, «закрыв» проблему градусного измерения до середины XIX в. В частности, Г.Ф. Миллер писал, что Ж.Н. Делиль – чрезвычайно честолюбивый человек; что после отъезда французских экспедиций в Перу и Лапландию «возбудилось в нем ревнование: он желал в России

предпринять такое же измерение, дабы писали о нем в ученых ведомостях, записках и журналах»; что он ошибался, предполагая неоднозначность результатов работ по своему проекту, «кои, по его мнению, чрез измерения посланных в Перу и Лапонию французских астрономов произойти могут»¹; что измерение 20 градусов меридиана – отчасти излишне, а отчасти невозможно в непроходимых и пустых местностях. Мнение же Ф.У.Т. Эпинуса совпадало с изложенным выше в том, что реализация этого проекта связана «с непреодолимыми трудностями» [3, с. 147-148].

Причины срыва столь престижного для России проекта следует искать в обстановке, сложившейся в Петербургской Академии наук в описываемый период. Достаточно полно научные заслуги Ж.Н. Делиля, а также чинимые ему препятствия, изложены в трудах [2-4, 6 и др.]. Любопытную характеристику о занятиях Академии наук в этот период дал шведский исследователь К.Р. Берк [21, с. 13-22], отметивший, что профессора в Академии работали «ни шатко, ни валко (как и в других странах, где платят большое жалованье), не производя на свет ничего достопримечательного помимо двух томов “Commentariis Academiae” и нескольких малых начал математики, геральдики и всеобщей истории для юного императора». По его мнению, особые надежды следовало связывать с географическими работами по созданию карт и описанию России: «Месье Делиль осуществляет руководство этой работой, и для него ведутся по-французски записки в Географическом бюро. Ему помогает профессор математики г-н Эйлер – по общему мнению, человек острого ума и большой алгебраист» [21, с. 181]. К 1741 г. ситуация в Академии наук сложилась таким образом, что Ж.Н. Делиль обратился с прошением об увольнении: «Я теряю свое время и силы в России, поскольку не могу получить всего, что просил до сих пор для основательного налаживания астрономии и географии в этой Империи. Также я прошу Ваше Величество предоставить мне отпуск, так как я мог бы работать с большей пользой для Франции...» [15, IV, п. 971].

К сожалению, и в последующее время приходится сталкиваться с искажениями фактических материалов, касающихся деятельности (и личности) Ж.Н. Делиля. Например, Ф.Г.В. Струве в книге о градусном измерении XIX в. отметил, что проект «О мерянии Земли» «не имел никакого влияния на геодезические работы, произведенные впоследствии» [22, 23]. Кроме того, полагая длину проложенного по льду Финского залива базиса равной 47250, а не 74250 английских футов (согласно Ж.Н. Делилю [15, III, с. 366; 19], (рис. 2) и И. Годхантеру [11, п. 228]), Ф.Г.В. Струве заключил, что базис был измерен между Петергофом и Кронштадтом («остров Ретузари») [23, с. VIII]. Этот же вывод повторен в [12]. Действительно, Кронштадт также являлся одним из триангуляционных пунктов, однако, базис был проложен Ж.Н. Делилем между Императорскими Дворцами в Петергофе и Дальних Дубках. Отождествление точного места расположения дворца в Дубках заслуживает отдельного исследования. Петр I начал строительство его еще в ходе Северной войны вблизи Сестрорецких заводов. Впоследствии там планировалось разбить регулярный парк и провести фонтаны наподобие петергофских. К сожалению, не представляется возможным повторить работы Ж.Н. Делиля в настоящее время в таком виде, в каком они были осуществлены в первой половине XVIII в., даже с использованием современной точной техники, прежде всего, по причине перестройки или же полного уничтожения пунктов триангуляции.

В 2002 г. А.И. Оснач в кратком вступлении к тексту брошюры Ж.Н. Делиля на русском языке отметил [12, с. 638-639]: «задуманное первым нашим академиком-астрономом градусное измерение в России, одновременное с хрестоматийными экспедициями в Перу и в Лапландию», было сорвано. «Оклеветанный обвинением в хищении журналов наблюдений, лишенный обычного для академиков-иностранцев денеж-

¹ Однако, следует отметить, что ошибался не Ж.Н. Делиль, а Г.Ф. Миллер [20 и др.].

ного содержания, а вместе с ним и звания академика, Делиль вернулся на родину, в Париж, не исполнив заветной мечты “о мерянии Земли”. Огромная библиотека редчайших книг и рукописей, собранных страстным ученым-библиофилом, множество неопубликованных трудов, тысячи писем хранятся в Париже. Биография Делиля как ученого, отдавшего России 20 лет кипучей жизни с грустным итогом, до сих пор не написана».

Отметим также, что детальное исследование судьбы проекта, впервые осветившего широкий круг вопросов от идеи градусного измерения в России до метрологии натуральных измерений, – естественная, на наш взгляд, дань уважения современников масштабности замыслов и величию личности Ж.Н. Делиля.

Авторы благодарят научного сотрудника Отдела редкой книги Российской Национальной Библиотеки Г.А. Фафурина за помощь в переводе с иностранных языков рукописных и опубликованных материалов Ж.Н. Делиля.

Литература

1. Летопись Российской Академии наук. В четырех томах. Том I. 1724-1802. / Главный редактор Ю.С. Осипов, отв. редактор Н.И. Невская. – СПб: «Наука». 2002. 995 с.
2. *Свенке К.Ф.* Материалы для истории составления Атласа Российской Империи, изданного Императорскою Академиею наук в 1745 г. // Записки Императорской Академии наук. Т. IX. Приложение 2. 1866. С. III-XII, [2], 1-204.
3. *Пекарский П.П.* История Императорской Академии наук в Петербурге. Т. I. – СПб: Типография Императорской Академии наук. 1870. LXVIII, [2], 774, [1] с.
4. *Гнучева В.Ф.* Географический департамент Академии наук XVIII века / Под ред. А.И. Андреева. – М.-Л.: АН СССР. 1946. 446 с.
5. Dictionary of Scientific Biography / Charles Coulston Gillispie, Princeton University, Editor in Chief. Vol. IV. – New York: Charles Scribner's Sons. 1971. P. 22-25.
6. *Невская Н.И.* Петербургская астрономическая школа XVIII в. / Отв. ред. К.Ф. Огородников. – Л.: «Наука». 1984. 238 с.
7. *Невская Н.И.* Источники по истории астрономии России XVIII в. – СПб.: «Наука». 2000. 405 с.
8. [*De L'Isle*]. Projet de la mesure de la Terre en Russie, Lû dans l'Assemblée de l'Academie des Sciences de St. Petersburg, le 21. Janvier 1737. Par M. De L'Isle, premier professeur d'Astronomie. A St. Petersburg, de l'Imprimerie de l'Academie des Sciences. 1737. 20 p.
9. [*De L'Isle*]. Vorschlag welchergestalt durch einige im Russischen Reiche zu unternehmende Abmessungen das Maas und die wahre Gestalt der Erd-Kugel ausfündig zu machen sey. Vorgelesen den 21. Jan. 1737. in der gewöhnlichen Versammlung der Kanferl. Academie der Wissenschaften von Herrn De L'Isle der Astronomie Professore Primario. St. Petersburg, Gedruckt, bey der Kayserl. Academie der Wissenschaften 1737. 23 s.
10. [*Делиль Ж.Н.*]. Предложение о мерянии Земли в России чтенное в Конференции Санктпетербургския Императорския Академии Наук, Генваря 21 дня, 1737 года, чрез Господина дел'Иля, перваго Профессора Астрономии. Печатано при Императорской Академии Наук, 1737 года. 22 с. (Брошюра воспроизведена также в Приложении IV к переводу труда И. Тодхантера на русский язык [11, с. 642-663]).
11. [*Todhunter I.*]. Mathematical theories of attraction and the figure of the Earth, from the time of Newton to that of Laplace. By I. Todhunter, V.A., F.R.S. in two volumes – London: Macmillan and CO. 1873 (*Тодхантер И.* История математических теорий притяжения и фигуры Земли от Ньютона до Лапласа. В двух томах, в одной книге / Перевод с англ. и общая редакция А.И. Оснача. – М.: «Эдиториал УРСС». 2002. 670 с.).
12. *Оснач А.И.* Несбывшийся проект: Ж. Н. Делиль «Предложение о мерянии Земли в России» (СПб., 1737 г.) // Там же, Приложение IV, с. 638-639.
13. [*De L'Isle J.N.*]. A Proposal for the Measurement of the Earth in Russia. By Mr. Jos. Nic. de L'Isle, first Professor of Astronomy, at Petersburg, and F.R.S. 1737. № 445. P. 27 // The Philosophical Transactions of the Royal Society of London, from their commencement, in 1665, to the year 1800; with notes and biographic illustrations. – London. 1809. Vol. VIII. P. 124-134.
14. Сводный каталог русской книги гражданской печати XVIII века. 1725-1800. Т. 1. – М.: Государственная Библиотека СССР имени В.И. Ленина. 1962. 434, [2] с.
15. Материалы для истории Императорской Академии наук. – СПб: Императорская Академия наук. 1886. Т. III (1736-1738). [2], II, 898, [1] с.; 1887. Т. IV. II, 824 с.
16. *Каменцева Е.И.* Меры длины в первой половине XVIII в. // История СССР. 1962. № 4. С. 127-132.

17. *Богданов В.И., Малова Т.И.* Леонард Эйлер, наводнения Невы и морские приливы // Леонард Эйлер. К 300-летию со дня рождения / Сб. статей, ред.: В.И. Васильев, Л.И. Брылевская, М. Маттмюллер, Ж. Сезиано. – СПб: «Нестор-История». 2008. С. 221-233.
18. *Богданов В.И., Малова Т.И., Колотилин Р.А.* О точности и репрезентативности вековых обсерваторских рядов наблюдений и о мерах длины XVIII столетия в России // Настоящий сборник.
19. *Библиотека Российской Академии наук (Санкт-Петербург). Рукописный отдел.* Шифры по описям рукописных карт: 1) Основная – №№ 88, 778, 780; 2) Дополнительная – № 89.
20. *Богданов В.И.* Уроки Лапландских градусных измерений (к 300-летию со дня рождения А. Цельсия) // Наука и техника: вопросы истории и теории. Тезисы XXII конференции Санкт-Петербургского отделения Российского Национального комитета по истории и философии науки и техники. Вып. XVII. – СПб: СПб Филиал ИИЕТ РАН. 2001. С. 51-52.
21. [*Berch C.R.*]. *Rese-Anteckningar om Ryssland af C. R. Berch (egenhänd[igt])* / Рукопись, перевод и комментарии – Ю. Н. Беспятых / *Берк Карл Рейнхольд.* Путевые заметки о России // В кн.: *Беспятых Ю.Н.* Петербург Анны Иоанновны в иностранных описаниях. Введение. Тексты. Комментарии. – СПб: «БЛИЦ». 1997. С. 13-22, 111-302.
22. [*Struve F.G.W.*]. *Arc du Méridien de 25°20' entre le Danube et la Mer Glaciale, mesuré, depuis 1816 jusqu'en 1855, sous la Direction de C. de Tenner, Général D'infanterie de l'état-major impérial de Russie; Chr. Hansteen, Directeur du Département Géographique Royal de Norvège; N. H. Selander, Directeur de l'Observatoire Royal de Stockholm; F.G.W. Struve, Directeur de l'Observatoire – Central-Nicolas de Russie. Ouvrage compose sur les différents matériaux et Rédigé par F.G.W. Struve. – Publie par l'Académie des sciences de St. Pétersbourg. T. I. Opérations géodésiques entre le Danube et le Golfe de Finlande. 1860. [12], CXLIV, 334 p. T. II. Opérations géodésiques entre le Golfe de Finlande et la Mer Glaciale. 1857. VIII, 483, [3] p., 28 pl.*
23. [*Струве Ф.Г.В.*]. Дуга меридиана в 25°20' между Дунаем и Ледовитым морем, измеренная с 1816 по 1855 год под руководством К. Теннера, Генерального штаба генерала от инфантерии, Хр. Ганстена, Директора Королевского географического департамента в Норвегии, Н.Х. Зеландера, Директора Королевской обсерватории в Стокгольме, Ф.Г.В. Струве, Директора Николаевской главной обсерватории, по разным материалам составил и обработал Ф.Г.В. Струве. – СПб: Императорская Академия наук. 1861. Т. I. Геодезические операции между Дунаем и Финским заливом. [12], CXLVI, 334, [2] с.; Т. II. Геодезические операции между Финским заливом и Ледовитым морем. [10], 485 с., 2 л. таблиц, [2] с., 28 л. чертежей.

**UNREALIZED PROJECT OF J. N. DE L'ISLE
“ABOUT MEASUREMENT OF THE EARTH IN RUSSIA”**

Bogdanov V. I., Malova T. I., Medvedev M. Yu.

Central Astronomical Observatory at Pulkovo (Russian Academy of Sciences), Saint-Petersburg

At the 21 of January, 1737, the first professor of Astronomy J. N. De L'Isle presented at the Academy of sciences the Project «About measurement of the Earth in Russia». According to A.I. Osnach (2002), Russian edition of this report was not well-known among native researchers. It is clear also, that after the approval of these works by Anna Ioannovna, the measuring in Russia (which took place at the same time as expeditions to Peru and Lapland) was disrupted. According to F.G.W. Struve (1861), in 1737 J.N. De L'Isle defined the base of triangulation (13,5 versts) between Retusari and Petergof on the Finnish gulf covered with ice; next year this base-line was connected with other points. But I. Todhunter (1873) cited the letter of J.N. De L'Isle about another definition of base-line (74250 feet). N.I. Nevskaya (1984) informed about the comparison between European and Russian linear measures, made by J.N. De L'Isle. In 1763 Catherine II ordered to investigate the project of J.N. De L'Isle again. But Academicians G.F. Miller and F.U.T. Aepinus presented unpropitious subjective references, – so the problem of such a measuring in Russia was forbidden till the middle of XIX century.

VICTOR KNORRE LAST MEMBER OF THE KNORRE DYNASTY OF ASTRONOMERS – AN OVERVIEW OF HIS LIFE AND WORK

Dieter Wanderka¹, Gennadiy Pinigin²

¹*Berlin, Germany*

²*NAO, Nikolaev, Ukraine*

Introduction

Victor Carl Knorre (1840-1919) was the third in a line of three generations of distinguished astronomers, a skilful and diligent observer of numerous stars and stellar systems, talented calculator of the orbits of minor planets and comets, visual discoverer of four minor planets and a practitioner with an interest and ability in mechanical matters, which assisted him in designing new astronomical apparatus. V. Knorre was the grand-son of Ernst Christoph Friedrich Knorre (1759-1810), since 1803 appointed to the post of associate professor of mathematics and observer at the interim Observatory at Dorpat, a city located in the Russian province of Livonia (now Tartu, Estonia) and the son of Karl Friedrich Knorre (1801-1883), director of the Nikolaev Marine Observatory.

V. Knorre`s astronomical career and later life was deeply influenced by his superior and mentor Professor Wilhelm Julius Foerster (1832-1921). From the beginning V. Knorre was completely absorbed in the astrometric programmes, promoted by Foerster, and he devoted himself to these research plans with tireless efforts over a period of 33 years until his retirement. Most likely V. Knorre did not intend to pursue a career as a University Professor, which certainly was a mandatory precondition for becoming director of an observatory. He was already 33 years old when he commenced at the Berlin Observatory in 1873. While many of his colleagues chose the Berlin observatory as a convenient springboard into a higher level of an astronomical career, V. Knorre preferred to stay and spent the remainder of his professional life entirely devoted to the duties of his profession with exemplary diligence and fidelity. His scientific contributions are well documented by numerous papers of his own observations, which he mainly published in the influential astronomical journal “Astronomische Nachrichten” (82 articles were issued between 1866 and 1912).

Little is known about V. Knorre`s private life except the fact that he was a brilliant chess player, who was considered as a vital force in German chess during the years from 1864 to 1865. In 1864 he beat Karl Ernst Adolf Anderssen (1818-1879), who was rated as the leading chess player in the world from 1851 to 1855 and 1861-1866. He also succeeded over elite players like Louis Paulsen (1833-1891), Johannes Hermann Zukertort (1842-1888) and Gustav Richard Ludwig Neumann (1838-1881).

In the following three stages of his life are described, covering his years of study, his professional career at the Royal Berlin Astronomical Observatory and finally his fruitful activities after his retirement in 1906 until his death in 1919.

The early years

Victor Knorre was born on the 4th October 1840 at Nikolaev as the 5th child of Dorothea von Dieterichs (1814-1851) and Karl Friedrich Knorre, eminent astronomer and director of the Nikolaev Marine Observatory. His father was very strived to allow for his son an excellent education and sent him to the well respected school at the Hanseatic city of Fellin in the Russian province of Livonia (today Viljandi / Estonia), where he graduated in 1859.

On his return home V. Knorre assisted his father in the technical works related to the observatory, and certainly there he established the basis for his technical skill, from which he benefited in his later years at the Berlin Observatory. His extraordinary observational ability

was documented by his father, who published an article in the “Astronomische Nachrichten” in 1862, announcing the first ever made observations of the “Pleiades occultation”, accomplished by his son Victor on the 17th of September 1859.

In 1862 he commenced his studies of astronomy at the “Berliner Königliche Friedrich-Wilhelms-Universität”, where he particularly attended the lectures of the then associated Professor Foerster. At the same time he carried out practical exercises held by the Director and famous Professor of Astronomy Johann Franz Encke (1791-1865), who was succeeded by Foerster in March 1865.

After graduation and receipt of his PhD in philosophy in 1867 V. Knorre left for the Pulkovo Observatory - “Russian National Observatory”- outside St. Petersburg, at that time headed by Otto Wilhelm Struve (1819-1905), where he resumed the position of an astronomical calculator. In 1869 he accompanied the Swiss physicist and meteorologist Heinrich Wild (1833-1902), director of the “Physikalisches Central-Observatorium” at St. Petersburg and member of the Imperial Academy of Science, on an inspection tour to examine the meteorological and magnetic stations within the Russian Empire. V. Knorre was responsible for the determination of astronomical coordinates and magnetic measurements. The tour led through Moscow, Kazan, Samara, Zarizin, Rostov, Tbilisi, Kerch, Sevastopol, Odessa, Kiev and back via Moscow to St. Petersburg. At Odessa he had to terminate prematurely on grounds of ill health.

At the end of 1869 he returned home to his parent`s house, the observatory at Nikolaev, where he firstly cared for the education of his brothers and sisters and later resumed the position of a teacher at the local high school. Unsatisfying circumstances caused him to apply for a job opportunity at the Royal Berlin Observatory. In August 1873 he received a positive reply from the director Foerster.

V. Knorre`s professional career at the Royal Berlin Observatory (1873-1906)

When V. Knorre was appointed as second assistant (observer), the various fields of classical astronomy, which employed positional measurements of stars and planets and star charting, were performed at the Berlin Observatory. Particularly the latter subject intended largely to advance the search for minor planets, which became a speciality of the Berlin astronomers.

V. Knorre in the course of his astronomical career predominantly used the 9-inch “Fraunhofer equatorial”, a refractor with a significant historical background. Formerly, very valuable discoveries were already obtained with this famous instrument, such as the identification of the new primary planet “Neptun” on the 26th of September 1846 by Johann Gottfried Galle (1812-1910) (Fig. 1, 2).



Fig. 1. Royal Berlin Observatory, around 1900.



Fig. 2. Berlin Fraunhofer refractor.

First and foremost representatives of astronomy at Berlin in V. Knorre's era

When V. Knorre took up employment at the Royal Berlin Observatory the field of astronomy in and around the Berlin was dominated by the internationally recognized astronomers Wilhelm Julius Foerster, Arthur Auwers (1838-1915) and Hermann Carl Vogel (1841-1907). Foerster, director of the Berlin Observatory for nearly 40 years, seems to have exercised a marked influence on V. Knorre's path through life. He was an extraordinary versatile promoter and initiator of science and director of several important scientific and technological institutions. Two other influential scientists and contemporaries of V. Knorre were the astrophysicist Vogel and the astronomer Auwers. Vogel spent only a few years at the Berlin Observatory and in 1882 he was appointed as director of the "Astrophysikalisches Observatorium Potsdam", where he made his greatest discovery, the detection of "spectroscopic binary stars". Auwers, however, from 1866 to his resignation in 1911, as elected member of the "Prussian Academy of Science", closely cooperated with the astronomers and calculators of the Berlin Observatory. He became one of the foremost representatives in his generation of those who worked on "fundamental astronomy", which had for its object the accurate determination of the positions of the brighter stars in the sky and of their proper motions. With his family he resided at first in the official residence at the observatory building and from 1884 at the "Astronomisches Recheninstitut" (Astronomical Computation Institute) on the premises of the Observatory. V. Knorre and his wife Martha were neighbours for around 30 years.

Distinguished staff members at the Berlin Observatory during V. Knorre's employment

Many astronomers and scholars were given the opportunity to work at the Berlin Observatory within the realm of classical astronomy, characterized as the "German school of practical astronomy", in which celestial mechanics and the improvement of the astrometrical instruments were the two main subjects of research, following the twin founders of this school, Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) and Friedrich Georg Wilhelm Struve (1793-1864) and their successors Encke and Foerster.

All have more or less distinguished themselves by their ability and activity and several of them became well known in the astronomical world, among them Friedrich Tietjen (1834-1895) and Karl Romberg (1836-1898), V. Knorre's closest friend, successfully worked at the Pulkovo Observatory for 21 years. F. Tietjen spent his whole professional career at the Royal Berlin Observatory and the Astronomical Computation Institute. V. Knorre maintained a close scientific cooperation with Tietjen for 22 years. Tietjen had a passion for solving instrumental and mechanical problems, a faculty which he shared with him. Tietjen's experiences and ideas flew directly into the improvements and further developments of various micrometers, in part also into the registering micrometer, the "declinograph" (see below).

V. Knorre's accomplishments in astronomy and related instrumentation

V. Knorre was particularly entrusted to care of the "Fraunhofer equatorial" and of the micrometrical observations. His main attention became directed to the determination of positions of minor planets, comets and double stars, which he carried out with the 9-inch refractor, equatorially mounted and furnished with an object glass of 244 mm aperture and a focus of 4.3 m and manufactured by the famous Munich workshop of "Utzschneider und Fraunhofer". This around 45 years old instrument, the historical background was mentioned before, was equipped with large, fine graduated position circles and readout microscopes to allow direct position determination outside the meridian by measuring right ascension (or hour angle) and declination differences of the celestial objects. For micrometrical measurements of the coordinates or angular distances of celestial objects V. Knorre initially used the parallel wire (filament) micrometer attached to the equatorial, but in the course of observations he devised new methods to improve the accuracy and facility of manipulation of the measurements.

Deklinograph or self-registering micrometer

Already in October 1878 V. Knorre applied his newly designed self-registering micrometer or as he called it, the “Deklinograph” (declinograph), which was constructed by the renowned precision mechanical and optical workshop “Rudolf Fuess” at Berlin (Fig.3). The device was equipped with a flange for attachment to the tube of the refractor [1].

Particularly the application of the declinograph enabled V. Knorre the discovery of 4 minor planets. On the 4th of January 1878 he discovered “158 Koronis”, followed by “215 Oenone” on the 7th of April 1880, “238 Hypatia” on the 1st of July 1884 and finally “271 Pentheselea” on the 13th October 1887. With the recommendation of Foerster V. Knorre was awarded with the Honorary Professorship for his outstanding scientific achievements on the 9th of March 1892.

The device was based on an ordinary wire micrometer, containing a fine thread that could be moved across the field for measuring declinations, and a fixed thread for transit times of stars. The prevailing position of the movable thread towards the optical axis of the refractor was not measured by means of the micrometer screw, but effected in such a way, that at the very moment of setting of the declination of a star an endless paper tape was manually pushed against a steel pin, mounted on the slide of the movable thread, like the ocular lens. Simultaneously the paper tape was pushed against a further pin attached to the fixed part of the ocular piece. The distance between the two punctures in the tape indicated the actual setting of the declination. The pushing against the steel pins happened towards the axis of the telescope, in order to avoid least possible movements of the telescope. When changing from one star to the other by revolving a “fast” screw the paper tape was caused to continue accordingly. This method of graphical recording of differences in declination enabled the observer to improve the accuracy and speed of the performance of his measurement.

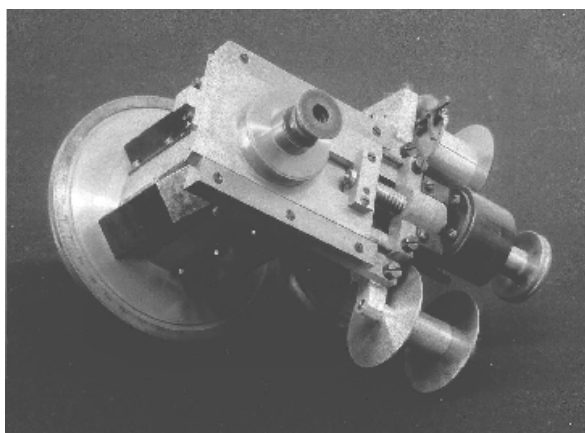


Fig. 3. The declinograph.

Later V. Knorre improved the accuracy level of the declinograph by applying a pneumatic device actuated by means of a foot controlled rubber ball, which in turn activated a piston system and accordingly released the setting of the declination [2]. At present the declinograph is kept in the Museum of the Babelsberg observatory [1].

An improved equatorial mounting design

V. Knorre throughout his professional career was constantly attended to improve the accuracy of his measurements caused by instrumental (mechanical) errors of the refractor, particularly in respect to its equatorial mounting. Suggestions for improvement of steadiness of the mounting were published in volume 160 of the 1903rd edition of the “Astronomische Nachrichten”, where he described in detail an elaborate design option, which enabled a highest possible relief of the axes and bearings during the telescope’s handling.

The precision instrument makers Hans Heele (1848-1923) and Carl Reichel (1832-1911), both from Berlin, gave V. Knorre the idea of employing ball bearings as constructional elements for equatorial mountings instead of cylindrical or tapered bearings. They pointed out that the manufacturing process of a ball bearing could be executed with much higher precision.

V. Knorre developed a construction in which both the upper part of the right ascension axis (polar axis) and declination axis were executed as spherical sections resting in ball bearings. This construction ensured a lower and more equal pressure of the respective axis on its bearings in every position of the instrument, minimising twisting in the axis. In order to verify that the optical axis of the telescope could be quickly positioned reasonably close to parallel with the polar axis of the equatorial mounting, V. Knorre furnished it with an alignment telescope, which was integrated in the hollow polar axis. The declination axis perpendicular to the polar axis was carried out in a similar manner [3].

A refractor of the “Knorre-Heele version” built at Heele’s workshop and intended for exhibition at the “Exposition Universelle Paris 1900” (world trade fair), furnished with an objective of 120 mm aperture and a focal length of 1.6 m, could not be accomplished in time.

The reconstruction works for providing the “Fraunhofer equatorial” with the improved mounting did not proceed according to plan. The instrument was dismantled in 1901 and reassembled in 1904. V. Knorre, however, was no more able to continue his astronomical research work according to his high expectations. He retired on the 1st of April 1906.

The final years at Groß-Lichterfelde (1906-1919)

After his retirement in April 1906 V. Knorre and his wife Martha moved from their official residence at the Astronomical Computation Institute to their own villa at Groß-Lichterfelde, a place then still outside the Berlin city limits. They resided at “Potsdamerstrasse 57”. Their house was designed by Gustav Lilienthal (1849-1933), a famous architect and master builder, in the English Tudor style, a characteristic feature of his art. G. Lilienthal became V. Knorre’s brother-in-law. When V. Knorre took up his employment at the Berlin Observatory in 1873 he lived the first four years with his parents and half-brother Georg Karl von Knorre (1859-1910) in the four-storey building at the Berlin district “Luisenstadt”. Their neighbour, the physician Dr. E. Rothe, ran a respected clinical practice in the ground floor. He had five children, three daughters and two sons. Martha Rothe (?-1933) became V. Knorre’s wife. Anna Rothe (1858-1938), the youngest of the “Rothe children”, married G. Lilienthal in May 1889.

The ties between the members of the extended family “Knorre” were traditionally very close. V. Knorre maintained the value of close relationship with his relatives and provided support whenever it was necessary. In 1904 V. Knorre’s eldest brother Theodor von Knorre (1831-1911), the only child of Elisabeth von Dieterichs (1811-1832) and Karl Knorre, also moved in the villa and shared the first floor with his halfsister Olga. Theodor von Knorre, registered as „Ziv. Ingen. Kaiserlicher Russischer Staatsrath a.D.” (Civil Engineer, Imperial Russian privy Councillor, retired) remained there until 1910. V. Knorre’s half-brother Georg von Knorre, since 1898 Director of the “Electrochemical Laboratory” and Professor of Electrochemistry at the “Königlich Technische Hochschule” (Royal Technical University) at Charlottenburg, near Berlin, deceased in 1910. When his wife Bertha died in 1918, the two sons (probably Walter and Karl) moved in V. Knorre’s house in February 1919.

The “theory of the equatorial” and continued development of the mounting

Despite the set-backs V. Knorre had experienced with the application of the improved mounting for the “Fraunhofer equatorial”, he continued with his theoretical studies about the “perfect” equatorial mounting. Five comprehensive publications appeared in the “Astronomische Nachrichten” between 1908 and 1912. In addition he furthermore carried on to finalize his private equatorial, also manufactured by the workshop of Heele. Problems occurred in

finding an adequate location for the instrument's installation and alignment. It is assumed that the concerned people of the Berlin Observatory were not very supportive probably due to the upcoming relocation of the facilities to the new location at Babelsberg near Potsdam.

In 1907 he requested for help in this matter from the director of the observatory at Berlin-Treptow Friedrich Simon Archenhold (1861-1939), which seemed to be successful. Archenhold provided at his premises a small observatory for the mounting of telescope. Later V. Knorre's equatorial was delivered to the Observatory at Münster in Westphalia, and used under the direction of professor Joseph Plaßmann (1859-1940). Unfortunately the instrument is considered lost or destroyed. The photo below shows the "Knorre-Heele improved equatorial mounting" located in the dome of the Münster University-Observatory (Fig. 4) [4].

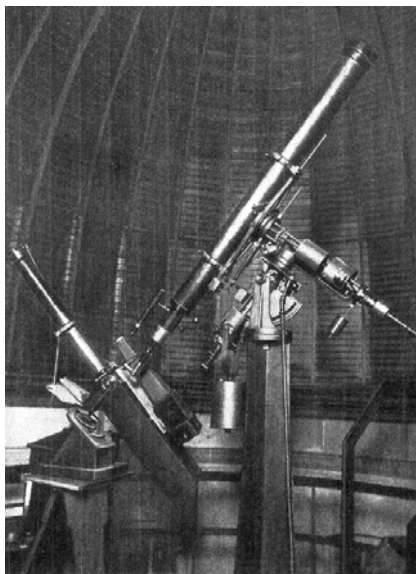


Fig. 4. Equatorial mounting by Knorre and Heele.

Review

Up to the latest period of his life V. Knorre with tireless efforts was determined to contribute his part to significant achievements in astronomy. The services he rendered to astronomical science, although not gilded with any brilliant discovery, however, possess a value, which can only be appreciated by those, who are profoundly acquainted with the subject of which they treat. The last months before he died his mental health deteriorated increasingly. V. Knorre, a third generation member of a famous dynasty of astronomers [5], deceased on the 25th of August 1919 and was buried at the cemetery "Parkfriedhof" in Lichterfelde. His friend Archenhold dedicated him a short review of his life and characterized him as very generous to those, who sought his help and advice, a personality with a simple and upright character, who was beloved and respected by his colleagues, friends and students [6]. It is worth emphasizing that V. Knorre, unlike his brothers and sisters, never bore the title of nobility, which he inherited by his parents. He lived a happy marriage with his wife Martha but unfortunately they had no children.

References

1. The Museum of the Babelsberg Observatory, Invent.-Nr.26 03780.
2. *Ambrohn, L.*: Handbuch der Astronomischen Instrumentenkunde, Zweiter Band, Berlin 1899, p.538.
3. *Knorre, V.*: Montierung von Äquatorealen nach Knorre und Heele, *Astronomische Nachrichten*, Vol. 177, 1908, pp. 179,180.
4. *Plaßmann, J.*: *Der Sternenhimmel*, 1928, p. 17.
5. *Pinigin, G.*: The Knorre astronomers' dynasty, *Astronomische Nachrichten*, 2009, Vol.330, pp.578-581.
6. *Das Weltall*, 20 Jahrgang, 1919/1920, p. 56.

ИНСТРУМЕНТЫ ЭРТЕЛЯ-СТРУВЕ НА СЛУЖБЕ АСТРОМЕТРИИ

Девяткин А.В., Толбин С.В.

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

В настоящей работе приводятся основные результаты, полученные за почти 160-летний период работы на инструментах Эртеля-Струве: Большом вертикальном круге (БВК) и Большом пассажном инструменте (БПИ). Оба инструмента являются классическими меридианными инструментами, созданными по идее основателя и первого директора Пулковской обсерватории В.Я. Струве в мастерской Эртеля в Мюнхене в 1837-1839 гг.

Программа определений положений небесных тел, разработанная В.Я. Струве, предусматривала определение координат звезд до 4^m в зоне от -15° до $+90^\circ$ на трех инструментах: Большом пассажном инструменте, Большом вертикальном круге и Меридианном круге Репсоляда. Большой пассажный инструмент и Большой вертикальный круг Эртеля-Струве были предназначены для абсолютных определений положений звезд и других небесных тел, а Меридианный круг Репсоляда – для определений относительных координат этих объектов. Таким образом, В.Я. Струве обратился к методу раздельного определения небесных координат. Это обстоятельство в сочетании с другими нововведениями позволило достичь новых уровней точности. Как отметил С. Ньюком: «Целью В.Я. Струве было начать новую эру в практике астрономических определений путем широко поставленного объединения достоинств наиболее совершенных инструментов, какие может доставить техника, с талантом наиболее искусных наблюдателей» и «Одно наблюдение Х.А.Ф. Петерса на вертикальном круге в Пулкове является столь же ценным, как и 30 наблюдений склонений, произведённых на меридианных кругах обыкновенными методами».

Наблюдения на Большом вертикальном круге Эртеля-Струве ($D = 15$ см, $F = 200$ см) до 1910 г. велись в азимутах с использованием методики фиксации по часам момента пересечения небесным объектом горизонтальной нити микрометра. В 1882 г. была предпринята попытка наблюдений с фиксацией телескопа в меридиане и использованием микрометра Репсоляда с подвижной нитью, но из-за несовершенства микрометра тогда эта методика себя не оправдала. И только в 1911 г., когда были вновь установлены микроскоп-микрометр Репсоляда и азимутальные упоры для фиксации инструмента в меридиане, этот способ стал успешно использоваться. Все это позволило отказаться от применявшейся ранее громоздкой методики наблюдений и привело к большей точности наблюдений и более строгой теории учета ошибок инструмента.

Большой пассажный инструмент Эртеля-Струве ($D = 15$ см, $F = 260$ см) был оборудован мирами, которые позволяли контролировать параметры телескопа. В начале наблюдения велись по методу глаз-ухо, когда наблюдатель фиксировал момент времени прохождения небесных светил через вертикальные нити, а в дальнейшем фиксация момента времени осуществлялась нажатием клавиши с замыканием электрических контактов. В XX веке на БПИ был установлен так называемый безличный микроскоп-микрометр, позволивший автоматизировать процесс фиксации моментов времени и снизить систематические ошибки наблюдений.

По программе наблюдений В.Я. Струве планировалось проводить наблюдения через каждые 20 лет с целью создания Пулковских фундаментальных каталогов. Эпохи созданных каталогов были следующие: 1845.0, 1865.0, 1885.0, 1900.0, 1905.0, 1915.0, 1925.0, 1930.0. Главное преимущество абсолютных Пулковских каталогов – соблюде-

ние принципа полной и абсолютной независимости одного каталога относительно других.

В программу наблюдений первого каталога на эпоху 1845.0 входили 374 главные звезды. В дальнейшем список звезд пополнялся. Программа каталога 1915.0 разрабатывалась уже с учетом международной программы по составлению карты неба. Каталог 1865.0 был положен в основание работ А. Ауверса (фундаментального каталога ярких звезд FKAG), а последующие – в основание фундаментальных систем FK3, GC, FK4, FK5. Для определения наклонности эклиптики к экватору и определения точек равноденствия среди звезд на БВК и БПИ, при выполнении программ по абсолютным наблюдениям звезд, выполнялись наблюдения Солнца.

На БПИ в XX веке велись наблюдения для каталога геодезических звезд, а также был создан каталог близполюсных звезд для астрономо-геодезических целей.

Из методических разработок следует отметить создание методики выравнивания часовых звёзд.

На вертикальном круге Г. Гюльденом были проведены исследования атмосферной рефракции. По наблюдениям Петерса Гюльден определил поправку постоянной рефракции. Таблица рефракции Гюльдена легла в основу составленных А.И. Громадским таблиц рефракции Пулковской обсерватории (1870 г., 1905 г., 1930 г.). Специальная программа наблюдений была выполнена для определения параллакс звезд. Для исследования движения полюса до 1915 г. проводились регулярные наблюдения Полярной звезды. Точность наблюдений на БВК была такова, что уже в середине XIX столетия по наблюдения Петерса можно было открыть явления Чандлеровского движения полюса. На Рис. 1 представлены результаты изменения широты Пулкова по наблюдения на БВК, любезно предоставленные сотрудницей ГАО Н.О. Миллер.

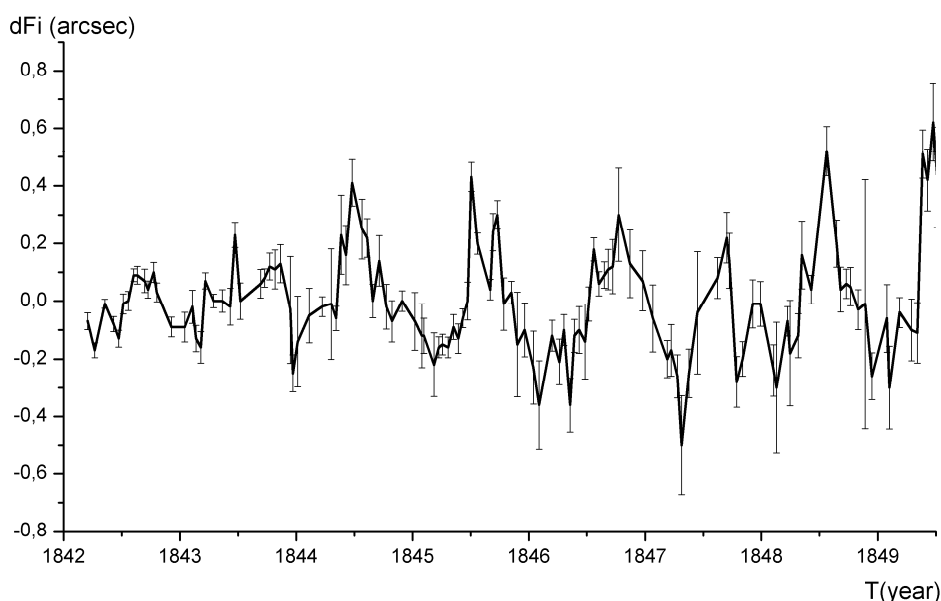


Рис. 1. Изменения широты Пулкова, вычисленные А.А. Ивановым [А.А. Иванов, 1895] из наблюдений Петерса для 1842-1849 годов.

Во время войны 1941-1945 гг. инструменты получили повреждения, пострадал разделённый круг БВК и цапфы БПИ. После их восстановления оба инструмента вступили в строй. БПИ был установлен на своих столбах (и фундаменте) в Западном меридианном зале (Рис. 2), а БВК в специально построенном павильоне на Научной площадке ГАО (Рис. 3).

Начались регулярные наблюдения. Послевоенные абсолютные каталоги включали традиционные Пулковские звезды плюс звезды ФКСЗ. Новые наблюдательные программы преследовали следующие цели:

- получение новых данных для уточнения фундаментальных каталогов,
- создание первых эпох для ФКСЗ,
- установление связи между яркими звездами и слабыми звездами из фундаментальных каталогов,
- стабилизация состава ФКЗ путем включения звезд, «удобных» для фотоэлектрических наблюдений.

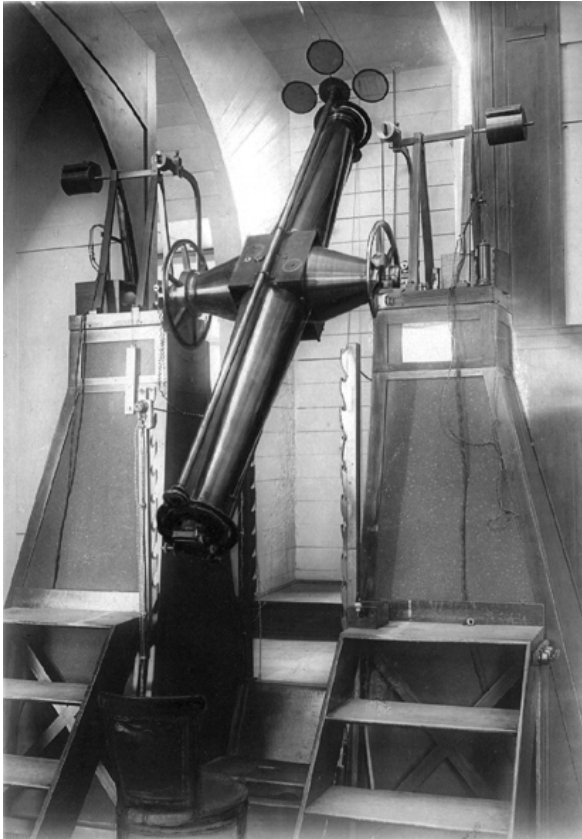


Рис. 2.

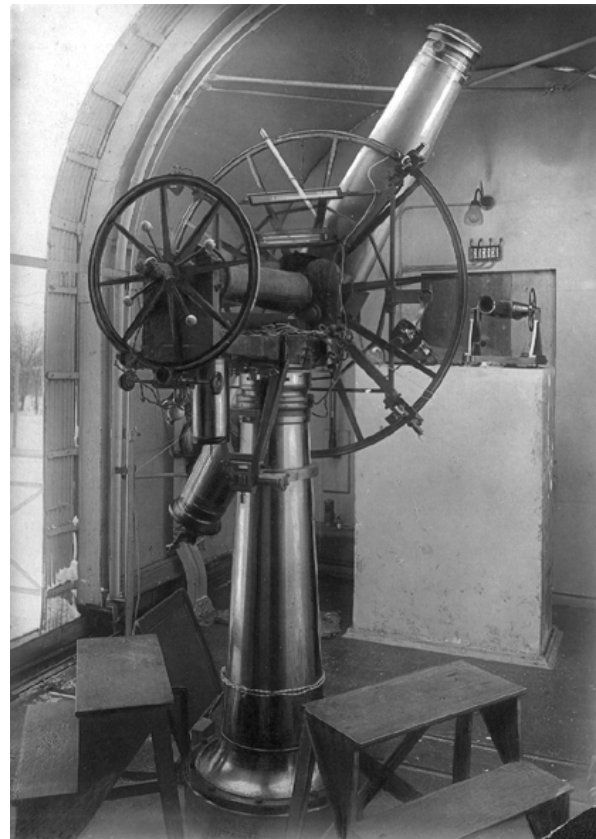


Рис. 3.

В 1956-1976 гг. на инструментах Эртеля-Струве в Пулкове проводились дневные наблюдения Солнца и больших планет. На БПИ было получено свыше 1760 наблюдений, а на БВК – 1640 наблюдений.

В 1983 г. Большой вертикальный круг и Большой пассажный инструмент были перенесены на Горную астрономическую станцию ГАО РАН, и была введена в строй высокогорная астрометрическая база для регулярных визуальных меридианных наблюдений тел Солнечной системы (Рис. 4, 5). В 1984 г. на ней возобновились традиционные Пулковские ряды дневных наблюдений Солнца и больших планет с инструментами Эртеля-Струве (Гневышева, Девяткин, 1985; Гневышева, Девяткин, 1987), которые продолжались до 1999 г.

Основные результаты работы на инструментах Эртеля-Струве на ГАС ГАО следующие:

1. На Большом вертикальном круге Эртеля-Струве в 1984–1998 гг. получен ряд склонений Солнца и больших планет. Ряд включает свыше 4000 склонений тел Солнечной системы с ошибкой одного наблюдения около 0.40" (в зените – 0.26").

2. На Большом пассажном инструменте Эртеля-Струве в 1987–1999 гг. получен большой ряд прямых восхождений Солнца и больших планет. Получено свыше 2000 прямых восхождений тел Солнечной системы с ошибкой одного наблюдения около 0.050^s .

3. Из совместной обработки наблюдений Солнца, Меркурия, Венеры и Марса, полученных на Большом вертикальном круге и Большом пассажном инструменте Эртеля-Струве, определены элементы ориентации динамической системы координат относительно звездной системы координат: поправка к прямым восхождениям звезд FK5 $\Delta A = +0.127'' \pm 0.033''$, поправка к склонениям звезд FK5 $\Delta D = +0.056'' \pm 0.011''$, поправка наклона эклиптики к экватору $\Delta \varepsilon = -0.044'' \pm 0.012''$, поправка средней долготы Солнца $\Delta L = -0.083'' \pm 0.035''$.

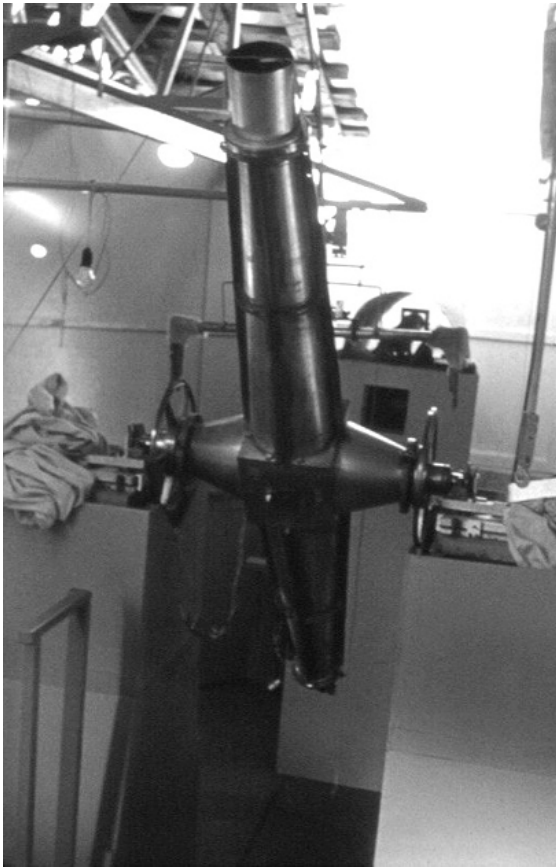


Рис. 4.

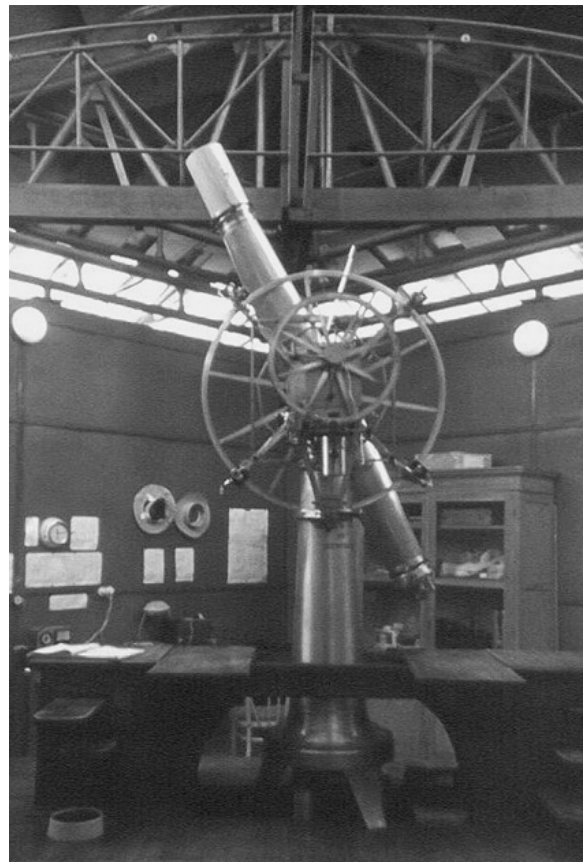


Рис. 5.

В Табл.1 приведены результаты наблюдений Солнца и больших планет, полученные во всем мире. Видно, что Пулковский ряд наблюдений является самым многочисленным.

К 2009 г. Большой пассажный инструмент и Большой вертикальный круг Эртеля-Струве были разобраны и перевезены в Пулково, где были тщательно отреставрированы и установлены на своих первоначальных фундаментах в реконструированном Западном меридианном зале Главного здания Пулковской обсерватории. С этого времени они стали музейными экспонатами – уникальными памятниками науки и астрономической техники XIX века (Рис. 6).

Таблица 1. Основные ряды позиционных меридианных наблюдений Солнца, Меркурия и Венеры, полученные в обсерваториях мира после 1960 г. (N_{α} — количество наблюдений по прямому восхождению, N_{δ} — количество наблюдений по склонению, ΔT — продолжительность непрерывного ряда наблюдений в годах, МК — меридианный круг, ПИ — пассажный инструмент, ВК — вертикальный круг, P — вес инструмента по внешней сходимости).

| Обсерватория, инструмент | Период наблюдений | N_{α} | N_{δ} | ΔT | P |
|--------------------------|-------------------|--------------|--------------|------------|------|
| Гринвич, МК | 1960-1982 гг. | 2022 | 1895 | 23 | 0.72 |
| Вашингтон, МК | 1960-1976 | 2905 | 2837 | 17 | 0.85 |
| Николаев, ПИ | 1961-1990 | 4620 | — | 30 | 0.80 |
| Николаев, ВК | 1960-1986 | — | 4197 | 27 | 0.79 |
| Ташкент, МК | 1960-1989 | 2497 | — | 30 | 0.61 |
| Голосеево, ВК | 1971-1987 | — | 1368 | 17 | 0.67 |
| Москва, МК | 1961-1976 | 338 | — | — | 0.66 |
| Пулково, БПИ | 1960-1976 | 1628 | — | 17 | 0.74 |
| Пулково, БВК | 1960-1977 | — | 1395 | 18 | 0.58 |
| Кисловодск, БПИ | 1987-1998 | 1481 | — | 12 | — |
| Кисловодск, БВК | 1984-1999 | — | 4057 | 15 | 0.96 |
| ГАО РАН | 1960-1998 | 3109 | 5452 | 17+15 | — |



Рис. 6.

Литература

1. Орлов Б.А. Абсолютные определения склонений на вертикальном круге, Сто лет Пулковской обсерватории, М-Л, Изд. АН СССР, С. 55-76.
2. Немиро А.А. Абсолютные определения прямых восхождений, Сто лет Пулковской обсерватории, М-Л, Изд. АН СССР, С. 43-54.
3. Иванов А.А. Вращательное движение Земли. С-Петербург. 1895. С.95.
4. Десяткин А.В., Гневышева К.Г., Батурина Г.Д. Результаты астрометрических наблюдений Солнца и больших планет на Горной астрономической станции Пулковской обсерватории, Астрометрический вестник, 2009, т.43, № 5, с.1-10.

THE ERTEL-STRUVE INSTRUMENTS AT SERVICE OF ASTROMETRY

Devyatkin A.V., Tolbin S.V.

The Central (Pulkovo) Astronomical Observatory of the RAS, Saint-Petersburg, the Russian Federation

The main results of absolute determinations of coordinates of stars and objects of the Solar System are reviewed, the observations being made at the Pulkovo Observatory with the Ertel-Struve Large Transit Instrument (the LTI) and the Ertel-Struve Large Vertical Circle (the LVC) on the time-span of 160 yrs. The total estimate and the significance of the V.Ya. Struve's ideas and method for Astrometry as realized with these instruments are given.

НИКОЛАЙ ПЕРВЫЙ И ПУЛКОВСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

Левитская Т.И.

Уральский государственный университет, г. Екатеринбург, Россия

Судьба российской государственности и династии Романовых неразрывно связана с созданием Пулковской астрономической обсерватории, отмечающей в 2009 г. 170-летие. Решающую роль в создании будущей астрономической столицы мира сыграл император Николай Первый (1796-1855). В советское время деятельность императора в области науки и просвещения рассматривалась необъективно. Однако можно привести положительные оценки Николая I, как со стороны дореволюционных, так и современных ученых. Например, Н.Г. Устрялов писал, что император покровительствовал просвещению, осыпал милостями ученых, художников, литераторов: «Кому известна беспримерная награда Карамзину и его семейству? Наконец Пулковская обсерватория, летописи и акты, изданные Археологической комиссией, плоды ученых путешествий и многие другие памятники, которые могли быть выдвинуты для пользы наук только волей государя, будут свидетельствовать перед потомством, что в наш век самые разнородные отрасли знания находили равно просвещение, равное щедрое покровительство» [1].

Николай Павлович придавал большое значение развитию отечественного образования, музейного дела, науки. Он «... понимал необходимость развития науки в связи с общими задачами социально-экономического развития страны. Императорская Академия наук получила 8 января 1836 г. новый устав и штат, по которому сумма на ее содержание выросла примерно в два раза» [2]. При нем были созданы Педагогический и Технологический институты (1828), Николаевская Морская Академия (1830), Университет св. Владимира в Киеве (1835), Румянцевский (1828) и Зоологический музеи (1832). Был также издан новый устав для университетов (1835), поставивший эти учреждения на уровень западно-европейских, создана стройная система гимназий и училищ, охвативших своей сетью все губернские и уездные города [3]. Происходило «... целенаправленное строительство государственной системы просвещения и неуклонное расширение образованного слоя за счет, как резервов дворянского сословия, так и разночинной среды» [4]. Особое внимание уделялось развитию астрономических исследований, необходимых для создания точных топографических карт. Распоряжением императора от 24 февраля 1830 г. было намечено сотрудничество Академии наук и Генерального штаба «по предмету астрономического определения местности». По его повелению были построены обсерватории в Казани и Киеве, в 4 раза увеличен бюджет обсерватории в Дерпте. По мнению Л.В. Выскочкова заботы Николая I о просвещении выражались также в том, что для профессоров вдвое было повышено жалование и введены зарубежные командировки, утверждено 6 апреля 1844 г. «Положение о производстве в ученые степени». Таким образом, можно согласиться с выводом современного ученого М.Ф. Хартановича, исследовавшего развитие академической науки в России во второй четверти XIX века: «Реорганизовав структуру Академии наук и, тем самым, укрепив одно из звеньев государственной системы, Николай I, как видим, осознавал прямую зависимость между развитием науки и благополучием государства» [2].

Интерес Николая I к точным наукам был заложен самим процессом воспитания и обучения. Николай Павлович являлся представителем царственного дома Романовых, праправнуком императора Петра Великого. С 5 лет он воспитывался в достаточно суровых условиях: «С 1800 г. главным воспитателем Николая и Михаила (третий сын Павла Первого) стал директор Сухопутного кадетского корпуса, генерал Матвей Ива-

нович Ламздорф, сурово и даже жестоко обращавшийся со своими воспитанниками. С 15 лет к Николаю и Михаилу были приглашены профессора, читавшие университетские курсы. Ученик великого математика Эйлера – академик Логгин Юрьевич Крафт и профессор Н.И. Вольгемут стали знакомить великих князей с высшей математикой, опытной и теоретической физикой, механикой. Эти занятия достигли цели – из него вышел хороший, знающий инженер, и, вопреки сложившемуся ходульному о нем мнению, неплохо образованный человек. Его любимыми занятиями стали рисование, гравировка по металлу, игра в шахматы, верховая езда, но более всего – военные игры, смотры, парады и разводы...» [5].

Один из современников Николая I вспоминал: «Император Николай питал всегда особенное влечение к инженерному и архитектурному искусству, почему, будучи еще великим князем, был назначен царствующим братом своим главным начальником по Инженерному корпусу. Любовь его к строительному делу не покидала его до конца жизни, и надо сказать правду, что он понимал в нем толк не хуже любого специалиста по этой части, следил и очень часто лично проверял выполненные и утвержденные им проекты различных построек, не оставляя замеченные им упущения без строгого выяснения. Не ограничиваясь поверхностным осмотром казенных зданий, он всегда входил во все технические подробности производства работ и поражал всех меткостью своих замечаний и верностью глаза» [6].

В 1827 г. Академия наук вновь рассмотрела проект переноса городской обсерватории за пределы столицы. Однако создание новой обсерватории замедлялось недостатком средств. Николай I милостиво внял насущной потребности и в 1831 г. повелел построить новую обсерваторию вблизи столицы. Министру народного просвещения А.К. Ливену «выражено было Высочайшее мнение, что основание первоклассной обсерватории в высокой степени полезно и важно для ученой чести России» [7]. Николай I, несмотря на то, что был обременен заботами правления, с живейшим вниманием интересовался устройством обсерватории. Он лично рассматривал различные проекты построек и с удивительной проницательностью выбрал тот проект, который наиболее соответствовал назначению заведения, а также высказал мнение, что обсерваторию следует построить на Пулковской возвышенности. Правительственная комиссия остановила свой выбор на вершине Пулковской горы, в 14 верстах от Московской заставы в Петербурге, на высоте 248 футов над уровнем моря. В октябре 1833 г. Николай I издал распоряжение о выделении из казны 100 тысяч рублей ассигнациями для начала строительных работ с марта 1834 г. Одновременно выделяются и значительные средства (130 тыс. руб. серебром) на строительство и приобретение новых инструментов. «В феврале 1835 г. архитектор А.П. Брюллов представил окончательную смету строительства ... сметная сумма достигла 501300 рублей серебром. Всего же было отпущено 600150 рублей серебром» [8].

Торжественный акт закладки обсерватории состоялся 21 июня 1835 г., а тремя годами позже, 19 июня 1838 г. Николай I утвердил штаты и устав новой обсерватории. Торжественно открытие Пулковской обсерватории состоялось 7 августа (по старому стилю) 1839 г. В конце сентября этого же года отстроенная и уже снабженная инструментами обсерватория была посещена ее державным основателем. В описании обсерватории Струве отмечал: «Пулковская обсерватория есть осуществление ясносозданной научной идеи, совершившееся, благодаря безграничной щедрости монарха» [9]. Создание Пулковской обсерватории способствовало тому, что Россия заняла ведущее место в мировой астрономической науке. Изготовленный в Мюнхене для обсерватории 15-дюймовый (38 см) рефрактор – линзовый телескоп, долгое время был лучшим в мире. Благодаря Пулковской обсерватории стала быстро развиваться новая отрасль астрономии – астрофизика. Вениамин Гулд, основавший в 1849 г. американский «Астрономи-

ческий журнал», назвал Пулковскую обсерваторию «астрономической столицей мира» [7].

Академик Ф.А. Бредихин в речи, посвященной 100-летию со дня рождения основателя Пулковской обсерватории, 29 декабря 1896 г. так объяснил заботливое участие Николая I к астрономии: «Император Николай Павлович не был посвящен в глубины астрономической науки, но в его отношении к знанию вообще чувствуется как бы некоторое предпочтение астрономии, какое-то внутреннее расположение к ней. Стройный порядок системы, строгое соподчинение целому, твердость и доказательность перехода от известного к неизвестному ... все это находило сочувственные фибры в возвышенной душе монарха, который в громадной империи своей стремился упрочить законность, стройный порядок и спокойное развитие на стезе правды и добра» [7]. Во время правления Александра II (1855-1881) за большой вклад в развитие отечественной астрономии имя Николая I было присвоено Пулковской обсерватории и она стала называться Николаевской.

Малоизвестен тот факт, что купол обсерватории хотел расписать прославленный художник, великий Карл Брюллов – брат архитектора Александра Павловича Брюллова, по проекту которого была построена Пулковская обсерватория. Художник представлял купол как небесный свод, на котором он хотел изобразить античных богов, олицетворяющих небесные светила. Он начал изучать астрономию. Художник, уже завоевавший европейской славой, занимал скромное место на скамье между студентами Петербургского университета и заполнял записную книжку формулами, числами, говорящими о расположении планет по отношению к Солнцу; это нужно было ему для расстановки фигур будущей композиции. Работал Брюллов увлеченно. Наброски один за другим появлялись в его альбоме: и старец Юпитер в усыпанном звездами плаще, и Нептун с трезубцем в руках, и стремительно несущейся по небу Феб – все было отмечено вдохновением и экспрессией. О работе мало кто знал. Только ближайший из учеников художника А. Корецкий записал в дневнике: «Карл Павлович сочинил сферу в лицах, чудесное сочинение». Однако замыслам не суждено было осуществиться: «высочайшего соизволения на роспись купола Пулковской обсерватории не было дано» [10].

Император Николай I обладал удивительной способностью разбираться в людях. Именно он выбрал известного ученого Вильгельма Струве в качестве директора Пулковской обсерватории. Историк Н. Тальберг в статье «Император Николай I в свете исторической правды» отмечал: «В 1830 г. по Высочайшему повелению был отправлен за границу профессор Юрьевского университета В.Я. Струве (1793-1864) с целью осмотреть главнейшие европейские обсерватории и заказать астрономические инструменты». В историю мировой науки Вильгельм (имя Василий он принял при переходе в российское подданство) Струве вошел как выдающийся астроном и геодезист. Гений российской науки, один из основателей и первый директор Пулковской обсерватории, отличался гибким умом, инициативностью, целеустремленностью, исключительной работоспособностью. Сфера деятельности Струве была многогранной — звездная астрономия, астрометрия, геодезия, руководство Дерптской и Пулковской обсерваториями. "Общее благо имеет абсолютное преимущество перед личным" — девиз, под которым прошла яркая жизнь Струве [11].

Фридрих Георг Вильгельм Струве родился 15 апреля 1793 г. в Альтоне (ныне пригород Гамбурга) в семье педагога и директора местной гимназии. Получив домашнее образование, знание нескольких языков и классической литературы, он в 1808 г. поступил в университет в Дерпте (ныне Тарту), открытый в 1802 году. Дерпт еще в эпоху правления Петра I был аннексирован Российской империей и номинально считался российским городом. В университете, который Вильгельм закончил досрочно с золотой

медалью в декабре 1810 г., он занимался филологией. Ректор университета Г. Паррот, известный в то время физик, заметив способности юноши к математике и физике, посоветовал ему всерьез заняться точными науками. С 1811 г. своей новой специальностью Струве избрал астрономию. В 1812 и 1813 гг. он проводил наблюдения переносными угломерными инструментами и определил координаты астрономической обсерватории Дерптского университета. В 1813 г. Струве защитил диссертацию "О географическом положении Дерптской астрономической обсерватории", а спустя месяц был назначен экстраординарным профессором по объединенной кафедре математики и астрономии и начал читать лекции по астрономии в университете. На этом поприще он продемонстрировал столь недюжинные способности, что в 1818 году, в неполные двадцать шесть лет, ему было присвоено звание полного (ординарного) профессора и доверено управление университетской обсерваторией. Через несколько лет он заслужил репутацию одного из самых выдающихся астрономов Европы. Это произошло благодаря его исследованиям в области распознавания и описания так называемых «двойных звезд». В 1827 г. Струве опубликовал первый из двух своих каталогов, содержащий перечень более чем трех тысяч этих небесных объектов, большая часть которых впервые описана им самим. Университетской обсерваторией он руководил с 1818 по 1838 год.

Струве включили в Комиссию по постройке новой академической обсерватории вблизи Петербурга. Вместе с другими учеными он принял активное участие в проектировании Пулковской обсерватории, закупал и заказывал у лучших европейских механиков оборудование, следил за установкой инструментов, разрабатывал план работы обсерватории. С 1 января 1839 г. новая российская обсерватория приступила к регулярным наблюдениям. С момента открытия Пулковской обсерватории и до 1862 г. Струве являлся ее директором. В связи с этим он в 1839 г. вместе со своей большой семьей переехал из Дерпта в Санкт-Петербург. После двух женитьб (в 1815 и 1835 гг.) Струве имел 18 детей, из которых 12 пережили его и отметили свое 50-летие. Струве принял российское подданство, получил звание наследственного дворянина и был избран в Императорскую академию наук. Под его руководством Пулковская обсерватория очень скоро не только сравнялась с европейскими, но и превзошла их всех, став центром мировой астрономии того времени. Благодаря В.Я. Струве в России сформировалась своя собственная астрономическая школа.

В течение первых 50 лет ее существования деятельность обсерватории проходила по двум основным направлениям – развитие астрометрии и практической астрономии, и лишь в конце 80-х гг. в планы научной работы была включена астрофизика. Ведущее место в Пулковской обсерватории занимали работы по фундаментальной астрометрии, связанные с наблюдениями всех звезд северного неба до 7-й звездной величины и их обработкой. Результатом колоссального труда наблюдателей стало составление наилучших по тщательности выполнения и точности каталогов прямых восхождений и склонений больших рядов звезд. Прямые восхождения определялись с помощью большого пассажного инструмента, а склонение – большим вертикальным кругом, которые были созданы по идее Струве в Германии талантливым механиком, прославленным строителем многих астрономических инструментов Т.Л. Эртелем. Пулковские каталоги абсолютных прямых восхождений и склонений звезд эпох 1845, 1865, 1885, 1905 гг. и до настоящего времени представляют собой образцы точности и лежат в основе современных фундаментальных систем звездных положений.

Осенью 1861 г. Струве по состоянию здоровья подал прошение об отставке. В августе 1864 г. Струве еще принял участие в праздновании 25-летия Пулковской обсерватории, а 23 ноября 1864 г. скончался от воспаления легких. Ричард Пайпс отмечал: «Струве стал родоначальником четырех поколений выдающихся астрономов, некоторые из них продолжили его исследования в области двойных звезд. Последний из этой

научной династии Струве, возможно не имевшей себе равных в истории науки, умер в 1963 году в США» [12].

Астрономия всегда имела исключительно важное значение для подготовки военных моряков. Умению ориентироваться в море по звездам учили офицеров на занятиях в Пулковской обсерватории. Поэтому не случайно с Пулковской обсерваторией и астрономией была связана жизнь второго сына Николая Павловича – великого князя Константина Николаевича (1827-1892), генерал-адмирала, реформатора Российского флота. В пять лет в 1832 г. Николай I назначил воспитателем Константина известного мореплавателя и полярного исследователя капитана 1 ранга Федора Петровича Литке (1797-1882). Литке руководил научной экспедицией по исследованию Новой Земли [13]. Новоземельские экспедиции продолжались вплоть до 1824 года. В 1826-1829 гг. капитан-лейтенант Литке совершил кругосветное путешествие на шлюпе «Сенявин» с заходом в Русскую Америку.

К середине 1840-х годов относятся первые шаги Ф.П. Литке по организации Русского географического общества. Разработанный им проект Устава общества был одобрен на собрании учредителей. В их число вошли такие видные ученые и военные как Ф.Ф. Берг, Ф.П. Врангель, В.Я. Струве и др. В сентябре 1845 г. общее собрание учредителей единодушно избрало Ф.П. Литке вице-президентом вновь созданного Русского географического общества. Президентом общества стал его юный воспитанник – семнадцатилетний великий князь Константин Николаевич. В 1846 г. вице-адмирал Литке стал председателем Морского ученого комитета. По его инициативе был создан в 1848 г. специальный морской журнал «Морской сборник», на страницах которого офицеры могли обсуждать волнующие их вопросы. «После Крымской войны Ф.П. Литке целиком отдался научной деятельности. С 1846 г. и почти до конца жизни он являлся президентом Академии наук. По инициативе Ф.П. Литке была создана магнито-метеорологическая обсерватория, значительно расширили свою деятельность Главная физическая и Пулковская астрономическая обсерватория» [13].

Благодаря прекрасным учителям и воспитателям, Константин Николаевич был всесторонне образованным человеком. В зрелом возрасте он собрал замечательную библиотеку, составленную из трудов по мореплаванию и современной художественной литературы. Кроме того, великий князь увлекался музыкой и живописью. Он рассматривал издававшийся при его содействии журнал «Морской сборник» как сильное оружие для завершения образования морского офицера. В журнале активно сотрудничали не только такие известные адмиралы как Ф.П. Врангель, К.П. Посьет, но и такие крупные ученые как В.И. Даль, Н.И. Пирогов, В.Я. Струве. Многие из них получали задания и командировки лично от великого князя. В 1855 г. Константин Николаевич писал адмиралу Ф.П. Врангелю: «Необходимо заблаговременно готовить статьи, дабы всегда быть уверенным в избытке материалов... Весьма полезно украсить “Сборник” извлечением из ... превосходного описания Пулковской обсерватории. Описание сие стоит дорого и, конечно, немногие из наших офицеров имеют оно. ... Сверх того я просил бы вас предложить В.Я. Струве... написать мысли его о тех услугах, которые ... мореплаватели оказали астрономии ...» [13]. Можно сделать вывод, что великий князь Константин Николаевич понимал большую роль использования астрономии для нужд военно-морского флота. Таким образом, роль Николая I и Константина Николаевича в развитии отечественной науки была очень значительной. Поэтому прав был С.Л. Франк, ближайший друг П.Б. Струве, наследника династии известных астрономов, когда он писал: «Замечательной, в сущности, общеизвестной, но во всем своем значении не оцененной особенностью русского общественно-государственного строя было то, что в народном сознании и народной вере была непосредственно укреплена только верховная власть царя; все же остальное – сословные отношения, местное самоуправле-

ние, ... культура образованных классов, академии, – все это в том или ином отношении держалось лишь косвенно, но силою царской власти, и не имело непосредственных корней в народном сознании» [14].

Любовь к отечеству, его славе двигала Николая I за все время его правления. Так, в письме сыну-наследнику, великому князю Александру Николаевичу от 19 мая 1837 г. он писал: «Радуюсь, что ты ознакомился с частью сердца России... Не любишь ли ты отныне еще сильнее нашу славную, добрую Родину, нашу матушку Россию? Люби ее нежно; люби ее с гордостью, что ей принадлежит и родиною называть смеешь, ею править будешь, когда Бог сие определит для ее славы, для ее счастья! Молю Бога всякий день в всяком случае, чтоб сподобил тебя на сие великое дело к пользе, чести и славе России...» [5]. Николай I старался поддержать и одобрить всякого рода важнейшие начинания, к числу которых относится и создание Пулковской астрономической обсерватории.

Литература

1. *Устрялов Н.Г.* Русская история до 1855 года, в двух частях. Петрозаводск. 1997. – 958 с.
2. *Высочков Л.В.* Николай I. М., 2003. – 693 с.
3. *Левитская Т.И., Начапкин М.Н.* Роль российских монархов в становлении отечественной астрономической науки. Физика Космоса: Тр. 31-й междунаро. студ. научн. конф., Екатеринбург, 28 янв. - 1 февр. 2002 г. Екатеринбург: Изд - во Урал. ун - та, 2002. – 212 с.
4. Россия: государственные приоритеты и национальные ценности. М., 2000. – 256 с.
5. *Балязин Вольдемар.* Самодержцы. В 2 кн. Кн.2 – М.: ОЛМА-ПРЕСС, 1999. – 528 с.
6. Император Николай Первый. М.: Русский мир, 2002. – 752 с.
7. Николай Первый и его время. Т.1, М., 2000. – 448 с.
8. *Абалакин В.К.* Главной (Пулковской) астрономической обсерватории Академии наук СССР – полтора века: к истории основания. 150 лет Пулковской обсерватории. – Л.: Наука, 1989. – 311 с.
9. В.Я. Струве. Его жизнь и ученая деятельность. Биографический очерк Е.Ф. Литвиновой. С.-Петербург, 1993. – С. 74.
10. *Корнилова А.В.* Карл Брюллов в Петербурге. Л.: 1976. – 175 с.
11. *Левитская Т.И.* Струве, его жизнь и научная деятельность. Физика Космоса: Тр. 32-й международной студ. научн. конф. Екатеринбург, 3-7 февр. 2003 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2002 г. – 212 с.
12. *Пайпс Ричард.* Струве: левый либерал, 1870 – 1905. Т.1, М., 2001. – 552 с.
13. *Коршунов Ю.Л.* Генерал – адмиралы Российского императорского флота. СПб. 2003. – 320 с.
14. *Боханов А.Н.* Император Николай II. М.: Русское слово, 1998. – 568 с.

NIKOLAY THE FIRST AND THE PULKOVO OBSERVATORY

Levitskaja T.I.

The Ural state university

Nikolay the First has played a main role in creation of the Pulkovo observatory. Thanking his financial and organizational support bases for rapid development of astronomy in Russia have been created. For short time the Pulkovo observatory became the astronomical capital of the world.

К ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ ПОРТРЕТНОЙ ГАЛЕРЕИ ПУЛКОВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Московченко Н.Я.

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург,
Российская Федерация*

В XIX веке экономическое развитие России, распространение ее влияния в Средней Азии и других регионах, поиск полезных ископаемых для развивающейся промышленности, строительства флота и ведения военных действий, повлекли за собой увеличение географических, геодезических и картографических работ. Все они не могли осуществляться без серьезной астрономической базы.

Академия наук еще в середине XVIII века обсуждала вопрос о переносе академической обсерватории за черту Петербурга, но никакого решения принято не было. Только в первой четверти XIX века академия и правительство вернулись к рассмотрению проекта строительства новой обсерватории. В октябре 1833 года был объявлен указ о строительстве Главной обсерватории на Пулковской горе. Тогда же по указу императора Николая I были выделены средства для ее строительства. Николай I считал, что Главная обсерватория должна быть лучшей в мире и не жалел средств на инструменты и высококачественные строительные материалы. Император поручил В.Я. Струве, будущему директору обсерватории, заказать для нее самые совершенные инструменты. С этой целью В.Я. Струве в 1834-1835 годах посетил все европейские обсерватории и заказал главные инструменты фирмам Эртеля в Мюнхене и братьев Репсольдов в Гамбурге.

Архитектором проекта новой обсерватории был назначен победивший в конкурсе А.П. Брюллов. Строительство началось весной 1834 года. В июле 1839 года Брюллов доложил императору «об окончании устройства Главной обсерватории на Пулковской горе, испросил Высочайшего назначения дня открытия». Открытие было назначено на 7 августа (старого стиля) – день восшествия на престол императора Петра Великого.

В рапорте Строительному комитету А.П. Брюллов сообщил, «что при устройстве здания обсерватории обращено было внимание не только на прочность здания, но и на красоту его по всем частям». К украшению здания были привлечены лучшие мастера. В нишах Главного здания, где сейчас находятся скульптуры Коперника и Галилея, были установлены алебастровые фигуры двух муз, выполненных замечательным русским скульптором В.И. Демут-Малиновским (1779-1846). Автору статьи удалось обнаружить в Архиве рапорт А.П. Брюллова, в котором он просит оплатить работу В.И. Демут-Малиновского [1]. К сожалению, скульптуры погибли во время войны.

В круглом зале главного здания был установлен мраморный бюст императора Николая I. По предположению сотрудников Эрмитажа бюст выполнен в знаменитой мастерской Х.Д. Рауха (1777-1857). В рапорте Комитету правления Академии наук А.П. Брюллов писал: «По случаю открытия построенной на Пулковской горе Главной обсерватории, куплен и поставлен в большой круглой зале в нише, под главную башню, большой бюст Государя императора из белого мрамора» [2], (как отметил В.Я. Струве «замечательного сходства»). Сейчас этот бюст можно видеть почти на прежнем месте, где он находился в 1839 году. (В 1930-е годы бюст был вывезен из Пулкова и с 1937 по 2003 год он хранился в запасниках Архива Академии наук.)

Мебель для обсерватории была заказана в мастерских Гамса, Штрома и Гампеля, выполнявших заказы для императорских дворцов и академических музеев. В кабинете директора и главных астрономов диваны, стулья, кресла были обтянуты зеленым сафь-

яном, занавеси на окнах – золотистого штофа. Стены кабинета директора были оформлены в излюбленном стиле А.П. Брюллова: на зеленом фоне стен – лепные гирлянды белого цвета.

В.Я. Струве задумал украсить залы обсерватории портретами астрономов, внесших большой вклад в развитие науки, а так же поместить портреты лиц, которые содействовали Пулковской обсерватории. К осуществлению своего плана он приступил еще до завершения строительства.

Первыми В.Я. Струве заказал портреты мастеров, сделавших для Пулкова знаменитые большие инструменты. История этих инструментов изложена в статье Г.И. Пинигина и С.В. Толбина в этом же сборнике. Заказ выполнил молодой немецкий художник М. Эхтер (1812-1899).

Михаэль Эхтер родился в Мюнхене в бедной семье. Вначале он занимался украшением домов богатых людей, потом писал картины на религиозные сюжеты. По рекомендации одного из покровителей уехал работать в Россию. Известно, что Эхтер написал алтарь гарнизонной церкви в Кронштадте. Вероятно, во время пребывания в Петербурге с ним познакомился В.Я. Струве, который заказал ему портреты проживавших в Мюнхене Эртеля, Мерца и Штейнгеля. Все три портрета Эхтер написал в 1838 году и их можно видеть сейчас в залах обсерватории.

Поскольку имена Эртеля и Мерца известны астрономам, но не встречаются в современных справочниках, позволим посвятить несколько строк их биографиям.

Троугот Леберехт Эртель родился 29 сентября 1778 года близ Фрейберга в Саксонии в семье шахтера. С 7 до 16 лет он работал по контракту в крестьянском хозяйстве брата отца. Только в 1793 году дядя с большим трудом отпустил его на год раньше условного срока во Фрейберг учиться ремеслу кузнеца. Выучившись, Эртель работал кузнецом, пешком передвигаясь с места на место по территории Венгрии и Австрии. В 1804 году он добрался до Вены, где стал работать в инструментальной мастерской и изготавливал хирургические инструменты.

В 1806 году по рекомендации профессора Венского политехнического института получил место в механической фирме Рейхенбаха. Там он не только успешно работал, но и усердно учился. Благодаря приобретенным знаниям, мастерству и таланту стал лучшим мастером и заслужил расположение Рейхенбаха. Сначала Рейхенбах сделал его своим помощником, а в 1815 году – совладельцем фирмы, которая получила название «Рейхенбах и Эртель». В 1820 году Рейхенбах отошел от дел, а Эртель стал единоличным владельцем фирмы. Под его руководством фирма успешно развивалась, увеличилась номенклатура изделий. Особенно славились астрономические инструменты. Обсерватории России, Европы, Америки, Австралии закупали инструменты и приборы у Эртеля. Эртель получал благодарности многих ученых, удостоен наград правительств России и Баварии. При всех почестях и больших денежных средствах он отличался скромностью и простотой. Эртель умер 8 февраля 1856 г. в Мюнхене. Фирму унаследовал его сын Георг, который пережил отца только на 5 лет [3].

Георг Мерц – оптик, один из владельцев оптической фирмы в Мюнхене, родился 26 января 1793 г. в семье ткача Антона Мерца в г. Бихле близ Мюнхена. До 15 лет он работал в хозяйстве отца, окончил начальную школу. В 1808 г. он поступил на работу в оптическое отделение фирмы Мюнхенского математико-механического института в Бенедиктбейрне, которым заведовал Й. Фраунгофер. Мерц днем работал на шлифовальном станке, а вечером усиленно изучал математику и теорию оптического стекла. Вскоре он настолько преуспел в работе, что его назначили мастером, и он стал помощником Фраунгофера. Мерц принимал участие в расчетах астрономических объективов и подготовке монтировки всех инструментов. После смерти Фраунгофера в 1826 г. Мерц возглавил фирму и уже самостоятельно завершал гелиометр для Кёнигсбергской

обсерватории, Берлинский рефрактор и другие инструменты. Одновременно он принимал новые заказы, в том числе на самые большие инструменты для Пулковской обсерватории. По отзывам В.Я. Струве, оптика 15-ти дюймового телескопа была настолько хороша, что Николай I, отдавая должное заслугам Мерца, наградил его золотой медалью. Восемь лет пулковский телескоп был крупнейшим в мире и 23 года одним из крупных.

Превосходные изделия фирмы получили признание во всем мире – все обсерватории хотели иметь астрономические инструменты фирмы «Мерц и сыновья» (Мерц ввел в правление фирмы своих сыновей – Людвига и Зигмунда). Г. Мерц умер 12 января 1867 г. в Мюнхене [4] (Портреты Эртеля и Мерца публикуются в статье Пинигина Г.И. и Толбина С.В.).

Кроме упомянутых портретов М. Эхтер в 1838 году по заказу В.Я. Струве скопировал портрет И. Кеплера. Однако этот портрет в Пулкове не сохранился. Он был утрачен еще в XIX веке.

Начиная с 1838-1839 годов, В.Я. Струве заказывает портреты известному датскому художнику-портретисту Христиану Альбрехту Йенсену (1792-1870), с которым познакомился во время заграничных путешествий. По поручению В.Я. Струве Йенсен посетил известных астрономов Европы, чтобы написать их портреты для Пулковской обсерватории. В 1839 году он написал портреты Ф.В. Бесселя (1784-1846), Дж. Саута (1785-1867), К. Ганстена (1784-1873), в 1840 году – Г.Х. Шумахера и двух братьев механиков Репсольдов – Георга (1804-1885) и Адольфа (1806-1871), в фирме которых были сделаны большие пулковские инструменты.

Бессель, Ганстен и Шумахер гораздо раньше приобрели для своих обсерваторий инструменты фирмы Репсольдов и, давно наблюдая на них, успели выявить их достоинства и недостатки. В беседах и переписке с В.Я. Струве они обсуждали качества инструментов. Благодаря их советам и рекомендациям В.Я. Струве, принятыми Репсольдами, Пулковская обсерватория получила более совершенные инструменты.

Желая оплатить работу художника, В.Я. Струве писал 28 ноября 1840 года в Комитет правления Академии наук: «Для украшения Главной обсерватории и для сохранения памяти знаменитейших и по части астрономии великих мужей, участвовавших советами своими в достижении совершенства, на которой заведение, вверенное моему управлению, уже ныне находится, я поручил иностранному портретному живописцу, профессору Янзену [Йенсену] снять на первый случай портреты астрономов: господина Шумахера в Алтоне, господина Бесселя в Кенигсберге, господина Саута в Лондоне и известного художника [механика] Репсольда... Полученные ныне упомянутые портреты отличны как по сходственности, так и по отделке» [5]. Все эти портреты сохранились и находятся в залах Пулковской обсерватории.

Кроме того, Йенсен сделал золоченые рамы для упомянутых портретов, а так же к портретам Кеплера, Мерца и исчезнувшего впоследствии портрета Малера.

За все годы сотрудничества с Пулковской обсерваторией Йенсен написал 18 портретов, в том числе и самого В.Я. Струве. Но в войну 1941-1945 гг. было утрачено 6 портретов – копии из музеев Лондона, Копенгагена и др. Не сохранились и золоченые рамы.

В заключение стоит привести слова В.Я. Струве: «Зал украшен портретами знаменитых астрономов, умерших и здравствующих, и известных мастеров, которые создали главные инструменты обсерватории. Все эти портреты, выполненные маслом, в натуральную величину, представляют собой оригиналы [т.е. написанные с натуры] или копии наилучших оригиналов, какие существуют» [6].

Всего за первые 25 лет было собрано 28 портретов, каждый из которых имеет свою историю.

Считаю своим долгом выразить признательность А.Н. Дадаеву и В.Н. Ихсановой за переводы текстов с иностранных языков.

Литература

1. Петербургский филиал Архива РАН. Ф.4. Оп.7 Д.120. Л.3.
2. Петербургский филиал Архива РАН. Ф.4. Оп.7 Д.120. Л.1.
3. Allgemeine Deutsche Biographie. Leipzig. 1877. Bd.6. S.331-332.
4. Allgemeine Deutsche Biographie. Leipzig. 1885. Bd.21. S.480-482.
5. Петербургский филиал Архива РАН. Ф.4. Оп.2 (1841). Д.179. Л.1.
6. *F.G.W. Struve*. Description de l'Observatoire astronomique central de Poulkova. St.-Petersbourg, 1845. S.99.

TO THE HISTORY OF ORIGINATION OF THE PULKOVO OBSERVATORY PORTRAIT GALLERY

Moskovchenko N.Ja.

*The Central (Pulkovo) Astronomical Observatory of the RAS, Saint-Petersburg,
The Russian Federation*

The discourse on the first pictures of portrait gallery of the Pulkovo observatory, namely on the portraits of mechanics Ertel, Merz and brothers Repsold, who have made the well-known big astro-metric Pulkovo instruments, is outlined in the given work.

ИСТОРИЯ НАУЧНЫХ СВЯЗЕЙ АСТРОНОМОВ «СЕВЕРНОЙ СТОЛИЦЫ» И КАЗАНИ

Нефедьев Ю.А.¹, Ризванов Н.Г.¹, Дубяго И.А.¹, Галеев А.И.², Вараксина Н.Ю.¹

¹*Астрономическая обсерватория им. В.П. Энгельгардта (АОЭ),
422526, Россия, Татарстан, Зеленодольский р-он, ст. Обсерватория, АОЭ, star1955@mail.ru*

²*Казанский государственный университет (КГУ),
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18,almazgaleev2@yandex.ru*

В работе рассматриваются традиционные связи между астрономами Санкт-Петербурга и Казани. Эта связь носит комплексный характер: обмен сотрудниками, стажировки студентов и молодых специалистов, защиты диссертаций, совместные научные исследования и публикации научных работ.

I. Из Санкт-Петербурга в Казань

Основателем астрономического отделения в Казанском университете является один из первых выпускников Академического университета при Петербургской Академии наук, ученик М.В. Ломоносова и Л. Эйлера, многолетний директор академической обсерватории в столице – **Степан Яковлевич Румовский** (1731-1812). Следует отметить, что кафедра астрономии Казанского Императорского Университета была второй по времени организации после Юрьевской (Тарту). В настоящее время Тарту за рубежом. Поэтому кафедра астрономии КГУ является самой старой в России. В Казанском Императорском Университете заведующими кафедры астрономии и астрономической обсерватории последовательно были: **Иосиф Антонович Литтров** (1781-1840), **Иван Михайлович Симонов** (1794-1855), **Михаил Васильевич Ляпунов** (1820-1868).

После М.В. Ляпунова директором Казанской Городской АО и заведующим кафедры астрономии Казанского университета стал выпускник Санкт-Петербургского университета, ученик А.Н. Савича **Мариан Альбертович Ковальский** (1821-1884). Назначение преемником М.А. Ковальского по рекомендации академика О.В. Струве молодого доктора астрономии и геодезии выпускника Санкт-Петербургского Университета **Дмитрия Ивановича Дубяги** (1849-1918) еще более укрепило астрономические научные связи между Казанью и Санкт-Петербургом.

В первые послереволюционные годы (1918-1919) в Энгельгардтовской астрономической обсерватории работал воспитанник Петербургского университета до последнего времени совсем неизвестный **Максимилиан Максимилианович Мусселиус** (1884-1938). С 1917 по 1928 гг. в АОЭ занимал должность младшего, а затем старшего ассистента еще один выпускник Санкт-Петербургского Университета – **Константин Константинович Дубровский** (1888-1956). С 1925 по 1931 г. он возглавил кафедру геодезии КУ.

В архивах Казанской Городской Астрономической Обсерватории и АОЭ имеется переписка с О.А. Баклундом, Ф.А. Бредихиным, Э.Э. Линдеманом, С.К. Костинским и др., которая касалась общих программ наблюдений, обмена астрономической информацией, обсуждения научных результатов. Актом существенной поддержки наблюдательной базы казанской астрономии со стороны Пулковской обсерватории стали в первую очередь уникальный гелиометр, на котором за 60 лет наблюдений получены большие ряды наблюдений кратера Местинг. А для изучения физической либрации Луны (ФЛЛ), а также два пулковских пассажных инструмента Бамберга с саморегистрирующими микрометрами, по просьбе Дубяго присланные Баклундом. Костинский по предложению директора АОЭ передал малый измерительный прибор Репольда и копии се-

ток Готье для обработки фотопластинок – они задумывались как основа астрофизической базы обсерватории.



Рис. 1. Уникальная фотография Пулковских астрономов. 1881 год.

Стоят: Жданов, Зейбоз, Цингер, Х. Струве, Бомберг, Виттрам, Линдеман, Л. Струве, Хербет.
Сидят: Шепелевич, Нюрен, Вагнер, О. Струве, Деллен, Хассельберг, Баклунд.

Следует отметить интересный проект (неосуществившийся) о возможной эвакуации Пулковской обсерватории в Казань в 1917-1918 гг. Он был изложен в письме нового директора ГАО А.А. Белопольского к Д.И. Дубяго, в котором тот спрашивает о возможности перевезти ящики с большими объективами, ценными рукописями и книгами и т. д., также он интересовался проблемой обустройства эвакуированных астрономов. Ответ последовал без промедления. Дубяго писал, что готов принять и багаж, и людей. Заранее были предусмотрены помещения, где разместить посылаемое. Выбор Белопольским Казани, как вероятного места эвакуации ценнейшего научного имущества и личного персонала "астрономической столицы мира", является еще одним авторитетным свидетельством того факта, что Казанская обсерватория и ее продолжение - обсерватория им Энгельгардта в 1917 году продолжала удерживать первое место среди университетских обсерваторий России. Необходимость эвакуации отпала, но Казань была всегда готова гостеприимно принять своих петербургских коллег.

В годы Великой Отечественной Войны в восточные районы страны были эвакуированы некоторые лаборатории Ленинградского университета и институты в Казань и в Елабугу. Так Институт теоретической астрономии под руководством **Александра Марьяновича Гижицкого** (1878-1956) получил «временную прописку» в Казани. Эвакуированные астрономы жили в общежитии, а работали сначала в одном из корпусов университета, а затем в здании музыкального училища, которое и сейчас находится по адресу ул. Жуковского, д. 4. Примечательно, что одна из приехавших – **Шафика Гильмиевна Шараф** в 1915 году родилась и до 13 лет жила в Казани, поэтому она

смогла жить и работать у родственников, занимаясь расчетами орбиты Плутона, которые стали основой ее докторской диссертации, защищенной в 1965 г. В честь нее названа малая планета 5543 Шараф.

Приводим выдержку из доклада доцента **Л.Я. Ананьевой** "Воспоминания о деятельности профессора А.Д. Дубяго и жизни кафедры астрономии КГУ в военные годы 1941-1945 гг.", подготовленного для одной из конференций. "... Эвакуировался и ИТА из Ленинграда, но, к сожалению, институт уже не могли разместить в здании АО (там уже располагался Институт теоретической геофизики из Москвы), и сотрудники ИТА работали в разных помещениях, разбросанных по университету. Несмотря на большие трудности и неустроенность (у кафедры не осталось помещения для работы) сотрудники продолжали вести научную работу. В эти годы завязались личные контакты сотрудников с эвакуированными учеными. Особенно с сотрудниками ИТА, работающими в области кометной астрономии **Е.И. Казимирчак-Полонской**, **С.Г. Маковером** и другими молодыми сотрудниками института. В дальнейшем, уже в мирное время, эти контакты переросли в содружество, способствующее успешной подготовке студентов кафедры по небесной механике. Студенты проходили производственную практику в ИТА, аспирантуру, получали помощь и консультации при защитах диссертаций. За все это кафедра благодарна ИТА ..."

В эти годы в АОЭ работал и писал докторскую диссертацию один из крупнейших астрономов Ленинградского университета **Александр Николаевич Дейч**.

Сотрудники АОЭ взвалили на свои плечи деятельность Бюро Астрономических Телеграмм и выпуск "Астрономических Циркуляров", что свидетельствовало об активной деятельности астрономической науки в нашей стране даже в такое время. Удивительно, но американцы наряду с вооружением, продовольствием и пр., присылали по ленд-лизу такие астрономические журналы, как *Astronomical Journal*, *Astrophysical Journal* и др. (в 2-х экз.). К сожалению, уже многие послевоенные годы университетские обсерватории перестали получать зарубежные научные журналы.

II. Из Казани в Санкт-Петербург

После 30-х годов XX-го века наблюдается обратная картина – выпускники Казанского университета приглашаются для стажировки и работы в Ленинградский университет, Институт Теоретической астрономии АН СССР (Институт Прикладной Астрономии АН СССР) и в Пулковскую обсерваторию (ГАО АН СССР).

Самой заметной фигурой среди приехавших из Казани в "Северную столицу" (1938 г.) астрономов является профессор, член-корреспондент АН СССР **Владимир Алексеевич Крат** (1911-1983). В конце 20-х – начале 30-х гг. XX в. во время учебы на физико-математическом факультете КУ он специализировался по теоретической астрофизике, затем работал старшим научным сотрудником астрометрического сектора АОЭ. В 1936 г. под руководством профессора КГУ и директора АОЭ Дмитрия Яковлевича Мартынова В.А. Крат защитил диссертацию «Проблемы равновесия тесных двойных звёзд» на степень доктора физико-математических наук.

С 1938 г. В.А. Крат в Пулковской обсерватории занимал должности научного сотрудника, заведующего отделом физики Солнца, а в 1964-1979 годы был директором ГАО. Стал организатором в 1963-66 гг. первой советской солнечной стратосферной обсерватории. Он организовал Шемахинскую астрофизическую обсерваторию в Азербайджане. Был автором множества работ по проблемам физики Солнца, двойных и переменных звёзд, космогонии, космологии, стратосферной астрономии. В частности, в 1958 г. развил представление о хромосфере как об образовании, состоящем из горячих и холодных волокон типа протуберанцев.

Начиная с 50-х годов, выпускников Казанского университета стали приглашать в свои ряды астрономические организации "Северной столицы". Большинство поехали работать в Пулковскую обсерваторию, несколько человек связали свою судьбу или стажировались в Институте Теоретической Астрономии. Далее мы перечислим большинство этих ученых, кратко описав области их деятельности.

Ученик А.Д. Дубяго **Бронислав Клавдиевич Багильдинский** после окончания в 1952 г. КГУ уехал работать в Пулковскую обсерваторию, где занимался фундаментальной астрометрией. В 80-е годы он был ученым секретарем ГАО.

Флёра Фатыховна Калихевич (Булатова) (17.03.1929, Казань) в 1947-1952 училась в Казанском университете по специальности астрономия. После окончания университета работала в ГАО АН СССР, а с 1957 по 1985 в Николаевском отделении ГАО научным сотрудником и руководителем группы астрофотографии. Занималась определением точных экваториальных координат тел Солнечной системы и звёзд по фотографическим наблюдениям на астрографах (в Пулкове и Николаеве). Под научным руководством проф. А.Н. Дейча в 1970 в ГАО защитила кандидатскую диссертацию.

Астрофизик **Ольга Николаевна Орлова (Чудовичева)** (3.03.1930, Казань – 4.04.2002, Пулково). Дочь сотрудника АОЭ **Н. Чудовичева**. Выпускница кафедры астрофизики 1952 года. С 1952 г. до 1985 г. работала в отделе фотографической и звёздной астрономии ГАО АН СССР. В 1969 защитила диссертацию на степень канд. физ.-мат. наук по изучению планетарных туманностей (научный руководитель профессор А.Н. Дейч).

Альфия Халитовна Курмаева (родилась в 1931) закончила КГУ в 1953, после аспирантуры в секторе астроботаники АН Казах. ССР (г. Алма-Ата) и защиты кандидатской диссертации «Спектрофотометрические исследования зоревых явлений» под руководством академика Г.А. Тихова работала в Главной Астрономической обсерватории АН СССР (ветеран ГАО). В своей научной деятельности рассматривала исследование влияния оптической нестабильности земной атмосферы на изображения небесных объектов. В 1962-1987 была учёным секретарем комиссии оптической нестабильности земной атмосферы при Астросовете.

После окончания математического отделения физико-математического факультета КГУ **Галина Дмитриевна Батурина** (1932) с 1955 стала научным сотрудником ГАО АН СССР, затем была в группе по наблюдению тел Солнечной системы на меридианных инструментах Горной астрономической станции вблизи Кисловодска. С 1977 г. кандидат физико-математических наук. Большинство ее работ имеет прикладной характер в области астрометрии.

Старший научный сотрудник отдела физики Солнца Пулковской обсерватории **Евгений Степанович Кулагин** (1941) в 1958-1963 гг. учился на кафедре астрономии КГУ. В 1968 защитил кандидатскую диссертацию под руководством академика В.П. Линника. Области его интересов связаны со звёздной интерферометрией, созданием спектральных приборов и их применением для исследований Солнца

Выше уже было сказано об Институте теоретической астрономии Академии наук СССР, который долгие годы сотрудничал с кафедрой астрономии КГУ. Этот институт, который в 1998 году был присоединен к Институту прикладной астрономии, стал "родным" для довольно большой группы казанских выпускников разных лет. Еще в 60-е и 70-е годы XX века в тесном содружестве с группой отдела малых планет ИТА под руководством **Елены Ивановны Казимирчак-Полонской** и ведущих казанских астрономов **Людмилы Яковлевны Ананьевой** и **Юрия Владимировича Евдокимова** проводились многолетние исследования движения конкретных тел Солнечной системы - комет Темпеля-Туттля, Джакобини-Циннера, Понсе-Винника, Тейлора и др., а также, порожденных ими метеорных роев. В это время здесь стажировались или выполняли

дипломные работы молодые казанские астрономы: **Е.Д. Кондратьева**, **Е.А. Воробьев**, **Л.Е. Никонова**, **К.П. Мацуков**, **З.К. Тутышкина** (и ныне являющаяся сотрудником кафедры астрономии КГУ), **Л.Л. Шишкина**, **Е.А. Резников**, **А. Пушкарев**, **В.В.** и **Н.Ю. Емельяненко** (оба окончили КГУ в 1974 г. и работают сейчас в Челябинском политехническом институте). Под руководством, **С.Г. Маковера**, **Ф.Б. Ханиной**, **Н.А. Бохан**, **Н.А. Беляева**, **Н.И. Глебовой**, **В.А. Шор** и др. они проводили расчеты движения комет и малых планет с помощью программ для компьютеров первого поколения, которые в то время были разработаны лишь в Ленинграде. Расчетные исследования поддерживались наблюдениями малых планет, которые проводились казанскими коллегами (**Георгий Викторович Жуков** и др.) на Зеленчукской станции Казанского университета.

Учились в аспирантуре и работали в ИТА (ИПА): к. ф.-м. н. **Елизавета Николаевна Макарова** окончила КГУ в 1955 г., работала в этом институте до 2002 г, занималась динамикой ИСЗ, методами численного интегрирования и обработки наблюдений; **Лидия Ивановна Чунаева (Малахова)** - выпускница КГУ 1967 года, работала в ИТА до 1996.

Особо стоит отметить **Искандера Сафаевича Гаязова**, который закончил физический факультет Казанского государственного университета по специальности "астрономогеодезия" в 1974 году, работал в ИТА и ИПА по направлениям небесной механики, спутниковая геодезия и геодинамики. В настоящее время в Институте прикладной астрономии он является заведующим лабораторией космической геодезии и вращения Земли. В 2005 году И.С. Гаязов защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности "Астрометрия и небесная механика" на тему: "Использование высокоточных наблюдений геодезических и навигационных ИСЗ для решения задач геодинамики".

В 1983-1985 гг. в аспирантуре ИТА учился выпускник КГУ 1978 года по специальности "астрономогеодезия" **Ренат Вагизович Загретдинов**, руководителем которого был член-корреспондент В.К. Абалакин. В 1987 г. в Пулкове он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование резонансных движений троянских астероидов». В настоящее время Р.В. Загретдинов является доцентом кафедры астрономии Казанского университета.

Наконец, один представитель казанской астрономии – **Андрей Викторович Елькин** – закончивший физический факультет КГУ в 1986 г., через четыре года был приглашен в ряды сотрудников Санкт-Петербургского государственного университета. Там он занимался гравитационным потенциалом и фигурами равновесных небесных тел и в 1997 г. защитил диссертацию на звание кандидата физико-математических наук под научным руководством доктора физ.-мат. наук К.В. Холшевникова.

Многие выпускники кафедры астрономии КГУ именно в "Северной столице" в результате успешных защит диссертаций стали кандидатами физико-математических наук. Перечислим их. В Пулковской обсерватории: **Ф.Ф. Калихевич** (в 1970 г.), **А.В. Шаврина** (1973), **В.Н. Милованов** (1980), **Р.В. Загретдинов** (1987), **М.Л. Демидов** (1989), **Л.А. Павлова** (1989), **И.А. Дубяго**, **Л.Н. Князева** (1990), **Н.К. Петрова**, **Л.И. Рахимов** (1996), **Г. Валявин**, **В.В. Шиманский** (1998), **В. Неустроев** (1999), **А.И. Галеев** (2005), в Санкт-Петербургском университете: **А.В. Елькин** (1986), **М.Г. Ишмухаметова** (в 1999 году).

В свою очередь, докторские диссертации защитили следующие прославленные представители казанской астрономической школы: в Главной астрономической обсерватории АН СССР – в 1957 году **Шаукат Таипович Хабибуллин**, двадцать лет работавший проректором по научной работе КГУ, директор АОЭ **Анатолий Алексеевич Нефедьев** (1958), проф. Челябинского государственного технического университета

Вячеслав Васильевич Емельяненко (его именем назван астероид 5617 Emelyanenko) в 1994 г.; в Ленинградском (Санкт-Петербургском университете) – нынешний зав. кафедрой астрономии и директор АОЭ **Наиль Абдуллович Сахибуллин** в 1987 году, зав. лабораторией физики звезд в САО РАН **Сергей Николаевич Фабрика** (1998), **Людмила Ивановна Машонкина** (сейчас научный сотрудник ИНАСАН) в 2003 г. и; наконец, в 1997 году в Институте прикладной астрономии – бывший зам. директора АОЭ, проф. Марийского государственного педагогического института **Анатолий Юрьевич Яценко**. В 1990-е годы в пулковском Совете последовательно защитили кандидатские диссертации сотрудники отдела фотографической астрометрии АОЭ: **Р.Р.Шаймухаметов, Л.И. Рахимов, И.А.Даутов**.

III. Совместные работы

Вторая половина XX века знаменательна крупными совместными исследованиями астрономов двух городов. К примеру, в 60-е годы был проведен совместный проект по фотографическим наблюдениям Луны для определения селенодезических координат точек на ее поверхности. Со стороны АОЭ в нем участвовал **Науфаль Гаязович Ризванов**, который впервые в мировой практике сумел получить крупномасштабные снимки Луны на фоне звезд на горизонтальном телескопе АОЭ методом мгновенных экспозиций. Воодушевленный этим примером пулковский астроном **Николай Федорович Быстров** разработал оригинальную кассетную приставку для наблюдений Луны на фоне звезд другим методом. Для наблюдений Луны Пулковские и Казанские астрономы (**Х.И. Поттер, Н.Г. Ризванов**) организовали высокогорную станцию на отрогах Зангезурского хребта, в заброшенном руднике Агдаре. Пулковчане наблюдали Луну (без звезд) на длиннофокусном телескопе системы Максудова, казанцы – на горизонтальном телескопе АОЭ (Луну на фоне звезд). Эти наблюдения финансировались ИКИ АН СССР, т.к. представляли интерес для космических исследований Луны. При выполнении этих работ было опубликовано ряд совместных статей [1-3].

80-е годы ознаменовались крупными совместными работами по составлению и уточнению каталога звезд южного неба по фотографическим наблюдениям по программе ФОКАТ-Ю. Работа проводилась в виде хоздоговора (заказчик Пулково). Со стороны ГАО АН СССР научный руководитель – д.ф.-м.н. **Д.Д.Положенцев**. Со стороны КГУ научный руководитель д.ф.-м.н. **Н.Г. Ризванов**, основные исполнители – **И.А. Даутов, М.И. Кибардина**. На ША Цейсс Зеленчукской станции были получены с 4-кратным перекрытием площадки южного неба в зоне склонений от -8° до -20° . Было получено около тысячи астронегативов, обрабатывались в ГАО АН СССР. Эти снимки совместно с боливийскими снимками южного неба были использованы при построении каталога звезд с отрицательным склонением – ФОКАТ-Ю, а затем при создании сводного каталога PPM. В 90-е годы совместная работа (Пулково и КГУ) выполнялась по программе Соросовского гранта: RL1000, RL1300 под руководством д.ф.-м.н. **Д.Д. Положенцева** (Пулково) по теме уточнения каталога ФОКАТ-Ю. Со стороны Казани руководитель гранта д.ф.-м.н. **Н.Г. Ризванов**. По результатам изданы статьи [4-6]. В этот же период отделы фотографической астрометрии Пулково и АОЭ проводили совместные наблюдения планеты Плутон [7].

Следует также отметить исследования астрономической рефракции, проводимые **Антониной Ивановной Нефедьевой** с учетом новейших данных о строении земной атмосферы. Со стороны Пулково рефракция изучалась **И.С. Гусевой** и др.

Совместные исследования по селенодезии и динамике Луны по крупномасштабным снимкам Луны на фоне звезд, полученным в Агдаре, проводились сотрудниками ИПА РАН и АОЭ [8].

В настоящее время продолжается сотрудничество казанских и петербургских астрономов. Так, совместно анализировались и обсуждались наблюдения астероидов (в том числе замечательной двойной малой планеты **762 Пулкова**), сверхновой SN2005cs в галактике M51, которые выполнили в 2002-2005 гг. на 1.5-м телескопе РТТ150 в Турции **Ильфан Фяритович Бикмаев** и **Алмаз Галеев**. Также в исследования, ведущиеся **Виктором Владимировичем Орловым** с сотрудниками с 2002 г., подключился аспирант, а ныне кандидат физ.-мат. наук кафедры астрономии КГУ **Роман Жучков** (выпускник 2001 г.). Эти работы посвящены изучению динамики кратных звездных систем со слабой иерархией, причем в исследованиях эффективно используются возможности и опыт как астрономов Санкт-Петербургского университета в области небесно-механических расчетов, так и казанской астрофизической школы.

Таким образом, двухсотлетняя история существования и взаимодействия связей Санкт-Петербурга (Ленинграда) и Казани довольно многообразна, характеризуется яркими именами, которые оставили свой вклад в развитие астрономии нашей страны. Все это хорошо демонстрирует, какую роль играет постоянное сотрудничество ученых разных научных школ, которые реализуют общие научные проекты и поднимают уровень нашей российской науки на новые высоты, и также подтверждает одно знаменитое высказывание великого французского писателя Виктора Гюго: *"Искусство – это я, наука – это мы"*.

Авторы благодарны всем коллегам – сотрудникам КГУ, АОЭ и ИПА, которые, делаясь своими воспоминаниями, приняли участие в подготовке этой статьи. Работа выполнена в рамках Российской научно-технической программы "Развитие учебно-методического комплекса АОЭ".

Литература

1. *Sh.T. Khabibullin, N.G. Rizvanov, N.F. Bystrov. Large star calibrated lunar photographs // Moon. - 1974.- vol.11, N. 1.- P.125-136.*
2. *Н.Ф. Быстров, Н.Г. Ризванов. Позиционные наблюдения Луны на 8-метровом горизонтальном телескопе АОЭ // Тр. 18-й Астром. конф. СССР.- Л.: Изд. «Наука». - 1972. - С.325-327.*
3. *Н.Ф. Быстров, Н.Г. Ризванов. О новом методе фотографирования Луны со звездами на раздельных пластинках // Тр. Казанской Городской АО.- 1973.- No 39. - С.156-175.*
4. *Dautov I.A., Kibardina M.I., Polojentsev D.D., Polojentsev A.D., Rizvanov N.G., Yagudin L.I. Definement of the Focat cataloq in the declination zone from -10 to - 18 degrees//Inst. Theoretical Physics and Astronomy, Vilnius, International Journal «Baltic Astronomy». - 1997. - Vol 6, No 2. - P. 337-338.*
5. *Даутов И.А., Кибардина М.И., Положенцев Д.Д., Положенцев А.Д., Ризванов Н.Г., Ягудин Л.И. Дополнение к каталогу ФОКАТ в зоне от –10 до –18 градусов //Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики. - СПб. - 1996. - С.24-25.*
6. *Даутов И.А., Кибардина М., Матвеев Н.Н., Галеева З.А., Положенцев Д.Д., Ризванов Н.Г., Ягудин Л.И., Zalles R.F. Улучшение каталога Фокат-Ю в зоне склонений от –10 до –32 градусов //Казанский университет, Общепланетарные проблемы исследования Земли, 15-18 ноября 1994.-1994.- С. 1.*
7. *Рыльков В.П., Дементьева А.А., Нарижная Н.В., Киткин В.Н. Позиционные фотографические наблюдения Плутона на телескопе Цейс 400 АОЭ // Депонировано в ВИНТИ 03.05.95, No 1219-095.-1995.- С. 7.*
8. *Алешкина Е.Ю., Красинский Г.А., Рахимов Л.И., Ризванов Н.Г. Уточнение селенодизической системы координат из обработки крупномасштабных снимков Луны // Труды ИПА РАН. (Астрометрия и геодинамика) - 1998. - Вып.3 - С. 88-95.*

THE HISTORY OF THE SCIENTIFIC RELATIONSHIPS OF ASTRONOMERS "NORTH CAPITAL" AND KAZAN

Nefediev Yu.A.¹, Rizvanov N.G.¹, Dubiago I.A.¹, Galeev A.I.², Varaksina N.Yu.¹

¹*Engelhardt astronomical observatory (EAO), 422526,*

Russia, Tartarstan, Zelenodoliskiy region, cl. Observatory, EAO, star1955@mail.ru

²*Kazan state university (KSU),*

420008, Russia, Kazan, str. Kremlevskaia, 18,almazgaleev2@yandex.ru

Traditional scientific relations between astronomers of St. Petersburg and Kazan are considered. These relations have a complex nature: scientist exchange, training of students and young specialists, defend a dissertations, joint scientific studies and publications of the scientific work.

ШЕДЕВРЫ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ XIX ВЕКА - ГЛАВНЫЕ МЕРИДИАННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ПУЛКОВСКОЙ И НИКОЛАЕВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИЙ

Пинигин Г.И.¹, Толбин С.В.²

¹*Научно-исследовательский институт (Николаевская астрономическая обсерватория),
Николаев, Украина;*

²*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург,
Российская Федерация*

В.Я. Струве и меридианные инструменты Пулковской обсерватории

История создания знаменитых меридианных инструментов Пулковской обсерватории началась почти на два десятилетия раньше, чем история самой обсерватории. Только предшествовавшая интенсивная и плодотворная научная деятельность основателя и первого директора Пулковской обсерватории В.Я. Струве (1793-1864) и его уникальный многолетний опыт работы с инструментами Дерптской обсерватории, на посту директора которой он пробыл с 1817 по 1838 годы, позволили ему четко представлять какие именно инструменты необходимы для новой Российской обсерватории, для каких астрономических целей и задач они нужны и у каких фирм, мастеров-механиков и оптиков Европы их надо заказывать. В России в начале 30-х годов XIX века только В.Я. Струве обладал этими уникальными знаниями и опытом, и поэтому мог блестяще справиться с грандиозной задачей создания новой обсерватории.

«Основная заслуга В.Я. Струве и заключается в том, что он смог предвидеть развитие астрономии, выбрать или сконструировать такие инструменты, подобрать таких сотрудников и так спланировать наблюдения, что Пулковская обсерватория уже через 30 лет после своего основания получила наименование «Астрономической столицы мира»» [1].

Будучи еще студентом-филологом Дерптского университета, Струве стал глубоко интересоваться астрономией и начал свою работу на только что построенной (1809) обсерватории Дерптского университета с установки и сборки заказанных ранее астрономических инструментов.

Свои поездки в Германию на родину в 1814 и 1815 годах Струве использовал для знакомства с выдающимися механиками и учеными. Он встретился в Гамбурге с И. Репсольдом, осмотрев его мастерские и обсерваторию, посетил Ольберса, Гаусса, Гардинга и тогда еще молодого Бесселя в Кенигсберге, с которым у него завязалась многолетняя дружба.

Заказанные им приборы и инструменты, вместе с меридианным кругом Рейхенбаха, стали на многие годы хорошей инструментальной базой для Дерптской обсерватории (Рис. 1).

К началу XIX века стало окончательно ясно, что для увеличения точности наблюдений «основные усилия астрономов должны были направляться на улучшение методов наблюдений и устранение систематических инструментальных ошибок» [2].

Большие научные результаты, полученные Струве за время работы в Дерптской обсерватории принесли ему широкую известность и заслуженную славу – избрание его в 1826 г. почетным членом Академии наук в Петербурге, награждение различными орденами и чинами. В 1832 г. В.Я. Струве был избран ординарным академиком (действительным членом) Петербургской Академии наук (Рис. 2).

15 апреля 1834 г., в день рождения В.Я. Струве, состоялась его аудиенция с императором Николаем I, результатом которой стал специальный указ царя, в котором «повелевалось»: «Соорудить в окрестностях Санкт-Петербурга, на Пулковской горе, Глав-

ную астрономическую обсерваторию и снабдить её полным набором совершеннейших инструментов». Были утверждены предложенные Струве устав и штат обсерватории [2], а также проект главного здания, созданный архитектором Александром Брюлловым (1798-1877). В.Я. Струве был назначен директором новой обсерватории, и ему были предоставлены неограниченные средства для заказа наиболее совершенных инструментов, какие только были в состоянии изготовить и поставить наилучшие мастера того времени.



Тартуская астрономическая обсерватория после перестройки башни в 1824 г.

Рис. 1.



Рис. 2.

Уже в июне 1834 г. Струве отправился за границу в Германию для заказа этих инструментов и обсуждения их конструкций с выдающимися мастерами-механиками, которых в то время официально именовали «художниками» (A. Repsold & Soehne, Reichenbach & Ertel, Ertel & Sohns).

Для решения основной цели, стоящей перед новой обсерваторией – определения точных координат небесных светил и их собственных движений для составления звездных каталогов, которые и в XIX веке и ныне составляют фундамент астрономии – Струве предложил использовать новые принципы. Струве разделил задачу определения координат звезд на две части: раздельное определение абсолютных прямых восхождений и склонений, а также независимое определение относительных координат звезд. Как показало время, такой подход полностью себя оправдал. Струве был первым, кто отошел от традиции использования для решения этих задач в основном только меридианных кругов.

В мастерских Мюнхенского механического института у знаменитого механика Эртеля (Рис. 3), руководившего мастерскими после смерти Рейхенбаха, были заказаны два инструмента: **Большой пассажный инструмент** (БПИ, $D = 150 \text{ mm}$, $F = 2590 \text{ mm}$), предназначенный для определения абсолютных прямых восхождений звезд (Рис. 7), и **Большой вертикальный круг** (БВК, $D = 150 \text{ mm}$, $F = 1960 \text{ mm}$), для определения абсолютных склонений звезд (Рис. 8). А **Меридианный круг** (МКР, $D = 150 \text{ mm}$, $F = 2150 \text{ mm}$) для дифференциальных измерений (Рис. 9) и **Пассажный инструмент**, устанавливаемый в первом вертикале (ПИР, $D = 155 \text{ mm}$, $F = 2350 \text{ mm}$) и предназначенный для определения астрономических постоянных (абберации, нутации) и географической широты (Рис. 10), были заказаны братьям Репсольдам (Адольфу и Георгу) (Рис. 4, 5) в Гамбурге. Полный список инструментов и приборов, заказанных Струве для Пулковской обсерватории, приведен в Описании обсерватории [2] и Сборнике документов [4]. Особо необходимо отметить заказ в Мюнхенском оптическом институте у Мерца (Рис. 6) и Малера (преемников знаменитого Фраунгофера) большого рефрактора с гигантским для того времени ахроматическим объективом ($D = 14,95 \text{ дюйма}$ (около 38 см), $F = 690 \text{ см}$), предназначенного для обзора звезд и наблюдений двойных звезд, а также гелиометра с разрезным объективом ($D = 190 \text{ mm}$, $F = 3000 \text{ mm}$) у Уцшнейдера.

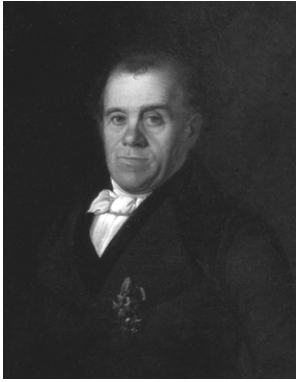


Рис. 3.



Рис. 4.



Рис. 5.



Рис. 6.

В.Я. Струве принимал непосредственное участие в конструировании и создании всех главных меридианных инструментов для Пулковской обсерватории.



Рис. 7.

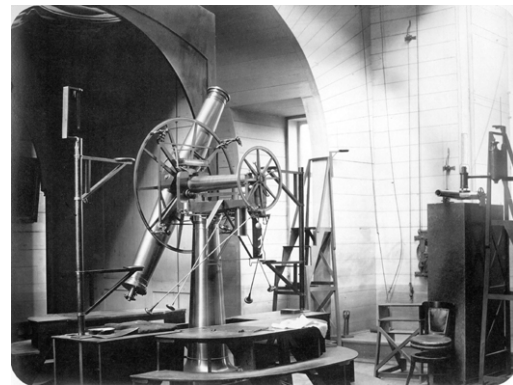


Рис. 8.

Основными принципами, которые закладывались в конструкцию новых меридианных инструментов, являлись жесткость и взаимная неподвижность всех элементов, а также общая сбалансированность и симметричность инструментов. Объектив и окулярная части могли меняться местами, не нарушая равновесия инструмента.

В конструкцию вертикального круга (БВК) была заложена возможность быстрой перекладки инструмента, подобно астрономическому теодолиту, чтобы каждая звезда, вблизи её кульминации, могла наблюдаться дважды. Для придания большей жесткости и уменьшения гнущия, трубы инструмента были сделаны не коническими, а эллиптическими в сечении. БВК был снабжен большим отсчетным кругом ($D = 109$ см), разделенным через $2'$, и микроскопами-микрометрами.

Обсуждая с Репсольдами конструкцию нового меридианного круга (МКР), Струве предложил установить на инструмент не один, а два круга (для симметрии), разделив второй круг только через 1° . Сделать объективную и окулярную части взаимозаменяемыми, установить отдельно на специальной раме отсчетные микроскопы-микрометры и снабдить инструмент комплектом коллиматоров для контроля его поведения.

По поводу Пассажного инструмента в первом вертикале (ПИР) Струве писал, что «При первом моем употреблении этого инструмента в первом вертикале в 1826 г. я убедился, что эти наблюдения способны дать самую высокую точность...» [2] (инструмент не сохранился).

Торжественное открытие Пулковской обсерватории, расположенной в 19 км от центра Санкт-Петербурга (долгота = $+30^\circ 19'.4$, широта = $+59^\circ 46'.4$, высота = 75 м), состоялось 19 (7) августа 1839 года. С этого времени началась кропотливая работа по установке и тщательному исследованию всех инструментов Пулковской обсерватории.

Главные меридианные инструменты были установлены в меридианных залах на массивных и сложных по конструкции кирпичных столбах, общая высота которых достигала 8 м, а их основания размером 3×12 м, представлявшие собой усеченные пирамиды, размещались в подвальной части здания.

По отзывам современников, главные меридианные инструменты Пулковской обсерватории по праву можно отнести к разряду шедевров астрономической техники XIX века, которые принесли российской астрономической науке мировую славу.

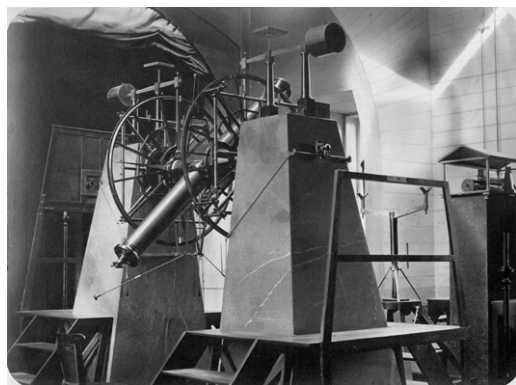


Рис. 9.

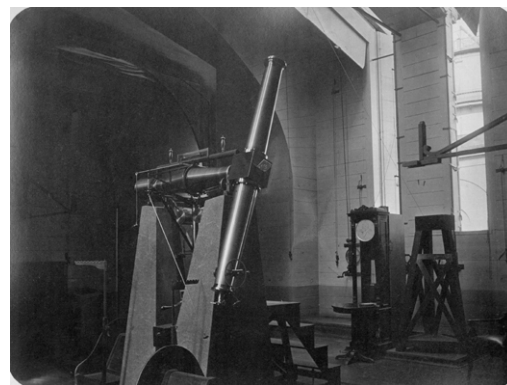


Рис. 10.

По наблюдениям на этих инструментах были выведены высокоточные абсолютные Пулковские каталоги звезд, составившие основу серии из 6-ти фундаментальных каталогов, с первого (Pu45) до последнего каталога (Pu30) и дифференциальные, в основном для сводных каталогов из серии AGK (Astronomische Gesellschaft Katalog). В 1889 г. был опубликован первый дифференциальный каталог, выполненный на основе 15.4 тыс. наблюдений в 1841-1869 гг. звезд до 7 величины, широко применявшийся для определения собственных движений звезд и вывода новых значений прецессии и параметров движения Солнца. В 1891 году был опубликован второй дифференциальный каталог [3].

После восстановления разрушенной в годы второй мировой войны Пулковской обсерватории (1954 г.) в Западном меридианном зале на своем фундаменте был снова установлен БПИ, а в новом полуцилиндрическом павильоне на Научной площадке - БВК. С этого времени начались работы по созданию Каталога слабых звезд (КСЗ) и в течение последующих семи лет на 11 обсерваториях разных стран, включая Пулково и Николаев, были выполнены наблюдения звезд AGK3R для улучшения фундаментального каталога FK3. После 1976 года оба классических инструмента – БПИ и БВК были перевезены на новую астрометрическую базу Пулковской обсерватории на территории Горной станции под Кисловодском для высокоточных наблюдений Солнца и планет.

К настоящему времени сохранилось три меридианных инструмента – БПИ и БВК находятся в Пулковской обсерватории, а МКР – в Николаевской астрономической обсерватории (Украина). В марте 1989 г. Большой пассажный инструмент Эртеля-Струве и Большой вертикальный круг Эртеля-Струве были признаны памятниками истории науки и техники и с этого времени находятся под охраной государства. В 2003 году, после более чем 160-ти лет астрометрических наблюдений эти два уникальных меридианных инструмента были возвращены в Пулковскую обсерваторию и прошли реставрацию. Торжественное открытие реконструированного Западного меридианного зала Главного здания Пулковской обсерватории с установленными на своих исходных исторических фундаментах БПИ и БВК (теперь уже как музейных экспонатов) состоялось 19 июня 2009 г.

Меридианные инструменты Николаевской обсерватории

Николаевская обсерватория, основанная в 1821 году, расположена в г. Николаеве (долгота = $+31^{\circ}52'$, широта = $+46^{\circ}58'$, высота = 52 м). В 1837 г. обсерватория была оснащена Меридианным телескопом (МТ) Рейхенбаха-Эртеля ($D = 102 \text{ mm}$, $F = 914 \text{ mm}$) (не сохранился), с его помощью директор обсерватории К. Кнорре участвовал в составлении 5-го листа Берлинских академических звездных карт (от $3^{\text{h}}56^{\text{m}}$ до $5^{\text{h}}54^{\text{m}}$ по прямому восхождению и от -15° до $+15^{\circ}$ по склонению), с помощью которого были открыты малые планеты Астрея и Флора и выполнены другие важные работы.

После реставрации и передачи в 1955 г. МКР в Николаевскую обсерваторию, он был установлен в новом павильоне, с раскатной кровлей и щелью в меридиане шириной 2.5 м, с двумя установленными горизонтальными коллиматорами [5].

С 1956 г. на МКР были начаты наблюдения в более южной, чем в Пулкове зоне склонений. В течение 50 лет на МКР были получены 9 каталогов по международным программам (11 обсерваторий разных стран), предложенных пулковскими и николаевскими астрономами. Первая серия 1966 г. визуальных дифференциальных наблюдений под руководством Я.Е. Гордона включала 9994 звезды в зоне склонений от -5° до $+25^{\circ}$ из программы AGK3R для улучшения фундаментального каталога FK3 и 2600 звезд от -5° до -20° из программы каталога слабых звезд (КСЗ). Всего в этой серии было выполнено на МКР 37 тыс. наблюдений.

В 1964 году МКР был оснащен четырьмя фотографическими микроскопами для отсчета лимбов. В 1966 г. был получен каталог 5976 южных опорных звезд (SRS) и каталог 727 ярких звезд (BS). В 1969-1972 гг. получен каталог 9580 зодиакальных звезд, а в 1974-76 гг. каталог 2525 звезд из ФКСЗ и 5227 звезд FK4 в зоне склонений от -20° до $+90^{\circ}$. После установки на МКР фотоэлектрического окулярного микрометра, в 1984-1986 гг. были получены: каталог 1575 звезд яркой светимости (HLS) и каталог 1314 звезд из «Николаевской экваториальной зоны» списка И.Картацци для улучшения FK5. Последние наблюдения опорных звезд вокруг внегалактических радиоисточников и наблюдения тел Солнечной системы выполнялись с ПЗС отчетными системами лимба. В итоге последние данные о точности единичного наблюдения МКР были достаточно высокими для 80-х годов ($\pm 0.12'' \div \pm 0.14''$).

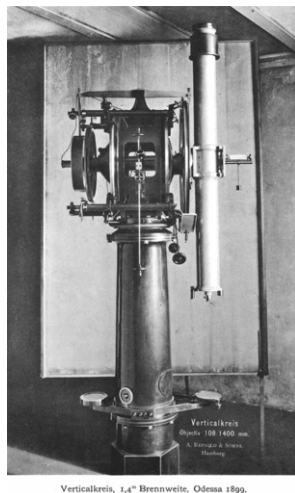


Рис. 11.

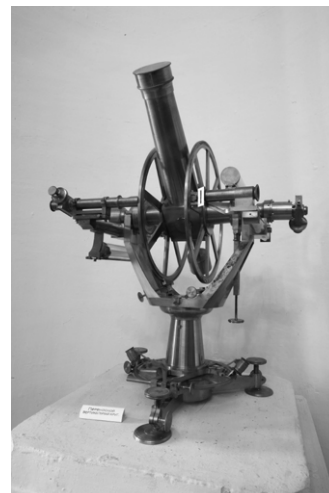


Рис. 12.

В 2002 году после реставрационного восстановления МКР к виду, близкому к первоначальному, он был размещен в астрономическом музее Николаевской обсерватории. Сама Николаевская обсерватория с 2008 года была включена в предварительный список объектов мирового наследия ЮНЕСКО (№ 5116).

Для определения абсолютных склонений наиболее удачным инструментом в Николаевской обсерватории зарекомендовал себя Вертикальный круг Репсольда ($D = 108 \text{ mm}$, $F = 1400 \text{ mm}$). В 1897 г. директор Пулковской обсерватории О.А. Баклунд заказал его в Мюнхене (A. Repsold & Soehne) для Одесского отделения, где с 1899 г. были начаты наблюдения (Рис. 11). После передачи Николаевской морской обсерватории в ведение Пулковской обсерватории и установки ВКР в Николаеве, наблюдения с 1913 г. были продолжены.

На ВК Репсольда наблюдения проводились до 1985-1992 гг. Всего было получено 5 абсолютных каталогов склонений (Nik25, список звезд NFK от полюса до -33° , Nik30 для уточнения склонений звезд FK3, Nik50, Nik60). Все каталоги абсолютных склонений, полученные из наблюдений на вертикальном круге Репсольда в Николаевской обсерватории, использовались при создании фундаментальных каталогов NFK, FK3, FK4, FK5 [6]. При этом значительный вклад внесен Г.К. Циммерманом и В.П. Сибилевым. В настоящее время Вертикальный круг Репсольда отреставрирован и в мае 2009 г. передан в музей Николаевской астрономической обсерватории.

Во время астрономических и триангуляционных работ вдоль побережья Черного моря второй директор Николаевской обсерватории НАО в 1871-1903 гг., профессиональный геодезист И.Е. Кортацци использовал переносной вертикальный круг Репсольда ($D = 40 \text{ mm}$, $F = 500 \text{ mm}$) для определения времени и широты на астропунктах. Переносной ВКР был изготовлен в 1868 г. фирмой Репсольда (с 1867 – A.Repsold & Soehne), Гамбург (Рис. 12). В настоящее время он также является экспонатом астрономического музея Николаевской обсерватории.

Литература

1. Д.Н. Пономарев. Роль В.Я. Струве в создании инструментальной базы Пулковской обсерватории. Сб. статей и материалов к 100-летию со дня смерти. Под ред. акад. А.А. Михайлова, М.: «Наука», 1964, с. 53-74.
2. *F.G.W. Struve*. Description de l'Observatoire astronomique central de Poulkova. St.-Petersbourg, 1845.
3. «150 лет Пулковской обсерватории». Под ред. чл.-кор. АН СССР В.К. Абалакина. Ленинград: «Наука», 1989.
4. «Главная астрономическая обсерватория в Пулкове 1839-1917 гг. Сб. док.», Отв. ред. чл.-кор. РАН В.К. Абалакин, Санкт-Петербург, «Наука», 1994.
5. *Г.М. Петров*. «Николаевская астрономическая обсерватория. Звездный путь длиной в 175 лет», Сб., Отв. ред. Г.И. Пинигин, Николаев, Атолл, 1998, С.122-135.
6. *В.П. Сибилев*. «Николаевская астрономическая обсерватория. Звездный путь длиной в 175 лет» Сб., Отв. ред. Г.И. Пинигин, Николаев, Атолл, 1998, С. 94-121.

THE MASTERPIECES OF THE ASTRONOMICAL TECHNIQUES OF THE XIX TH CENTURY. THE PRINCIPAL MERIDIAN INSTRUMENTS OF THE PULKOVO AND NIKOLAYEV OBSERVATORIES

Pinigin G.I.¹, Tolbin S.V.²

¹*The Research Institute (the Nikolayev Astronomical Observatory), Nikolayev, Ukraine*

²*The Central (Pulkovo) Astronomical Observatory of the RAS, Saint-Petersburg, the Russian Federation*

The description of the four principal meridian instruments is given which were installed at the Pulkovo Observatory by the time of its inauguration in 1839, and of the three meridian instruments of the Nikolayev Observatory (the former Southern branch of the Pulkovo Observatory) as well. The main results of observations made with these instruments during one and a half of a century are given. The significance of these unique instruments and of the ideas having been laid into their design for the development of Astrometry and of astronomical instrument-making in XIX and XX is marked.

**ДМИТРИЙ ДМИТРИЕВИЧ ПОЛОЖЕНЦЕВ.
ПРОФЕССИЯ – АСТРОНОМ**

Положенцев А.Д., Положенцева Л.Д.



18.05.1928 – 28.02.2009

Дмитрий Дмитриевич Положенцев родился 18 мая 1928 года в Москве. Родители его были инженерами. Во время Великой Отечественной войны семья Положенцевых (родители, брат и сестра) была эвакуирована в Сибирь, а затем в г. Алма-Ату. В 1943 г., окончив 7 классов общеобразовательной школы, Д.Д. Положенцев поступает в Дагестанский механический техникум (эвакуированный в г. Алма-Ату). В марте 1944 г. Дмитрий Дмитриевич возвращается в Москву и продолжает обучение в Московском Авиационном приборостроительном техникуме им Орджоникидзе, а после окончания пятого семестра переезжает к родителям в Ленинград.

В Ленинграде Дмитрий Дмитриевич поступает в Ленинградский Индустриальный техникум и оканчивает его с отличием. В 1947 г. поступает в Ленинградский Государственный университет (ЛГУ) на астрономическое отделение математико-механического факультета.

Как только заканчивается Великая Отечественная война, в Советском Союзе начинаются интенсивные геодезические работы по картографированию СССР.

Дмитрий Дмитриевич Положенцев, будучи студентом ЛГУ, принимает активное участие в данных работах с 3 мая 1949 г. по 24 апреля 1950 г. и с 1 июня 1951 г. по 31 декабря 1951 г. на Северо-Западном Аэрогеодезическом предприятии ГУГК в должности ст. техника-геодезиста. Летом 1949 г. и 1950 г. он принимает участие в заполярных экспедициях от Северо-Западного Аэрогеодезического предприятия ГУГК в качестве начальника астрозвена. Дмитрий Дмитриевич не только выполнил многочисленные астрономические наблюдения для определения точных координат астрономических пунктов на сетях триангуляции СССР, но и предложил метод вычисления видимых мест звезд в полевых условиях при определении широты способом Талькота. Данный метод позволил ускорить вычисления в 1,5-2 раза. Связи с Северо-Западным Аэрогеодезическим предприятием ГУГК сохранились и после окончания университета — в 1956 и 1960 гг. Дмитрий Дмитриевич Положенцев выезжал в экспедиции для определения точных координат астрономических пунктов на сетях триангуляции СССР.

На пятом курсе университета, Дмитрий Дмитриевич принял участие в экспедиции по наблюдению полного солнечного затмения 1952 г. и опубликовал исследование, посвященное колебаниям яркости неба и ландшафта во время затмения.

В том же 1952 г., после окончания университета, Д.Д. Положенцев поступает в аспирантуру ГАО АН СССР, которую успешно заканчивает в 1955 г., защитив канди-

датскую диссертацию. В кандидатской диссертации Д.Д. Положенцев развил идеи В.Г. Шапошникова (принцип зенитной симметрии ошибок измерения зенитных расстояний и построения на этой основе системы склонений по данным каталогов различных обсерваторий). На основе собранных Шапошниковым материалов, Д.Д. Положенцев вывел новую оригинальную систему склонений для эпохи 1920, реализованную в виде поправок к фундаментальному каталогу Л. Босса.

С 1955 г. и до конца жизни Положенцев Дмитрий Дмитриевич работает в Главной астрономической обсерватории Российской академии наук (ГАО РАН). Его научные интересы не ограничивались каким-либо узким разделом астрометрии. Он всегда стремился быть на передовых рубежах науки. Условно, в научно-исследовательской деятельности Д.Д. Положенцева можно выделить следующие основные направления:

1. Применение современных вычислительных машин в астрономии;
2. Меридианная астрометрия;
3. Фотографическая астрометрия;
4. Космическая астрометрия, геодезическая астрономия;
5. Экспедиции;
6. Педагогическая деятельность;
7. Международная и внутрироссийская деятельность.

Применение современных вычислительных машин в астрономии

В 1955 г. по инициативе Положенцева Д.Д. и его активном участии в ГАО АН СССР создается машиносчетная станция, оборудованная счетно-аналитическими машинами. С 1956 г. Дмитрий Дмитриевич руководит ее работой. Затем станция оснащается ЭВМ “Минск-22” и с 1962 г. преобразуется в вычислительную лабораторию. В дальнейшем ей на смену пришли более совершенные ЭВМ ЕС-1020 и ЕС-1033.

Вычислительная лаборатория оказывала помощь в расчетах не только в работах, ведущихся в Пулковской обсерватории, но и других обсерваториях, в том числе и зарубежных — ПНР, КНР и др.

Д.Д. Положенцев активно участвует в создании первой в СССР сети банков астрометрических данных и разработке методов редукции астрометрических меридианных наблюдений с помощью ЭВМ. По этой тематике у Дмитрия Дмитриевича опубликовано более 30 работ.

В самой же вычислительной лаборатории под руководством Д.Д. Положенцева был создан банк астрометрических данных Пулковской обсерватории¹. Д.Д. Положенцев руководил вычислительной лабораторией до 1984 г.

Меридианная астрометрия

Д.Д. Положенцев с самого начала работы в Пулковской обсерватории принял активное участие в работах, проводимых по международной программе КСЗ (Каталога слабых звезд). Данная программа ставила своей целью создание фундаментальной системы слабых звезд (около 1000 звезд) и ее распространение на слабые звезды (около 20000 звезд), отобранных по строгим критериям.

В 1958 г. М.С. Зверев и Д.Д. Положенцев создают “Предварительный сводный каталог положений и собственных движений слабых звезд (ПФКСЗ)”ⁱⁱ, основанный на 14 индивидуальных каталогах, а в 1981 г. продолжением данной работы явился каталог ПФКСЗ-2ⁱⁱⁱ, в создании которого Д.Д. Положенцев принял также активное участие.

Программа КСЗ не была полностью реализована, но сильно повлияла на такие международные программы как AGK3R и SRS (Southern Reference Star) — все звезды КСЗ вошли в список AGK3R, а список звезд SRS был составлен по строгим критериям КСЗ.

В 1962 г. Пулковской обсерваторией, под руководством М.С. Зверева организуется экспедиция в южное полушарие для наблюдения южных звезд, в том числе и по международной программе SRS, и с октября 1962 г. по сентябрь 1976 г. Пулковская экспедиция работает в Чили.

Д.Д. Положенцев принял активное участие как в самих наблюдениях, так и в их обработке и дальнейшем исследовании. В результате этой работы Д.Д. Положенцевым было создано 5 высокоточных абсолютных и квазиабсолютных каталогов прямых восхождений (приведенная к экватору средняя квадратическая ошибка одного наблюдения в этих каталогах колеблется от $\pm 0^s.013$ до $\pm 0^s.024$.) и получена система поправок вида $\Delta\alpha_s \cos(\delta)$ к используемой в то время фундаментальной системе FK4. Данные исследования легли в основу докторской диссертации Д.Д. Положенцева, которая была защищена в 1977 г.

Результаты работы чилийской экспедиции вошли в международный сводный каталог, созданный по программе SRS. С советской стороны, работой по созданию сводного каталога руководил Д.Д. Положенцев. Работы могли затянуться на долгие годы из-за сложной политической ситуации — период холодной войны, ограничение контактов с американскими коллегами. Дмитрий Дмитриевич внес большой вклад в разрешение этой ситуации. В результате была достигнута договоренность о создании двух версий сводного каталога SRS: Пулковской и Вашингтонской, а затем их объединение в один каталог.

С 1985 г. по 1988 г. Д.Д. Положенцев был заведующим лабораторией фундаментальной астрометрии.

По тематике меридианная астрометрия Д.Д. Положенцевым было опубликовано более 75 научных трудов.

Фотографическая астрометрия

Международные программы как KC3, так AGK3R и SRS ставили своей целью создание меридианных каталогов звезд, которые могут служить опорной системой для обработки фотографических наблюдений и определения координат сотен тысяч звезд. В связи с закрытием Чилийской экспедиции встал вопрос об организации другой южной экспедиции для продолжения работ по определению координат звезд южного полушария. Основная работа по созданию опорной системы SRS чилийской экспедицией была выполнена, а вот ее распространение на большее количество звезд методами фотографической астрометрии было прервано в самом начале работы.

Таким образом в 1984 г. в Пулковской обсерватории под руководством Д.Д. Положенцева организуется экспедиция в Боливию для фотографических наблюдений 200 000 звезд южного неба с плотностью около 10 звезд на квадратный градус и создания фотографического каталога (ФОКАТ).

По данной тематике Д.Д. Положенцевым было опубликовано более 20 научных работ.

Космическая астрометрия, геодезическая астрономия

Космической астрометрией Д.Д. Положенцев начал заниматься с самого начала космической эры — запуска первого в мире искусственного спутника Земли (ИСЗ), т.е. с 1957 г. Д.Д. Положенцев был одним из организаторов визуальных и фотографических наблюдений первых ИСЗ, в частности, именно им было получено несколько десятков фотографий первых ИСЗ, и был выполнен целый ряд исследований по наземному сопровождению запусков ИСЗ. Д.Д. Положенцев написал учебное пособие по этой теме — «Радио- и космическая астрометрия»^{iv}.

Всего по этому разделу Д.Д. Положенцевым опубликовано более 15 трудов.

Экспедиции

Д.Д. Положенцев принимал активное участие и в астрономических экспедициях:

- 1) Полуостров Ямал. 1949 г. — астрономо-геодезические работы;
- 2) Район Северного Урала. 1951 г. — астрономо-геодезические работы;
- 3) Средняя Азия. 1952 г. — наблюдение полного солнечного затмения;
- 4) Архангельская область. 1955 г. — астрономо-геодезические работы;
- 5) Гомельская область. 1957 г. — астрономо-геодезические работы;
- 6) Чили. 1964 г. — меридианные наблюдения звезд южного неба;
- 7) Чили. 1969-1970 гг. — меридианные наблюдения звезд южного неба;
- 8) Аргентина. 1978 г. — выбор места для астрометрической экспедиции;
- 9) Боливия. 1988-1990 г. — фотографические наблюдения слабых звезд южного неба.

Д.Д. Положенцев возглавлял все перечисленные экспедиции, за исключением экспедиции по наблюдению полного солнечного затмения 1952 г.

Педагогическая деятельность

Д.Д. Положенцев стремился передать свои знания и опыт своим коллегам и начинающим астрономам. Он имел большое количество аспирантов, а также читал лекции студентам:

- 1) Чилийского государственного университета по астрометрии (1969-1970 гг.);
- 2) Ленинградского государственного университета по астрометрии (1980-1987 гг.);

Д.Д. Положенцев издал два учебных пособия по астрометрии:

- 1) “Радио- и космическая астрометрия” (1982 г.);
- 2) “Новые идеи и методы классической астрометрии” (1985 г.).

Международная и внутрироссийская деятельность

Д.Д. Положенцев являлся членом МАС и принимал активное участие в его работе. Также он являлся членом трех специализированных советов.

Д.Д. Положенцев принял участие в 4-х международных съездах по астрономии и астронавтике, в ряде международных симпозиумов и коллоквиумов.

Д.Д. Положенцев неоднократно направлялся в научные командировки за рубеж (в Югославию, Румынию, Польшу, ЧССР, КНДР, США, Англию, Францию, ФРГ, ГДР, Испанию, Аргентину) и города СССР: Москву, Кисловодск, Харьков, Казань, Иркутск, Благовещенск, Киев, Николаев, Львов и др.

Благодаря многогранной научно-исследовательской, педагогической и международной деятельности Положенцева Д.Д. были получены весомые астрономические результаты астрономом Д.Д. Положенцевым как лично, так и в сотрудничестве с Российским и зарубежными коллегами, так и на уровне международного сотрудничества Советских, а затем Российских обсерваторий с зарубежными обсерваториями так и подготовке новых специалистов, способных достойно продолжить научно-исследовательскую деятельность своего учителя.

ⁱ Кандаурова К.А., Малкин З.М., Положенцев Д.Д. Банк астрометрических данных Пулковской обсерватории. В кн.: Современная астрометрия (по материалам 23-й Астрометрической конф. СССР), Л., 1987, 450-452.

ⁱⁱ Тр. Главной астрономической обсерватории АН СССР, 1958, т. 72.

ⁱⁱⁱ Яцкив Я.С., Курьянова А.Н., Положенцев Д.Д., Зверев М.С. О сводном каталоге фундаментальных слабых звезд (ПФКСЗ- 2). Задачи современной астрометрии в создании инерциальной системы координат.- Ташкент: Фан. 1981, с.43–63.

^{iv} Д.Д. Положенцев. Радио- и космическая астрометрия. ЛГУ. 1982.

БОЛИВИЙСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ И РОЛЬ В НЕЙ Х.И. ПОТТЕРА

Пуляев С.П.

Главная (Пулковская) астрономическая Обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

Эта статья-воспоминание написана в память об организаторе и первом начальнике Боливийской астрономической экспедиции пулковском астрономе Хейно Йогановиче Поттере. Именно под его руководством в первые годы своего существования – с октября 1982 по июль 1986 г., – в чистом поле, “от нуля” была создана и успешно заработала обсерватория в Южном полушарии. Параллельно был выполнен ряд ценных астрономических наблюдений сверх намеченной программы.

Работа моя в Боливийской экспедиции относится к концу января 1983 года. И по апрель 1986 г. я работал под началом – его смерть дает право это сказать – одного из талантливейших людей, что встречал в жизни. Именно благодаря его таланту организатора и великолепного ученого экспедиция с успехом выполнила все возлагавшиеся на нее научные задания.

Немного предыстории. Началу работ экспедиционного отряда на юге Боливии предшествовала подготовка Соглашения о сотрудничестве в области астрономии между Академией Наук СССР и Национальной Академией Наук Боливии. Оно было подписано в июне 1982 года на 10-летний срок и предусматривало совместные исследования в ряде областей астрономии. Фактически подписание Соглашения привело в дальнейшем к созданию совместной Советско-Боливийской астрономической обсерватории на самом юге Боливии около города Тариха.

В начале декабря 1982 г. в местечке под названием Санта Ана, в 15 км к востоку от Тарихи, Х.И. Поттером с участием представителей местных властей был выбран участок земли для размещения экспедиции. Эта земля принадлежала владельцу местной винодельческой фирмы Хулио Кольбергу, а позднее участок в 2.6 га он передал в дар Академии Наук Боливии в бессрочное пользование.

В декабре 1982 года на этой земле был подготовлен котлован для установки павильона для привезенного из Ордубада (Азербайджан) Экспедиционного астрографа, произведена разметка столбов, построены фундаменты для телескопа и павильона. В это же время в Тариху прибыл отправленный из Ленинграда груз с телескопом и разборным павильоном. Тогда же приехали инженер А.А. Ильин, механик А.В. Лебедев. В марте 1983 года закончился монтаж телескопа и павильона.

Со 2 апреля 1983 г. на телескопе начались регулярные наблюдения по программе ФОКАТ – Фотографический Каталог. Эта работа была главной научной задачей экспедиции. Получение в максимально короткие сроки наблюдений каталога ФОКАТ-S, Фотографического Каталога 200.000 звезд от Южного полюса до +2.5 градусов склонения в системе SRS-IRS – *South Reference Stars – International Reference Stars*. Для достижения наилучшей точности каталога наблюдения выполнялись с четырехкратным перекрытием всего неба. Первыми и основными наблюдателями были Х.И. Поттер, С.П. Пуляев, В.В. Аврамчук (Голосеево) и получивший образование в Советском Союзе боливийский астроном Родольфо Сальес. Наблюдения площадок производились только в верхней кульминации и в небольших часовых углах.

14 апреля 1984 г. состоялась торжественная церемония открытия или инаугурации Боливийско-Советской Обсерватории. На площадке были установлены два флагштока для Советского и Боливийского флагов и мемориальная доска с датой открытия Обсерватории. В торжествах участвовали посол СССР в Боливии и дипломаты из посольства,

Президент и представители Академии Наук Боливии, представители местного университета, многие крупные деятели Боливии. Торжества транслировались по боливийскому телевидению и широко освещались в прессе. На церемонии присутствовали более 150 приглашенных лиц – представители прессы и телевидения, местных и центральных властей, университета г. Тариха, общественности города. Популярность Поттера была очень велика, во-первых, он свободно говорил по-испански, во-вторых, его мягкая ненавязчивая манера общения, добродушие и скромность вместе с высочайший профессионализмом – все это вызывало у людей симпатию.

Со временем экспедиция стала выполнять и другие задачи. С конца 1985 года для наблюдений на Экспедиционном астрографе стала доступной знаменитая комета Галлея. К ней в это время направлялись пять космических аппаратов, в том числе два советских – Вега 1 и Вега 2. Мы получили чуть более 100 фотографических наблюдений кометы, это не очень много, потому что прохождение кометы – октябрь 1985 – апрель 1986 – совпало с сезоном дождей в Южном полушарии. Начиная с марта 1986 года, комета стала уходить на юг, до склонения -47 , и эти наши наблюдения имеют большую ценность, т.к. обсерватории Северного полушария уже не могли ее наблюдать.

В соответствии с соглашением между АН СССР и АН Боливии после завершения работ по ФОКАТу и наблюдений кометы Галлея экспедиционный астрограф должен переключиться на программу наблюдения больших и малых планет и комет, а также спутников Юпитера, Сатурна и Урана. Экспериментальные наблюдения показали, что с этим телескопом можно наблюдать движущиеся объекты до 11-12 звездной величины.

Также по идее Хейно Йогановича мы начали выполнять:

1) прикидочные, опытные наблюдения Экваториального Каталога – ЭКАТ, звезды до 14 величины в пределах ± 23 градусов от экватора. Этот план остался невыполненным из-за драматических событий 1991 года в стране и резкого уменьшения финансирования науки.

2) наблюдения т.н. ярких звезд по идее Х.И. Поттера для связи систем ярких 6-8mag звезд IRS и AGK3R и звезд 11-12mag из ФОКАТа.

В 1986г. случился еще один подарок судьбы – Сверхновая SN1987A. Её положение мы дружно определили по 10 пластинкам, причем каждый из наблюдателей измерил все пластинки.

Деятельность Х.И. Поттера в Боливии условно можно разделить на три большие части: организационная, научная и научно-популяризаторская деятельность. Так уж получилось, что все эти части выполнялись Поттером и другими участниками экспедиции ежедневно и под его руководством и очень успешно. В экспедиции астроном обязан делать вещи, связанные с ее общей организацией, установкой и наладкой телескопов, организацией всей экспедиционной деятельности.

Эта организационная работа, по сути, была – основание и постройка в Южном полушарии полноценной обсерватории! Одновременно с астрономическими наблюдениями мы от нуля, в чистом поле строили первую в Боливии обсерваторию, нанимали строителей, покупали стройматериалы и иногда сами на УАЗике с прицепом подвозили их на место, также понемногу возводили дома, павильоны, лабораторный корпус, забор, заказывали бурение глубокой 100-метровой скважины для воды и т. д.

К концу 1983 года было закончено строительство лабораторного дома, со временем построили хозяйственный корпус с гаражом, складом, генераторной комнатой, мастерской. Построили красивый забор из ажурного кирпича, ворота, благоустроивалась территория, прокладывались дорожки, закладывались цветники.

Для первичной обработки отснятых фотопластинок в арендованном в г. Тариха доме была организована фотолаборатория, где выполнялись все работы по подготовке фотоматериалов для наблюдений – резка и упаковка пластинок, проявление, фиксиро-

вание, промывка и сушка отснятого материала. В 1984 году в экспедицию привезли координатно-измерительный прибор производства ГДР “Аскорекорд”, т.о. часть наблюдательного материала измерялась на месте в экспедиции. Для получения срочных результатов наблюдений кометы Галлея Поттер организовал оперативную обработку наблюдений, приобрел одну из первых малых электронных вычислительных машин, написал к ней собственные программы.

Позднее рядом с нашим Экспедиционным астрографом коллегами из Голосеевской обсерватории (Киев, Украина) был поставлен павильон зеркального телескопа Карл Цейсс 600, который использовали для астрофизических наблюдений кометы Галлея.

Основной целью научной деятельности экспедиции было выполнение наблюдений каталога ФОКАТ. А на деле в экспедиции выполнялось гораздо больше. Как уже было сказано – это наблюдения кометы Галлея, Сверхновой и вообще всего, что представляло интерес в Южном полушарии. Сам Поттер был большой труженик. Когда наблюдений не было – с раннего утра он работал с компьютером, основное было занесение в память ЭВМ различных каталожных массивов. Кстати, тогда только начинали появляться в продаже первые настольные компьютеры, и Поттер купил на свои деньги первый простенький компьютер. Работа начиналась еще до завтрака и продолжалась с перерывами на еду, поездки в город по делам и пр. до глубокой ночи.

В результате использования ЭВМ значительно ускорилась текущая обработка наблюдений, а также появилась возможность оперативного оповещения местного населения об интересных астрономических явлениях. Это имело важное значение в поддержании и поднятии нашего престижа.

Отдыхом для Поттера была смена деятельности. Отдыхая, он еще очень любил смотреть классический балет. Помню, из ЛаПаса он привез Дон-Кихота с Нуревым и Марго Фонтейн в главных ролях. А иногда ставил просто мультики, американские Том и Джерри, Микки Мауса. Это тогда нельзя было приобрести в Советском Союзе, мы этого практически тогда не видели.

Популяризация стала особенно актуальной с появлением кометы Галлея. К нам в обсерваторию приезжало огромное количество людей практически ежедневно, сотни людей, десятки машин загромождали дорогу вблизи обсерватории и всю территорию обсерватории. Приезжали из Тарихи и со всей Боливии и даже из-за границы. Приезжали все – от простых плохо образованных крестьян и до ученых, дипломатов, известных и популярных людей. В ночи наилучшей видимости кометы Галлея мы принимали до 1000 человек! Это было достаточно тяжело и физически, и эмоционально. Поэтому почти в самом начале кометной эпопеи для экскурсий мы выделили определенное время - с 7 до 9 часов вечера, сразу после захода солнца. К счастью, основная наблюдательная программа по ФОКАТу в соответствующих зонах по прямому восхождению была закончена. Предвидя большой поток экскурсантов, также мы установили небольшой любительский телескоп “Мицар” ($D = 110$ мм) в небольшом построенном для него павильоне с двумя противоположными входами-выходами, и это позволило принимать экскурсантов без ущерба для наблюдательной программы.

Деятельность обсерватории была все время в поле зрения боливийских средств массовой информации. В различных газетах появлялись заметки о работе экспедиции. Часто эту информацию давали мы сами, и в первую очередь Х.И. Поттер. Печать Боливии, как правило, высоко оценивала нашу работу и отзывалась доброжелательно. Они очень ценили то, что существование обсерватории в Боливии содействует развитию страны и поднятию ее престижа. А Хейно Йоганович был одной из самых популярных фигур в Тарихе.

Он был достаточно мягок и приятен в обращении с людьми, и люди к нему тянулись. Но в профессиональной работе он был очень строг ко всем членам экспедиции, к коллегам, требовал неукоснительного и всегда качественного выполнения работ, особенно это касалось качества гидирования телескопа, качества получаемых изображений звезд. Как будто не прошло четверти века, – вижу его с лупой около глаза, рассматривающего звезды на пластинке... Он нисколько не боялся выбросить в корзину пластинку с едва растянутыми изображениями, пластинку, привезенную за многие тысячи километров на самолете из Пулкова в личном багаже кого-нибудь из сотрудников.

Поттер был неутомимый “трудоголик”, как сейчас говорят, он мне много дал как специалисту. Точнее сказать, я сам от него много взял: ибо он совершенно не старался быть педагогом или воспитателем или что-либо объяснять из области астрономии. Или ты ловишь от него на лету, или ... не ловишь. Он как-то сказал, что нельзя судить за отсутствие способностей или таланта, но человек на своем месте должен работать по максимуму, насколько позволяют ему его способности, большие они или скромные. К природным данным человека претензий нет. Но даже у таланта совершенно недопустима лень в работе, расхлябанность, безответственность. Не переносил, просто ненавидел пьянство. Хотя мы работали в зоне сплошных виноградников и производства вина и постоянно пили хорошее вино. В сухое вино он почему-то добавлял пару ложек сахара и быстро размешивал его в стакане.

Помню, когда Поттер уехал в отпуск в Пулково – об этом сообщали в тот же вечер в местных новостях по телевидению. Боливийцы даже сняли фильм “Рождение обсерватории” и показали его по телевидению по всей стране. Национальная Академия Наук Боливии избрала его своим почетным членом-корреспондентом.

Местные власти провожали его на родину с большим почетом: торжественный акт проводов в мэрии Тарихи, прощальные приемы в домах друзей в его честь. Расставались с ним с сожалением, как со старым другом. В Тарихе его знали по газетам и телевидению, наверное, все жители. И сотни людей лично.

Многие провожали его так: Хейно, знай, что в Тарихе у тебя всегда есть дом!

После отъезда Х.И. Поттера в Пулково в июле 1986 г. я был назначен начальником экспедиции, которая к тому времени расширилась, приехала целая группа астрономов и механиков из Голосеева и астрофизик Н.Н. Киселев из обсерватории Душанбе. И научную, и PR-работу как бы мы сейчас сказали, связи с местными властями, экскурсии по обсерватории, интервью для СМИ – все эти дела мы старались выполнять так же, как это было при Поттере. В апреле 1987 году меня на посту начальника экспедиции сменил В.А. Наумов.

АНДРЕЙ АНТОНОВИЧ НЕМИРО
(к 100-летию со дня рождения)

Стрелецкий Ю.С., Смирнов Б.Н.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Андрей Антонович Немиро родился 4(17) марта 1909 года в местечке Корец Ровенской губернии. Отец его, Антон Фаустинович Немиро, служил бухгалтером на железной дороге, впоследствии был переведён в управление Сибирской железной дороги, и семья переехала в г. Томск.

В Томске Андрей Антонович окончил среднюю школу-девятилетку и там же в 1929 г. поступил в Томский государственный университет на астрономо-геодезическое отделение физико-математического факультета. В 1932 г. третий курс астрономо-геодезического отделения был переведён в Ленинградский государственный университет, где А.А. Немиро в 1934 г. получил специальность астронома.

В том же 1934 г. Андрей Антонович поступил в аспирантуру Пулковской обсерватории. Его научным руководителем был назначен видный представитель Пулковской школы астрометрии Петр Иванович Яшнов.

В период массовых репрессий среди учёных в 1936 г. П.И. Яшнов был арестован и осуждён на 10 лет. До окончания аспирантуры оставалось несколько месяцев. По окончании аспирантуры Андрей Антонович с 15 апреля 1937 г. был зачислен в штат ГАО как младший научный сотрудник.

Кандидатскую диссертацию “Опыт применения цепного метода наблюдений к выводу выровненной внутри себя системы прямых восхождений звёзд в зоне $+40^{\circ}$ – $+65^{\circ}$ склонения” в Учёном совете Ленинградского университета А.А. Немиро защитил в 1938 г.

С марта 1939 г. А.А. Немиро был переведён на должность старшего научного сотрудника.

24 июня 1941 г. А.А. Немиро был призван в действующую армию. Он воевал на Ленинградском фронте в составе 42 армии, оборонявшей Ленинград на юго-западном рубеже. Андрей Антонович в числе защитников Ленинграда отмечен многими боевыми наградами.

24 июня 1944 г. А.А. Немиро был отозван из армии по письму руководства Академии наук СССР для работы по восстановлению разрушенной Пулковской обсерватории. Он принимал самое активное участие в восстановлении разрушенной обсерватории, его заботами в западном павильоне главного здания на старом месте был установлен большой пассажный инструмент Струве-Эртеля и ряд других инструментов. Работы тогда хватало на всех сотрудников, Пулковская обсерватория не просто восстанавливалась, она рождалась заново.

В научные планы ближайшего будущего входило завершение исследований, начатых в довоенное время и не доведённых до конца.

Андрей Антонович с коллегами составил первый советский фундаментальный каталог прямых восхождений, содержащий не только положения, но и собственные движения звёзд, полученные на основе анализа 100-летнего ряда Пулковских абсолютных каталогов прямых восхождений, полученных на большом пассажном инструменте.

Докторская диссертация А.А. Немиро “Исследование результатов абсолютных определений прямых восхождений звёзд в Пулкове” является настольной книгой для целого поколения астрономов. Огромное значение имели теоретические работы Андрея

Антоновича, посвящённые проблемам определения нуль-пунктов и исследованию систематических ошибок фундаментальных каталогов. Его последние работы были посвящены разработке конструкции принципиально новых астрометрических инструментов.



В 60-х годах XX столетия наша астрометрия искала выход на южное полушарие звёздного неба. Усилиями М.С. Зверева была организована экспедиция в Чили. В 1965 г. в обсерватории Сьеро-Калан уже устанавливается фотографический вертикальный круг (ФВК) М.С. Зверева, изготовленный нашими специалистами под руководством Д.С. Усанова. По оптическим расчётам Д.Д. МаксUTOва на предприятии ЛОМО изготовлен двухменисковый астрограф диаметром 700 мм АЗТ-16, предназначенный для установки в горах, в 90 км от г. Сантьяго.

По инициативе А.А. Немиро в 1965 г. в нашем конструкторском бюро была начата работа по созданию большого пассажного инструмента (БПИ) для обсерватории Сьеро-Калан. На ЛОМО была изготовлена труба с объективом диаметром 180 мм и с фокусом 2.5 м. Нами были спроектированы и изготовлены: окулярный микрометр, система подвески, коллиматоры, полуавтоматическая система перекладки инструмента и накладной уровень, а также специальный павильон с пассивной термостабилизацией, приспособленный к жаркому климату. Весь комплекс был изготовлен в нашем Опытном производстве, перевезён в Чили и установлен в обсерватории Сьеро-Калан.

В 1967 г. огромную роль в этой работе сыграл организаторский талант Андрея Антоновича и его опыт вдумчивого наблюдателя, многие вопросы при конструировании разрешались при помощи взаимопонимания. Созданная Андреем Антоновичем атмосфера способствовала высокопроизводительному труду коллектива.

В 1970 г. по распоряжению М.С. Зверева была организована группа астрометрического приборостроения (ГАПС) с научным руководителем А.А. Немиро. В составе группы были инженеры: Я. Кругер, В. Плис, Ю.С. Стрелецкий, О. Хованский и механик Ю. Тёркин. Перед группой была поставлена задача полной реконструкции меридианного круга фирмы “Тепфера”.



Группа астрономов, под руководством М.С. Зверева, произвела всесторонние исследования инструмента и было принято решение о необходимости его реконструкции. Инженеры ГАПС'а предложили варианты решений по основным узлам телескопа, в основе которых закладывался принцип унификации. Предлагалась заменить механическую разгрузку на гидростатические опоры. Был предложен активный микрометр с "V"образной щелью и впервые в практике использован на меридианных кругах фотоэлектрический отсчёт круга на ПЗС-линейках. С большими трудностями пришлось столкнуться при попытках использовать компьютеры в системе регистрации, т.к. это были первые опытные компьютеры, выпускаемые нашей промышленностью. Чтобы перенести инструмент из центрального здания обсерватории, было необходимо спроектировать и построить новый павильон на нашей территории. Проектную документацию выполнила группа, а строительство организовал зам. директора ГАО С.И. Кирилов. Рядом с павильоном был установлен передвижной вагон, в котором было электрическое отопление и там располагалось электронное оборудование.

Помимо этой работы, под руководством Андрея Антоновича, велись проектные работы по новым инструментам, а также была произведена реконструкция системы отсчёта кругов на ГМК.

Были выпущены ряд эскизных проектов горизонтальных меридианных инструментов. Один из этих проектов был признан изобретением. Будучи сторонником горизонтальной схемы для меридианных инструментов, Андрей Антонович, как настоящий учёный, путём глубокого анализа различных вариантов конструкций, пришёл к выводу, что классическая схема предпочтительна с многих точек зрения. В начале 80-х годов в соавторстве с Ю.С. Стрелецким было предложено использовать схему телескопа-рефлектора. В этой схеме предусматривается контроль положения визирной оси относительно механики трубы. Вместе с Н.Н. Михельсоном была разработана теория инструмента и создана модель такого рефлектора. Материалы этой теории хранятся в фонде А.А. Немиро в архиве ГАО.

В павильоне бывшего вертикального круга Эртеля-Струве был сооружён фундамент, изготовлена труба и было начато изготовление главного оптического блока-параллелепипеда, в котором параллельные поверхности отполированы Владимиром Ильиным с точностью до 2". Сохранился только этот блок. Применение таких рефлекторов, в перспективе, позволило бы наблюдать звёздные объекты 20-й звёздной величины для составления каталогов опорных звёзд и осуществлять привязку к радиозвёздам.

Научная деятельность Андрея Антоновича отличалась многогранностью. И как учёный и как организатор он может служить примером подражания для будущих поколений. Он был не только нашим учителем, но и хорошим товарищем и поэтому о работе с ним мы вспоминаем с благодарностью и почтением.

Жизнь продолжается в учениках. У Андрея Антоновича их было много. Одновременно с работой в Пулковской обсерватории он вёл преподавательскую деятельность. В 1964-1970 гг. он заведовал кафедрой астрономии в Ленинградском университете (с 1966 г. – профессор). Несколько поколений астрометристов нашей страны и за её пределами учились у А.А. Немиро.

В 1967-1970 гг. А.А. Немиро был президентом Комиссии №8 "Позиционная астрономия" Международного астрономического союза.

Решением Международного астрономического союза малой планете №4228 присвоено имя *Neiřo* в честь Андрея Антоновича Немиро. Планета открыта Г.А. Плюгиным и Ю.А. Беляевым 25 июля 1968 г. в обсерватории Серго El Roble (Чили).

Андрей Антонович Немиро скончался 30 октября 1995 г. и похоронен на Пулковском мемориальном кладбище астрономов.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗАПАДНОГО МЕРИДИАННОГО ЗАЛА И РЕСТАВРАЦИЯ МЕРИДИАННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ЭРТЕЛЯ-СТРУВЕ (БПИ И БВК)

Толбин С.В., Крюндаль А.В.

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург,
Российская Федерация*

Разрушенная до основания во время Великой Отечественной войны Пулковская обсерватория начала восстанавливаться с 1944 г. по проекту архитектора А.В.Щусева и его коллег, и вновь была торжественно открыта в 1954 г. (Рис. 1).



Рис. 1.

Сразу же после войны также начались работы по восстановлению и модернизации основных Меридианных инструментов обсерватории. При этом обнаружилось некоторые серьезные конструктивные недостатки у инструментов и наличие повреждений, полученных при их спешной эвакуации и долгом хранении в тяжелых условиях блокадного Ленинграда. Усилиями сотрудника ГАО Л.А. Сухарева и механика обсерватории В.В. Вихрова был искусно выправлен сильно деформированный разделенный круг Большого вертикального круга Эртеля-Струве (БВК). Были также заново отшлифованы пострадавшие от коррозии цапфы Большого пассажного инструмента Эртеля-Струве (БПИ). В конечном счете, инструменты были полностью восстановлены, частично модернизированы и вошли в строй действующих.

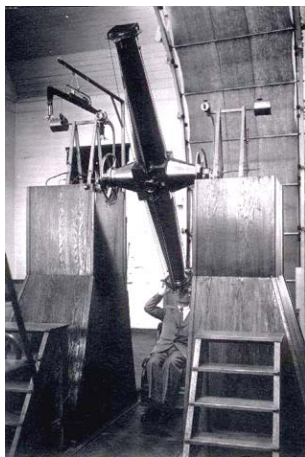


Рис. 2.



Рис. 3.

БПИ был установлен на своем прежнем месте в Западном меридианном зале Главного здания на сохранившемся фундаменте (Рис. 2), а БВК в специально построенном павильоне с полуцилиндрической крышей, расположенном в южной части Научной площадки обсерватории (Рис. 3).

Вместо Меридианного круга Репсольда, который в 1955 году был перевезен в Николаевскую обсерваторию на Украину (в филиал Пулковской обсерватории), в Восточном меридианном зале обсерватории был установлен, полученный из Германии меридианный круг Тепфера, который, впоследствии, в 70-х годах был полностью реконструирован и стал называться – Меридианный круг-200 (МК200). В дальнейшем он был перенесен в новый павильон рядом с Научной площадкой

После многолетних наблюдений в 1976 году было принято решение о перевозке и установке двух главных меридианных инструментов обсерватории (БПИ и БВК) на Горной астрономической станции ГАО вблизи Кисловодска (по причине более лучшего для наблюдений Солнца и планет высокогорного астроклимата), что и было осуществлено в последующие годы.

Таким образом, сложилась ситуация, когда к середине 80-х годов XX в. оба меридианных зала Главного здания Пулковской обсерватории опустели и практически не использовались по прямому своему назначению. В связи с этим возникло предложение



Рис. 4.

о полной их перестройке для увеличения рабочих площадей обсерватории (в частности для переноса в новые помещения вычислительного центра обсерватории и установки там новых вычислительных машин серии ЕС и другого оборудования). В связи с этим проектной академической организацией «ГИПРОНИИ», которая в свое время проектировала все здания восстанавливаемого Пулкова, был подготовлен проект перестройки меридианных залов Главного здания (Рис. 4).

В конце 80-х годов для перестройки меридианных залов поступили требуемые денежные средства, а вскоре начались строительные работы. Были расчищены площадки у Главного здания (при этом были уничтожены часть декоративных кустарников перед северным фасадом, которые не восстановлены до настоящего времени), установлен строительный кран и начался демонтаж внутренних элементов интерьеров меридианных залов (деревянной обшивки стен, паркетных полов, механизмов приводов створ и штор павильонов). Однако вскоре строительство было приостановлено, а в связи сна-



Рис. 5.



Рис. 6.

чавшимся политическим и экономическим кризисом в стране полностью прекращено. Из-за отсутствия финансирования в 90-х годах оба меридианных зала долго находились в полуразрушенном состоянии (Рис. 5, 6).

Только после чрезвычайных событий 1996-97 годов - ограбления музея, расположенного в Круглом зале Главного здания обсерватории, большого пожара в научной библиотеке, повредившего многие экспонаты музея, в первую очередь живописные портреты и, наконец, принятия всего архитектурно-ландшафтного комплекса Пулковской обсерватории под защиту Российского государства (включение в Государственный свод особо ценных объектов культурного наследия народов РФ - Указ президента № 275 от 2 апреля 1997 г.), началась реконструкция и восстановление меридианных залов.

Восстановление Западного меридианного зала

В конце 90-х годов XX в. дирекцией Пулковской обсерватории было принято решение о восстановлении меридианных залов в близком к оригиналу виде и передаче в последующем Восточного меридианного зала научной библиотеке для организации книгохранилища, а Западного, с восстановленными на своих исторических фундаментах меридианных инструментах (БПИ и БВК), передаче Астрономическому музею ГАО для расширения его экспозиции. В связи с этим в «ГИПРОНИИ» был разработан новый проект восстановления залов и начались строительные работы. Необходимо отметить, что исходные меридианные залы, представляли собой неотапливаемые павильоны, фасады и крыша которых были выполнены в виде металлических каркасных конструкций, обшитых снаружи листовым металлом, с раздвижными створами вдоль меридианных линий по стенам и потолку. Такая конструкция была обусловлена требованиями наблюдений на инструментах только вдоль меридиана. Строительные работы начались с возведения бетонных перекрытий полов, удовлетворяющих противопожарным требованиям. При этом исходные исторические фундаменты под инструменты были сохранены, а их подвальные части отреставрированы. В последующем только столбы мир были воссозданы заново на перекрытиях полов над своими прежними фундаментами (Рис.11). Стены павильонов были расчищены до своих каркасов и заложены кирпичной кладкой, а потолочные перекрытия и крыша отремонтированы заново (Рис.7, 8).



Рис. 7.



Рис. 8.

В 2002 году к восстановительным работам подключилось Министерство культуры РФ. По заявкам на гранты МК предоставило средства на создание в Западном меридианном зале новой музейной экспозиции (1-й этап) и реставрацию исторических меридианных инструментов – БПИ и БВК. В результате проведенных работ, в соответствии с представленными требованиями и предложениями, художником-дизайнером Ириной Бaeвой был разработан дизайн-проект интерьера Западного меридианного зала (Рис. 9, 10) (фирма-исполнитель ООО «Персональная творческая мастерская Остро-

умова Е.А.»), отреставрированы специальные раздвижные кресла и сиденья для наблюдателей и др.

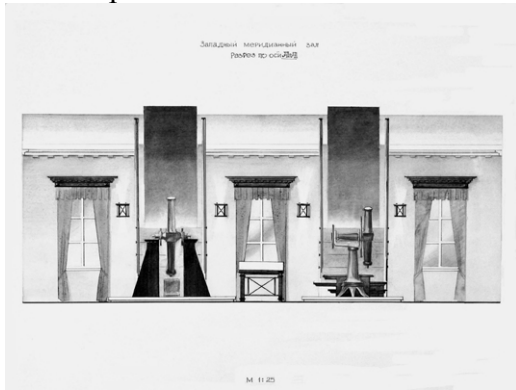


Рис. 9.

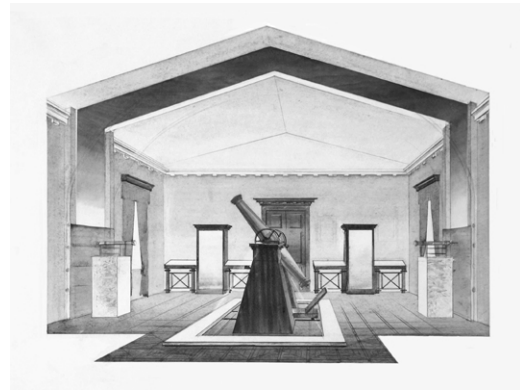


Рис. 10.

Воссоздание нового интерьера и необходимые строительные работы (утепление и отделка стен, устройство отопления, освещения и др.) выполнялись в течение 2006-09 годов (Рис. 11). При этом большие усилия по организации и выполнению всех строительных и восстановительных работ были предприняты под руководством заместителей директора ГАО РАН по общим вопросам – В.И. Постниковым, А.В. Вакоориным и В.И. Плешаковым, сменявшим друг друга на этой должности в течение более 10 лет.



Рис. 11.

Реставрация и установка меридианных инструментов Эртеля-Струве в Западном меридианном зале ГАО

После получения финансовой поддержки от Министерства культуры РФ, началась сложная и кропотливая работа по реставрации двух главных меридианных инструментов Эртеля-Струве (БПИ и БВК).

В 2002 году, после окончания научного использования этих инструментов на Горной астрономической станции ГАО близ Кисловодска, когда, наконец, закончилась уникальная 160-летняя научная их «карьера», последний наблюдатель и заведующий этими инструментами научный сотрудник ГАО А.В. Девяткин разобрал и перевез их в Пулково для передачи в Астрономический музей ГАО.

С этого времени, по договору с Министерством культуры РФ от 7 июля 2003 г., реставрационной фирмой ЗАО «Надежда» (директор Л.Я. Митенкова), в ГАО была организована и начата реставрация этих инструментов. Основным исполнителем этой ответственной работы стал сотрудник ГАО, ведущий инженер А.В. Крюндаль (Рис. 13), а техническим консультантом – сотрудник Эрмитажа, художник-реставратор высшей категории С.А. Смирнов. Работа по реставрации инструментов длилась более полугода (с осени 2003 до лета 2004 года).



Рис. 12.



Рис. 13.

Необходимо отметить, что многие десятилетия эксплуатации меридианных инструментов, их порой кустарный ремонт и модернизация (особенно в последние годы) серьезно отразились на техническом состоянии всех элементов и деталей их конструкций. Можно упомянуть, например, что для придания дополнительной жесткости на трубы БПИ с четырех сторон были припаяны металлические уголки (Рис. 14), на самих трубах и многих деталях были заметны вмятины (Рис. 15) и сильные царапины, а на многих частях инструментов имелись многочисленные просверленные отверстия для крепления различных проводов. Поверхности труб и другие детали инструментов были покрыты пятнами окислов, следами неоднократной шлифовки грубой шкуркой, а также остатками лака, мало подходящего по химическому составу для покрытия поверхностей бронзовых деталей (Рис. 16). На отсчетных лимбах кругов инструментов были видны следы плесени и другие дефекты. Некоторые первоначальные детали отсутствовали или были переделаны.



Рис. 14.

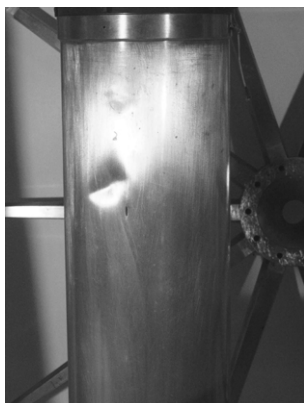


Рис. 15.

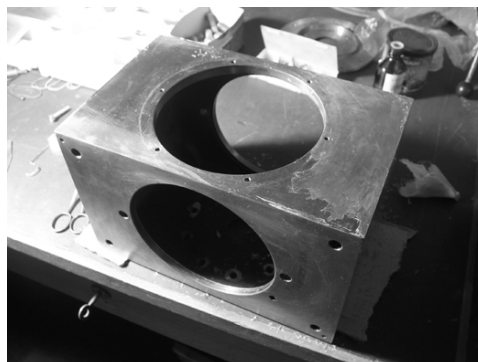


Рис. 16.

Перед реставраторами встала задача вернуть инструментам вид как можно более близкий к их первоначальному облику и конструкции. Для этого пришлось разыскивать хранящиеся в архивах документы и чертежи инструментов, глубоко знакомиться с литературой на данную тему.

Для более полного обследования инструментов был сделан тщательный рентгеноспектральный микроанализ всех главных частей обоих инструментов (институт «Механобр», ООО «РС+», исп. Ю.Л. Крецер) Оказалось, что разные детали инструментов изготовлены из разных сплавов – бронзы, латуни и др.

Основные реставрационные работы с БПИ и БВК были успешно завершены в 2004 г. (Рис. 17, 18).

В первой половине 2009 г., после завершения реконструкции и восстановления Западного меридианного зала, А.В. Крюндалем была выполнена сложная и ответственная работа по сборке и установке на своих исходных фундаментах обоих меридианных

инструментов – БПИ и БВК, которые приобрели теперь свой новый статус – исторических экспонатов Астрономического музея ГАО РАН, уникальных образцов астрономической техники XIX века (Рис. 19).



Рис. 17.



Рис. 18.

Многолетние работы по восстановлению Западного меридианного зала и воссозданию его интерьеров, а также по реставрации инструментов и их установке проводились при непосредственном участии автора статьи С.В. Толбина и активном содействии и помощи сотрудников ГАО РАН – А.В. Девяткина, Б.Н. Смирнова и других.



Рис. 19.



Рис. 20.

19 июня 2009 г. в заключительные дни работы Международной астрометрической конференции «Пулково-2009», в присутствии участников конференции, представителей администрации Санкт-Петербурга и многочисленных гостей состоялось торжественное открытие реконструированного Западного меридианного зала, воспроизводящего облик обсерватории начала XIX века (Рис. 19). Главное здание Пулковской обсерватории приобрело свой обновленный внешний вид (Рис. 20).

RECONSTRUCTION OF THE WESTERN MERIDIAN ROOM AND RESTORATION OF THE ERTEL-STRUVE MERIDIAN INSTRUMENTS (THE LTI AND THE LVC)

Tolbin S.V., Kruendahl A.V.

The Central (Pulkovo) Astronomical Observatory of the RAS, Saint-Petersburg, the Russian Federation

The history of the post-war rebuilding of the Meridian rooms according to the project by A.V. Shchusev and of reconstruction of the Western Meridian room for the enlargement of Museum expositions is described. The detailed information about the work concerned with the restoration of the two meridian instruments (the Ertel-Struve Large Transit Instrument and the Ertel-Struve Large Vertical Circle) is given.

THE DYNASTY OF KNORRE ASTRONOMERS AND OTHER KNORRE DYNASTIES

Héral S.F.¹, Pinigin G.I.²

¹*Canohès, France*

²*NAO, Nikolayev, Ukraine*

Traditionally, the names of some families are linked to specific trades or professions inherited, so to say, from generation to generation. This is also true in astronomy. We wish to present here a dynasty less known than the famous Struves, but also born in Dorpat/Tartu: three generations of Knorre astronomers [1, 2].

The founder of the dynasty was Ernst Christoph Knorre, the son of a merchant and a native of Haldensleben in Saxony, who had studied theology at the University of Halle. Yet, he always felt a strong interest for mathematics, exact sciences and the knowledge of the universe. Around 1780 he moved to Dorpat where he became the headmaster of a secondary school for girls as well as teacher of mathematics. At the age of 35, Ernst Christoph decided to devote most of his leisure time to his favourite science and started to practice astronomy regularly, although he had no specific training in that area. He undertook a daily record of his work. Entries in his journal start from 1795. On the same year, Ernst C. Knorre, who at that time had no astronomical instruments, used self-made devices to determine the geographical latitude of the city of Dorpat.

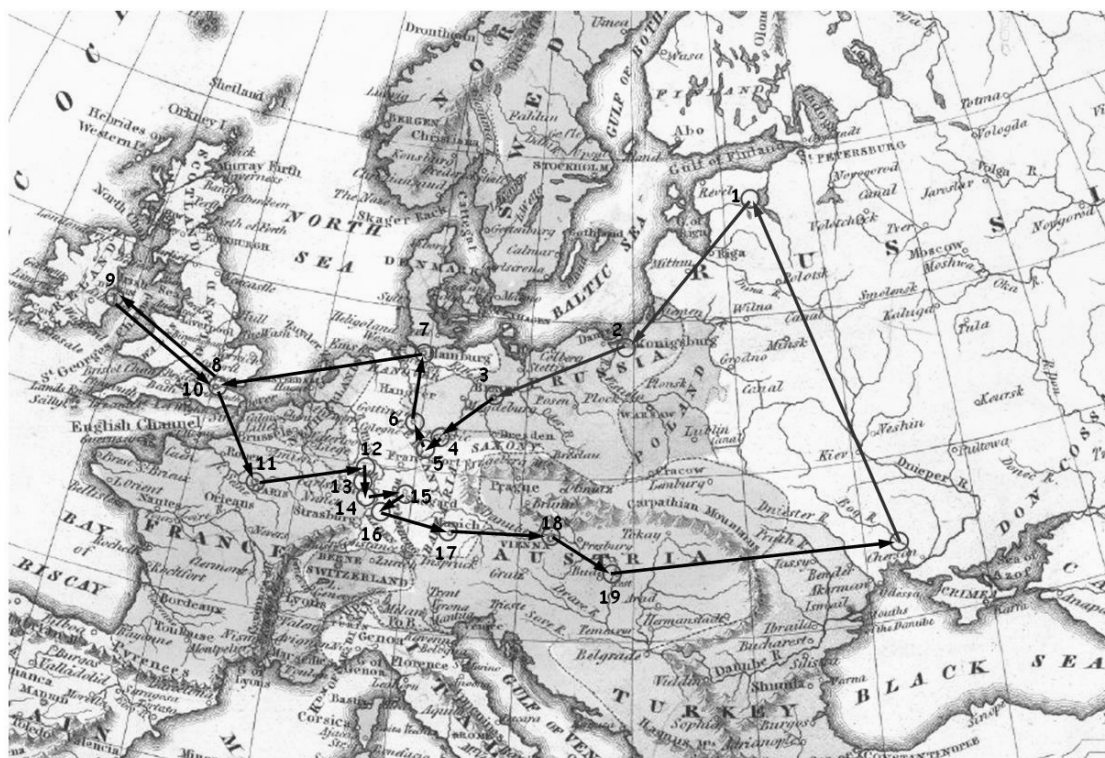
It was the first and, of course, extremely inexact attempt (with an error of over 10') to determine the latitude of the observation place [3]. Later, Ernst C. Knorre continued his latitude determinations with the help of gnomons and from 1798 with the help of a small Hadley octant with division by 20'. His passion for astronomy won him a small circle of enlightened fans who helped him with his observations. This brought him a certain fame and recognition.

In 1802, after the re-establishment of Dorpat University, Ernst C. Knorre was appointed to the post of assistant professor of pure and applied mathematics and astronomical observer at the newly created temporary university observatory. Thanks to his efforts, the observatory was equipped with sextants and other needed instruments. In 1806 a new professor was appointed to the chair of pure and applied mathematics, Johann Pfaff, a real specialist in his field. He did not trust Knorre's abilities and the two men did not get along well together. Soon Pfaff excluded his assistant from practical observations and until Pfaff's departure in 1809, Ernst C. Knorre had to work away from the observatory temporary installations. Nevertheless, he persistently continued his observations with a sextant. But he was not to see the opening of the permanent observatory for after fifteen years of selfless dedication to astronomy, he passed away on the 1st of December 1810 at the age of 51.



Ernst Christoph Knorre (1759–1810)

When his father died, Karl Knorre, born in Dorpat in 1801 and not even 10 years old, already displayed an impressive activity and astonishing self-dependence. He gave private lessons in mathematics and Latin to other pupils of his school and even to adults. Thus, he helped his mother by earning enough money to pay for his own education[4]. As he was a brilliant pupil, he finished school very early and entered Dorpat University at the age of 15. He had an incredible passion for mathematics, astronomy and science. He remembered his father's astronomical observations and was eager to carry on his studies in that field. However, in compliance with his guardian's wish, he started by studying theology. But at the same time he continued to study mathematics on his own. Soon he called on himself the attention of Professor Wilhelm Struve, appointed director of the Dorpat observatory in 1819, who supported his efforts at self-education and introduced him to the practice of astronomy. At that time, W. Struve was planning to undertake an extensive land survey of Livonia with the help of some of his students. He chose to take Karl Knorre as his first assistant, thus giving him the opportunity to acquire a decisive experience in geodesy. W. Struve so highly valued K. Knorre's work, that soon he recommended him to Admiral Alexey Greigh who was looking for a young astronomer as director of a new observatory to be built in Nikolayev.



Karl Knorre's route (drawn on a map of Europe in 1830 from Rumsey Collection)

Karl Knorre's European tour (June 1825 – August 1827).

Departure from Nikolayev : early June 1825

1. Dorpat/Tartu : June 1825
2. Königsberg /Kaliningrad : early July 1825
3. Berlin : early August 1825
4. Halle : August 1825
5. Gotha : August 1825
6. Göttingen : early September 1825
7. Altona – Hamburg : September 1825
8. London : from early October 1825 to early May 1826
9. Dublin : May 1826
10. London : end of May 1826

11. Paris : from early June 1826 to early March 1827

12. Mannheim : March 1827

13. Speyer : March 1827

14. Karlsruhe : early April 1827

15. Stuttgart : April 1827

16. Tübingen : end of April 1827

17. Munich : from early May to early July 1827

18. Vienna : July 1827

19. Ofen/Buda(pest) : early August

Return to Nikolayev : 11/23 August 1827.

In July 1820, Karl Knorre was appointed to the post of naval astronomer for the Black Sea Department of the Navy [5]. He arrived in Nikolayev in February 1821, one month before his twentieth birthday. Then he discovered the manifold duties assigned to him by Admiral Greigh. Beside lectures on astronomy to be given at the Navy school, he was expected to lead hydrographical campaigns on sea and supply the Black Sea Fleet with exact time and astronomical instruments. He would also have to conduct observations at the Admiral's private astronomical station, the pride of which was a 2-foot meridian circle by Liebherr. That was the only place where to practice astronomy before the construction of the future observatory.

The building works on Nikolayev naval observatory started on the 28th of May 1821 under the supervision of Admiral Greigh. Karl Knorre was well aware that he needed to acquire a special know-how and experience to be able to install the meridian circle and other equipment in the new observatory. Therefore he asked Admiral Greigh for the permission to go to Western Europe on a field trip in order to get acquainted with the best astronomers and their techniques, the latest instruments and their best makers. The Admiral who appreciated the work and qualities of the young man, agreed to let him go on an extensive tour of Europe.

In the course of this two-year journey, Karl Knorre visited the most advanced observatories of that time and met famous astronomers (Bessel, Encke, Schumacher, John Herschel, Arago), as well as makers of astronomical equipment (Ertel, Utzschneider, among others). He also made arrangements with booksellers and instrument makers for future deliveries of books and equipment to the Nikolayev observatory. After his return to Nikolayev, he delivered his report to Admiral Greigh [6] and immediately resumed his various activities with confidence and energy.

The new observatory was completed in August 1832. Karl Knorre successfully installed the meridian circle ordered from Ertel and even added to it an artificial horizon of his own design. For fifty years he never ceased faithfully serving the Russian Navy, astronomy and science and for at least 37 years he kept a steady correspondence with his master and friend Wilhelm Struve. In the history of astronomy, Karl Knorre's main contribution remains his Fifth Sheet of the famous sky chart published by the Berlin Academy of Science and his numerous articles in the "Astronomische Nachrichten".

The third member of the astronomers' dynasty is Victor Knorre, born in October 1840 in Nikolayev as Karl Knorre's fifth son. At the age of twelve, he was sent to Livonia where he received an excellent secondary education at a famous school in Fellin (Viljandi, Estonia).

After graduation in 1859, he returned home and worked for two years as an assistant to his father at the Nikolayev observatory. In 1862 he left for Berlin and studied astronomy with Wilhelm Foerster. After taking his PhD, he was employed as astronomical calculator at the Pulkovo observatory. During his Pulkovo assignment, he escorted academician Wild on an extensive inspection tour of weather and magnetic stations across Russia. His task was to determine their geographical coordinates and to conduct magnetic measurements. In 1869, his poor health condition forced him to return to Nikolayev, where he first acted as a private tutor for his younger brothers and sisters. Then he obtained a teaching position at the local high-school, but with a miserable salary and little hope to improve it. Therefore, after his father retired in 1871 and decided to move to Berlin with his wife and youngest children, Viktor left



Karl Knorre (1801–1883)

first, in order to find suitable accommodation for his family in Berlin, and finally settled down with them in the Prussian capital.



Viktor Knorre (1840–1919)

In 1873, Viktor Knorre was appointed observer at the Berlin observatory, whose director was his former master Wilhelm Foerster. Using a Fraunhofer refractor, he dedicated himself mainly to the observation of asteroids, comets and double stars. On the 4th of January 1876, he discovered asteroid Koronis and in the following years three other asteroids, Oenone, Hypatia and Pentheseilea. In order to observe and determine the path of asteroids, he built a micrometer with a special recording device which he called “Deklinograph”. He described its various stages of development in numerous issues of “Astronomische Nachrichten”. His observations led him to introduce a number of improvements on other astronomical instruments and equatorial telescope mountings.

In 1872 Viktor Knorre was appointed Professor of astronomy. His father Karl had the privilege to witness the brilliant achievements of his favourite son, and died in peace in 1883.

The Knorre and Struve dynasties were to meet again when in 1904 German Ottovych Struve was appointed director of the Berlin Observatory and most probably came into regular contact with Viktor Knorre. The latter’s official career ended in 1906 when he retired. But he continued his scientific activity privately and in 1909 and 1911 published works on a new equatorial mounting “type Knorre und Heele”. He had a prototype built by Heele at his own expenses. Such were the many contributions of Viktor Knorre to science, the last astronomer of the Knorre dynasty, who died in 1919 [7].

Engineers-builders formed a second important dynasty in the Knorre family, starting from Fyodor K. Knorre, born in 1831 in Odessa as Karl Knorre’s eldest son and only child of his first wife Elisabeth. After studying architecture at Saint-Petersburg’s Academy, he graduated from the newly created Institute of Civil Engineers and completed his training by spending one year at the Berlin Higher School of Architecture. Then he started his career as engineer-builder, working in different parts of Russia. Among others, in 1870-72 he was associated to the construction of a railway bridge over the Dnieper at Kremenchug. Afterwards, he participated in the construction of several railway sections of the Moscow-Kolomna line and one to Saratov. Later he moved to Stavropol where the governor appointed him successively architect and engineer for the Stavropol province. He stayed and worked there for fifteen years. He fulfilled his last significant mission in Krasnoyarsk where his brother Eugene had called him to participate in the building of a railway bridge over the Yenisey river for the Trans-Siberian main line. The works lasted four years, from 1896 to 1899.

The most prominent representative of the engineers-builders’ dynasty is definitely Eugene Knorre, already mentioned. Born in 1848 in Nikolayev, he was Karl Knorre’s tenth son. After completion of his secondary education in Berlin, he was sent by his father to Switzerland to study at the famous Zurich Polytechnikum, from which he graduated in 1870. Then he participated in the construction of different bridges over the Dnieper, western Dvina, Volga and Yenisey rivers and became a specialist in the use of caissons in the building of bridge piers. For his achievements on the Krasnoyarsk bridge he was awarded the Golden Medal of the 1900 Paris World Exhibition, the same prize as the one won in 1889 by Gustave

Eiffel for his famous tower. In the following generation, Fyodor Fyodorovich Knorre, born in 1865, built bridges in Siberia and later in Saint-Petersburg.

Outside of astronomers and engineers-builders, let's now turn to members of the medical profession which was represented in the Knorre family by several prominent physicians. First, Woldemar or Vladimir Knorre, third son of astronomer Karl Knorre and his second wife Dorothea. Born in Odessa in 1838, he studied medicine at Dorpat University where he belonged to the ancient and famous student fraternity "Livonia". He started his career in the Navy as an assistant doctor aboard a ship of the Black Sea Fleet. Then he worked as anatomist-pathologist at the Nikolayev Navy Hospital and was later appointed director of the Nikolayev City Hospital. In December 1893, he was promoted to the rank of actual State Counselor and appointed surgeon aboard the flagship of the Baltic Sea Fleet, based in Kronstadt. After a life-time dedicated to both medicine and the Navy, he died in 1901 in Riga. Secondly, we must mention Georg von Knorre (1864-1916), Karl Knorre's grandson and son of Alexander Knorre who was the director of a paper factory at Rappin in Livonia (Räpina, Estonia). Likewise, he studied medicine at Dorpat University and belonged to the fraternity "Livonia". Later he founded in Riga (Latvia) a women's clinic of great renown. Among his eight children, his son Heinrich born in 1897 became a specialist in gynaecology and obstetrics and succeeded his father at the head of the family clinic. Another son of Georg von Knorre was Georg Hellmuth (also Jürgen) von Knorre (1906-1981), who became a specialist of internal medicine. He is also the author of a priceless genealogic index which is a necessary instrument for any research on the Knorre lineage [8].

We will conclude with a few words on a last dynasty: musicians present in the Knorre family. Ernst Christoph as well as his elder brother Johann Friedrich who settled down in Dorpat at the end of the 18th century, were musicians at heart. They were regular organists at St John's church, now Tartu Jaani kirik. There from 1790 till his death in 1810, Ernst Christoph played on the organ every week. Later, one of his grand-children became a professional musician, Ernst Leopold, born in 1839 in Pernau, who studied piano first with famous virtuoso Theodor Stein, then in Brussels and Paris. After his return to Livonia, he started a short career, giving concerts as a pianist, then moved to Dorpat/Tartu where during over five decades, he gave piano lessons to generations of pupils. His eldest daughter Helene, born in 1865, helped him by taking care of beginners. Their house was a meeting-place for music lovers in Tartu at that time. Ernst Leopold died in 1928 in Tartu after an exceptionally long career as a highly respected piano teacher and musician [9].

Among Karl Knorre's descendants, several musicians can be mentioned. The most famous one is Evgeny Fyodorovych Knorre, born in 1870 from Fyodor's second wife Antonie Brun. He made a brilliant career as violin virtuoso and settled down in Moscow where he still lived and worked in 1936. His own son Anatoly, born in 1902 in Ivanovo-Voznesensk studied music in Berlin and like his father became a violin virtuoso. In 1937 he was appointed director of the Tashkent conservatory and later in 1965 conductor of the Moscow Railway Workers Orchestra. Evgeny's elder sister Adele, born in 1867 in Serpukhov, graduated from the Saint Petersburg Music Conservatory with the rank of "free artist" entitling her to start a career as an opera singer or a pianist. But family circumstances prevented her to do so. Her father Fyodor Karlovych, who had become a widow for the third time, ask her to come and manage his household in Krasnoyarsk, Central Siberia, where from 1896 to 1899 he worked on the construction of the railway bridge for the Transsiberian main line. In Krasnoyarsk Adele gave musical evenings at her father's home where she gathered a circle of enlightened expatriates from Europe. In 1899 she obtained a position as a teacher of piano and opera singing at a musical school in Nikolayev. Soon she met and married Wilhelm Weiss, a merchant's son from Libau (now Liepaja, Latvia). Three children were born. Around 1907, the whole family moved to Libau where Adele continued teaching music in schools and giving private lesson

till her retirement in 1930. Then her youngest daughter Lydia, born in Libau in 1912, who had just finished her secondary education, convinced her to escort her to France where she wanted to study music at the then famous Toulouse Conservatory. After several years of hard work, Lydia obtained the First Prize for piano playing and opera singing from the Toulouse Conservatory. Soon she married a Frenchman and started to raise a family. But her passion for music never left her and for over thirty years she taught her art in high-schools and gave private piano and singing lessons.

Here ends this brief outline of selected professional dynasties in the Knorre family, whose members distinguished themselves not only in astronomy, but also in engineering, medicine and music in the Russian empire, Germany and France for about 200 years.

Literature

1. *Г.И. Пинигин, С.Ф. Эраль*, Династия Астрономов Кнорре, Николаев, Издательство Ирины Гудым, 2009, 148 с.
2. *G. Pinigin*, “The Knorre astronomers’ dynasty” in *Astronomische Nachrichten*, 2009, Band 330, S. 578-581.
3. *Г.А. Желнин*, «Астрономия в Тарту в конце XVIII и начале XIX столетия – Э. Кнорре. Первые астрономические наблюдения в Тарту», Публикации Тартуской Астрофизической обсерватории имени В. Струве, том XXXVII, Тарту 1969, с.12-15.
4. *Fjodor K. Knorre*, “Harmlose Aufzeichnungen – Knorr’sche Familien-Chronik“ (manuscript), *Bolshoy Log*, 1901, 44 S.
5. *Г.М. Петров, Г.И. Пинигин*, Карл Кнорре – первый астроном Черноморского флота, Николаев, Атолл, 2004, 83 с., plus its enlarged French version, G.M. Petrov and G.I. Pinigin, Karl Knorre, Premier Astronome de la Flotte de Mer Noire, traduit du russe et annoté par Suzanne Héral, Nikolaïev, éditions Irina Gudym, 2007, 98 p. and Suzanne Héral „Karl Knorre, le premier astronome de l’observatoire de Nikolaïev“ in *L’Astronomie*, mai 2007, pp.222-226.
6. *Charles Knorre*, Rapport à Son Excellence Mgr.le Vice-Amiral A. Greig..., Saint-Pétersbourg, de l’imprimerie de la Veuve Pluchart, 1828, 124 p.
7. *M. Ebell*, «Todesanzeige» in *Astronomische Nachrichten*, 1919, Band 209, S. 367 (necrology).
8. *Georg von Knorre*, «Stammliste der Familie Knorre», (private s.), Oschersleben, 1972, 43 S.
9. *Aime Karm*, “Ernst von Knorre – Koidula-aegne klaveriöpetaja Tartust“, article in an Estonian journal, unspecified source, 5 p.

ВКЛАД ПУЛКОВСКОЙ И НИКОЛАЕВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИЙ В СОЗДАНИЕ ОПОРНЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ В ПЕРИОД, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЙ ПРОЕКТУ HIPPARCOS

Хруцкая Е.В.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Первый директор Пулковской обсерватории – В.Я.Струве – определил основную задачу обсерватории как “ всестороннее ... изучение звезд северного неба”. Это определило многоплановость работ обсерватории, сохранившуюся до настоящего времени. Данный обзор охватывает лишь часть работ, которые проводились в обсерватории, и в XIX веке снискали ей славу “астрономической столицы мира”. Речь пойдет о построении меридианных абсолютных и дифференциальных звездных каталогов и о распространении общепринятой фундаментальной системы на значительное количество звезд.

Николаевская астрономическая обсерватория стала южным филиалом Пулковской обсерватории в 1912 году, хотя вопросы, связанные с передачей ее из Морского ведомства под эгиду Пулкова, были согласованы еще в 1908 г. С тех пор и до распада Советского Союза работы этих двух обсерваторий были тесно связаны, как в плане создания абсолютных звездных каталогов, так и в распространении существующих фундаментальных систем на более слабые звезды.

Абсолютные определения координат

Основными инструментами Пулковской обсерватории, на которых проводились наблюдения координат звезд абсолютным методом, были: большой пассажный инструмент Эртеля-Струве и вертикальный круг Эртеля-Струве (см. статьи в этом сборнике). В Николаевской обсерватории аналогичные наблюдения проводились на пассажном инструменте Фрейберга-Кондратьева ($D = 108$ мм, $F = 1300$ мм) и вертикальном круге Репсольда ($D = 108$ мм, $F = 1400$ мм). Пассажный инструмент был изготовлен в мастерских Пулковской обсерватории Г.А. Фрейбергом-Кондратьевым. При его создании основное внимание было уделено жесткости конструкции. Для обеспечения этого горизонтальная ось инструмента была сделана из единого куска металла. Ее средняя часть имела цилиндрическую форму, а две боковые – форму усеченных конусов. Оригинально было осуществлено освещение поля зрения и механизм перекладки инструмента. Окулярный микрометр был изготовлен на фирме Репсольда (Гамбург), а объектив в Мюнхене на фирме Штенгеля. Вертикальный круг был полностью изготовлен в Германии на фирме Репсольда.

Из первых пулковских абсолютных каталогов следует упомянуть каталоги 1845, 1865 и 1885 годов, содержащих координаты 380 фундаментальных звезд до 4 звездной величины. Строгая независимость результатов наблюдений от принятых предварительных координат звезд достигалась, прежде всего, посредством рационального использования наблюдений одних и тех же близполюсных звезд в верхней и нижней кульминациях. Использование мир и метода вертикального круга позволили В.Я. Струве внести физическую и математическую определенность в проблему определения абсолютного азимута и широты инструмента, благодаря исключению из наблюдений изменений азимута оси вращения пассажного инструмента и места зенита вертикального круга. Пулковские абсолютные каталоги XIX века вместе с каталогами других обсерваторий послужили основой для всех последующих каталогов: Ньюкомба, Л. Босса, а также серии каталогов А. Ауверса. Так каталоги прямых восхождений и склонений 1865 г. были положены А. Ауверсом в основу первого фундаментального каталога FKAG, построен-

ного для обработки зонных наблюдений, организованных Германским астрономическим обществом [1].

В 1890 г. директором Пулковской обсерватории стал Ф.А. Бредихин, который внес новое содержание в работы обсерватории не только в области астрофизики, но и в астрометрии – в частности в проблему абсолютных определений координат звезд. По его инициативе в программу обсерватории была включена работа по составлению абсолютного звездного каталога 1900 г., который кардинальным образом отличался от предыдущих пулковских каталогов составом звезд. Вместо самых ярких звезд в каталог были включены свыше 1000 звезд от 5 до 7 звездной величины равномерно расположенные на небесной сфере с плотностью 1 звезда на 25 квадратных градусов. Преимуществом каталогов, полученных по наблюдениям 1894-1904 гг. перед каталогами Струве было то, что они лучше обеспечивали опорными звездами дифференциальные наблюдения. Идеи, заложенные в пулковских каталогах 1900 г. (каталоги Нюрена-Бредихина), оказались созвучными идеям, предложенным в 1909 г. в Париже на конгрессе, посвященном созданию фотографической карты неба. Первый этап этой работы предусматривал создание фундаментального каталога, независимого от каталогов AG.

Звезды пулковских абсолютных каталогов 1900 года, дополненные до южного полюса на Капской обсерватории, составили известный список Баклунда-Хофа, содержащий 3064 звезды. Абсолютные и дифференциальные наблюдения звезд этого списка были начаты в 1915 г. на 7-ми обсерваториях обоих полушарий, в том числе, в Пулкове и в Николаевском отделении Пулковской обсерватории. В Пулкове наблюдения были начаты в 1911 г., в Николаевской обсерватории – в 1913 г. и явились ее первыми наблюдениями абсолютным методом. В программу наблюдений Николаевской обсерватории вошли 1426 звезд, наблюдавшихся на инструментах Пулковской обсерватории и дополнительно 478 звезд в зоне -10° – -30° . Наблюдения велись на пассажном инструменте (П.И. Яшинов, Н.В. Циммерман) и вертикальном круге (Остащенко-Кудрявцев). В Николаевской обсерватории эти наблюдения продолжались до 1924 г., в Пулкове – до 1918 года. Пулковские каталоги 1915 г. были опубликованы в 1927 г., николаевские – позднее, уже в 30-х годах. Для Николаевской обсерватории этот период не был благополучным в связи с начавшейся Гражданской войной. Шесть раз обсерватория оказывалась в зоне боевых действий. В 1918 г. павильон пассажного инструмента и сам инструмент сильно пострадали из-за пожара, возобновить наблюдения стало возможным лишь в 1919 г.

Эти работы, выполняемые в рамках международной кооперации, позволили Пулковской обсерватории установить прочные научные связи с зарубежными организациями, участвующими в составлении зонных каталогов AG и фотографировании “Карты неба”.

В 1928 г. Пулковская обсерватория приступила к выполнению больших рядов меридианных наблюдений для уточнения положений звезд фундаментального каталога NFK. Николаевской обсерватории было предложено наблюдения звезд от полюса до -30° . Дополнительно, по инициативе Г.К. Циммермана в программу были включены 19 ярких звезд NFK со склонениями -33° – -40° и 16 близполюсных звезд списка Ренца, очень тесные двойные звезды из NFK были заменены другими звездами из списка Копфа-Ренца.

Абсолютные каталоги 1930 г., созданные совместными усилиями Пулковской и Николаевской обсерваторий, внесли существенный вклад в международную работу по созданию высокоточной фундаментальной системы FK3. Всего в FK3 было использовано 9 абсолютных пулковских и николаевских каталогов 1915, 1925 и 1930 гг.

В 1932 г. на 1-й астрометрической конференции СССР в докладе выдающихся пулковских астрономов Б.П. Герасимовича и Н.И. Днепровского “Звездная астрономия

и фундаментальные системы положений звезд” был предложен план оригинальной астрометрической работы по созданию каталога слабых звезд (КСЗ) [2]. В плане абсолютных определений проект предусматривал получение новых данных для уточнения общепринятых фундаментальных каталогов; получение первых эпох наблюдений слабых звезд для создания в будущем высокоточного фундаментального каталога слабых звезд – ФКСЗ; установление связи между фундаментальными системами ярких и слабых звезд. Доклад привлек большое внимание как отечественных, так и зарубежных астрономов. Трагические события 1937 г. и начавшаяся Великая Отечественная война надолго прервали эту и другие перспективные работы.

Первые послевоенные пулковские абсолютные каталоги включали в себя как звезды традиционной пулковской программы абсолютных наблюдений, так и звезды ФКСЗ. Наблюдательный список, пересмотренный М.С. Зверевым, А.А. Немиро и К.Н. Тавастшерной [3], имел в основе списки звезд пулковских и николаевских каталогов 1930 г.

Интерес к слабым звездам вновь возник в послевоенный период. В 1952 г. на симпозиуме по астрометрическим проблемам слабых звезд, который проходил в рамках 8 съезда МАС в Риме, центральным стал доклад М.С. Зверева, в котором был обоснован план построения нового фундаментального каталога слабых звезд (ФКСЗ). Оппонентом Зверева выступил директор Астрономического института Гейдельберга доктор А. Копфф. По его мнению фундаментальный каталог слабых звезд (FKS) должен был быть составной частью общепринятого фундаментального каталога и включать в себя как яркие, так и слабые звезды (для связи ярких и слабых звезд предлагалось использовать опорные ряды Кюстнера). Такой каталог должен был содержать порядка 6-6.5 тысяч звезд от самых ярких до звезд 9.5 звездной величины. По мнению Копффа для его создания необходимо расширить список звезд входящих в каталог FK3 путем привлечения в него звезд списка FK3-supp и каталога N30. На симпозиуме разгорелась жаркая дискуссия, в ходе которой компромисс не был достигнут. Основные возражения пулковских астрометристов сводились к следующему:

- число звезд 6-6.5 тысяч слишком велико для абсолютных наблюдений (предлагалась 1 тысяча звезд),
- предельная звездная величина 9.5 mag. слишком слаба для наблюдений на имеющихся меридианных инструментах с отверстием объектива 20 см. (предлагалось брать звезды не слабее 8.5 mag),
- разброс звездных величин фундаментального каталога в 8-9 mag. приведет к необходимости учитывать уравнения яркости (предлагался разброс ~ 1.5 mag),
- не решался вопрос об уточнении нуль-пунктов абсолютных каталогов (предлагалось использовать для этой цели фотографические наблюдения малых планет и внегалактических туманностей).

Последующие абсолютные наблюдения на обсерваториях Советского Союза продолжали вестись по программе ФКСЗ. Абсолютные каталоги, составленные по наблюдениям в Пулкове (1954-1961 гг.) и в Николаеве (1957-1965 г.), содержали более 500 ярких и слабых звезд и, в плане систематических ошибок, оказались в ряду наилучших. С большими весами они были использованы при построении FK4, а позже при построении фундаментальной системы FK5.

Выдающимся событием в истории пулковских абсолютных определений стала работа пулковской астрометрической экспедиции в южном полушарии (Чили, 1962-1973 гг.). Ее организатором и непосредственным участником наблюдений был М.С. Зверев. Для обеспечения абсолютных наблюдений в Чили, в Пулкове были построены два инструмента: большой пассажный инструмент классического типа (БПИ) и фотографический вертикальный круг, идея которого принадлежала М.С. Звереву. БПИ

был построен в период с 1964 по 1966 гг. в Пулковских мастерских с участием завода ЛОМО под руководством А.А. Немиро и Ю.С. Стрелецкого. Кроме того в Чили был вывезен имевшийся в Пулкове пассажный инструмент Цейса. С целью повышения устойчивости его азимута на инструменте были проведены отдельные усовершенствования по рекомендации Н.Н. Павлова. В программу абсолютных наблюдений вошли порядка 600 ярких звезд пулковской программы и примерно столько же слабых звезд ФКСЗ (Б.К. Багильдинский). Программа наблюдений абсолютных прямых восхождений на инструменте Цейса была составлена В.Н. Шишкиной и содержала 826 звезд каталога FK3. Результатом работы чилийской экспедиции стали два абсолютных каталога: “Каталог абсолютных прямых восхождений 1960 ярких (FK4) и слабых (ФКСЗ) звезд южного неба” [4] и “Каталог абсолютных склонений ярких и слабых звезд от $+40^\circ$ до -90° , полученный на ФВК в Чили”. По оценке В. Глизе [5], первый из этих каталогов стал первым в истории астрометрии действительно абсолютным каталогом прямых восхождений звезд южного неба.

Говоря об абсолютных каталогах, следует упомянуть обработку наблюдений южных звезд списка Баклунда-Хофа, наблюдавшихся в Мельбурнской обсерватории в 1928-1941 гг. Обработка этого материала была выполнена К.Н.Тавастшерной. Полученные им абсолютные каталоги (Me- α) [6] и (Me- δ) [7] содержали около 2.5 тысяч звезд. Оба эти каталога, а также чилийские абсолютные каталоги, были использованы при выводе новой фундаментальной системы FK5.

Большой интерес в плане постановки задачи и ее реализации имела и работа, начатая сотрудниками Николаевского отделения Пулковской обсерватории, под руководством Г.М.Петрова, выполненная в 70-х годах на острове Шпицберген. Помимо сотрудников Николаевской обсерватории в ней приняли участие астрометристы Пулковской обсерватории и Ленинградского Государственного университета.

Абсолютные наблюдения прямых восхождений звезд выполнялись в период 3-х полярных ночей:

- 1974-1975 гг. – руководитель Г.М. Петров (Николаевское отделение ГАО),
- 1975-1976 гг. – руководитель Э.М. Тильк (Николаевское отделение ГАО),
- 1976-1977 гг. – руководитель Г.И. Пинигин (ГАО).

Результатом работы стал “Каталог абсолютных прямых восхождений 531 звезды FK4 в зоне склонений от $+10^\circ$ до $+90^\circ$ ” (Nik(Spz)75) [8]. Большая часть использованного материала наблюдений пришлась на 25 рядов продолжительностью от 18 часов непрерывных наблюдений (самый продолжительный ряд составил 115 часов, 1977 г.) Столь продолжительные ряды позволили осуществлять многократное определение абсолютного азимута на протяжении одного непрерывного ряда наблюдений и получить уникальный материал для внутреннего выравнивания прямых восхождений близполюсных звезд. Как показали дальнейшие исследования этого каталога (из сравнения с FK5) каталог оказался свободен от всех систематических ошибок вида $\Delta\alpha_\delta$, $\Delta\alpha_\alpha$, и $\Delta\alpha_m$.

Из работ методического характера, имеющих отношение к абсолютным определениям координат звезд, которые постоянно велись в Пулковской обсерватории, внимание заслуживает метод Крейнина-Мурри определения абсолютных склонений координат звезд [9] и ряд методических исследований, основанных на методе зенитной симметрии, предложенном В.Г. Шапошниковым [10]. Также следует упомянуть и оригинальный метод, исключаяющий гнутие инструмента, предложенный николаевским астрометристом Г.К. Циммерманом. Метод предполагал определение прогиба трубы одновременно с определением астрономической широты, постоянных рефракции и поправок к элементам земной орбиты из наблюдения Солнца и незаходящих звезд в двух кульминациях.

При работе в Чили на ФВК пулковские астрономы столкнулись с рядом проблем. Эти проблемы были связаны с отдельными конструктивными особенностями инструмента и недостаточно тщательной его регулировкой (непостоянство эффекта гнутия, которое объяснялось недостаточно жесткой связью зеркала и в особенности мениска с массивной стальной трубой), а также с отсутствием точных поправок штрихов лимба. Частично все замеченные дефекты были устранены. На инструменте было получено около 12000 программных звезд, после чего он был вывезен в Пулково. В период с 1987 г. по 1995 г. после тщательного исследования всех узлов инструмента наблюдения на нем были продолжены уже в Пулкове. Полученный каталог склонений 760 звезд списка FK5/FK5 Ext (ФВК96) [11] хотя и не являлся строго абсолютным в смысле классической пулковской методики абсолютных определений, показал хорошую точность (0".10). Выведенные склонения практически не зависели от склонений каталога FK5, а экватор ФВК96 был приведен в соответствие с экватором, заданным эфемеридой DE200, и не совпадал с экватором FK5.

Дифференциальные определения координат

Вторым важным направлением работ Пулковской и Николаевской обсерваторий в области меридианной астрометрии явились дифференциальные (относительные) определения координат звезд. Основные инструменты для проведения таких наблюдений - меридианные круги. В Пулковской обсерватории для этих целей В.Я.Струве был приобретен меридианный круг Репсольда ($D = 150$ мм, $F = 2150$ мм). В Николаевской обсерватории – меридианный круг Эртеля (1831 г., $D = 108$ мм, $F = 165$ см, $D_{\text{лимба}} = 94$ см, разделенный через 3').

Первой большой работой для пулковского меридианного круга стала работа по определению точных координат всех звезд северного неба до 7.0 звездной величины с привязкой их к существующей фундаментальной системе (программа В.Я. Струве). За период с 1841 г. по 1869 г. было получено более 15 тысяч наблюдений этих звезд, их обработка была закончена лишь в 80-е годы.

В 1869 г. Германским астрономическим обществом было организовано первое коллективное международное предприятие по меридианным определениям всех звезд Боннского обозрения (BD) и его южного продолжения. В этой работе принял участие меридианный круг Николаевской обсерватории (1872-1899 гг.). Итог работы – очень точный по тем временам каталог 5954 звезд в зоне склонений $-2^{\circ}10' \div +1^{\circ}10'$. Зона получила название – “Николаевская зона”, очень часто ее стали называть “зона Кортацци” по имени ее наблюдателя – И.Е. Кортацци, в то время директора Николаевской обсерватории.

Из наблюдений конца XIX века в Пулкове наиболее значимыми были наблюдения 1869-1874 гг. двухсот “дополнительных” звезд к пулковским абсолютным каталогам. Полученные координаты стали сразу же использоваться как опорные при обработке зонных каталогов AGK1. Из дореволюционных работ внимания заслуживают наблюдения примерно 9 тысяч звезд в зоне склонений от $+15^{\circ}$ до -15° , выполненные М.Н. Мориным и А.А. Кондратьевым с 1898 по 1908 гг.

Попытка организовать меридианные наблюдения для образования общей опорной системы для каталогов Карты неба была предпринята в 1909 г. на 5-й астрофотографической конференции в Париже. Ее итогом стали меридианные наблюдения звезд списка Баклунда-Хофа на 10 обсерваториях в обоих полушариях, в числе которых были Пулковская и Николаевская обсерватории. Большая часть этих наблюдений севернее 10 градусов была объединена в двух сводных каталогах:

- каталог прямых восхождений, составленный в Пулкове Ф.Ф. Ренцем,
- каталог склонений, составленный Н.И. Днепровским в Астрономическом институте.

Эти каталоги не только подвели итог большой международной кампании, но и обеспечили надежными положениями звезд астрогеодезические работы и работы Служб времени.

Что касается слабых звезд, то в конце 20-х годов была предпринята работа по фотографическим перенаблюдениям зонных каталогов AG (AGK2). Опорный каталог для этой работы решено было создать путем расширения системы FK3 на слабые звезды. Так началась международная кампания AGK2A, которая предусматривала дифференциальные меридианные наблюдения слабых звезд на 7 обсерваториях северного полушария. Программа наблюдений, включившая в себя 13747 звезд 7-9 звездной величины, была составлена Ф. Кюстнером. Меридианные наблюдения были начаты в 1929 г. В Пулковской обсерватории наблюдалась зона $+45^\circ \div +60^\circ$. Итогом этой работы стал сводный каталог AGK2A, опубликованный в 1943 году [12].

Недостатком каталогов Ф.Ф. Ренца и Н.И. Днепровского явилось отсутствие в них многих звезд 5-6 звездной величины, имевших важное значение для Служб времени и полевых геодезических работ. В 1932 г. на Первой астрометрической конференции СССР был поднят вопрос о расширении списка ярких звезд и их дифференциальных наблюдениях на меридианных кругах. Научным руководителем и организатором программы наблюдений “1334 геодезических звезд” стал пулковский астрометрист Н.В. Циммерман. Наблюдения заняли период с 1933 г. по 1938 г., в них приняли участие 5 обсерваторий Советского Союза, в их числе Пулковская и Николаевская обсерватории. Общая обработка полученных наблюдений и их объединение с пулковским каталогом 1925 г. была в основном завершена в 1941 г. Смерть Н.В. Циммермана в блокадном Ленинграде помешали ему довести до конца эту работу. Она была закончена в Пулковской обсерватории после войны А.А. Немиро и Б.А. Орловым [13].

В послевоенный период наблюдательные работы в обеих обсерваториях возобновились. В Пулковской обсерватории дифференциальные наблюдения стали проводиться на меридианном круге Тепфера ($D = 190$ мм, $F = 2500$ мм, $D_{\text{круга}} = 70$ см, цена делений – 2'). Меридианный круг Тепфера был переделан в 1924-1925 гг. из пассажного инструмента, созданного Тепфером еще в 1913 г. В 1952 г по инициативе М.С. Зверева на трубе инструмента был смонтирован двухкоординатный микрометр, изготовленный в Объединении ЛОМО. В Пулковских мастерских дважды перешлифовывались цапфы инструмента (механик В.Ф. Буреньшев). Пулковский меридианный круг Репсольда, хранившийся во время войны в разобранном виде в Ленинграде и изрядно пострадавший от этого, после ремонта в мастерских Пулковской обсерватории был перевезен в Николаев. В Николаевской обсерватории под руководством Я.Е. Гордона ремонт инструмента был завершён. Тогда же были детально исследованы микрометрические винты, ошибки делений кругов и ошибки цапф.

Во второй половине 50-х годов на обоих меридианных кругах возобновились дифференциальные наблюдения по программе Каталога слабых звезд (КСЗ).

Следует отметить, что при создании фотографического каталога AGK2 не были получены собственные движения звезд. Для их вывода на конец 50-х годов было запланировано получение вторых эпох фотографического каталога (предприятие AGK3). Специально под эту программу в Вашингтонской морской обсерватории был составлен список опорных звезд AGK3R для меридианных наблюдений. По сути обе программы КСЗ и AGK3R решали одну задачу – распространение фундаментальной системы FK3 на слабые звезды. Программы различались лишь критериями при отборе звезд. Пулковский подход отличался более жесткими критериями отбора звезд: меньшим диапазоном по яркости, спектральным характеристикам и ограничением на величины собственных движений звезд. На IX съезде МАС (Ирландия, 1955 г.) после длительной дискуссии

компромисс был достигнут. Все звезды пулковской программы КСЗ вошли в международную программу AGK3R со значком Z (звезды Зверева).

Наблюдения по программе AGK3R на меридианных кругах 10-ти обсерваторий выполнялись в период с 1956 по 1963 гг. В Пулковской обсерватории наблюдалось 11511 звезд в зоне $+90^\circ - +25^\circ$, результатом работы стал “Каталог положений 11511 звезд в зоне $+90^\circ - +25^\circ$ ” [14]. В Николаеве наблюдались 9994 звезды в зоне $+25^\circ - -2^\circ$. Результаты наблюдений воплотились в “Каталоге прямых восхождений и склонений 9994 звезды в зоне $+25^\circ - -2^\circ$ ” [15]. Конечным результатом этой международной наблюдательной кампании стал сводный каталог AGK3R, составленный в Вашингтонской Морской обсерватории под руководством Ф. Скотта [16].

Уже в период создания каталога AGK3R был предложен план его распространения на южное полушарие в результате чего возник список южных опорных звезд – SRS. Цель этой программы была аналогичной цели работ в северном полушарии – создание опорной системы координат слабых звезд для фотографических наблюдений. Наблюдения велись в рамках международной кооперации с участием 13-ти обсерваторий, среди них – Николаевское отделение ГАО (зона $0^\circ - -20^\circ$, период наблюдений 1963-1968 гг.) [17] и пулковская экспедиция в Чили (зона $-47^\circ - -90^\circ$, период наблюдений 1963-1968 гг.) [18]. В Николаеве наблюдения проводились на меридианном круге Репсольда, при этом визуальные отсчеты круга были заменены на фотографические. В Чили наблюдения велись на меридианном круге Репсольда обсерватории Сантьяго, который предварительно также был несколько модернизирован.

Начавшаяся обработка чилийских наблюдений выявила значительные систематические ошибки в прямых восхождениях фундаментального каталога FK4. Особенно сильно они проявились в южных зонах склонения около -70° . Это “открытие” вызвало вначале недоверие иностранных астрономистов. Однако после его подтверждения из наблюдений на пассажных инструментах оно стало общепризнанным. Для возможности обработать наблюдения, полученные в южном полушарии, М.С. Зверевым был разработан квази-абсолютный метод обработки [19], при котором каталог строился в инструментальной системе, слабо зависящей от принятой фундаментальной системы. Детальное сравнение лично-инструментальной системы и фундаментальной, выполняемое на последнем этапе обработки, позволяло выявить систематические ошибки последней [20].

Составление сводного каталога SRS было поручено двум обсерваториям – Вашингтонской и Пулковской. Итогом этой большой международной работы стал Сводный каталог южных опорных звезд (SRS) [21].

Параллельно с наблюдениями слабых опорных звезд во второй половине XX века интенсивно наблюдались яркие звезды (BS), а также проводились наблюдения по специальным программам, содержащим двойные звезды (DS), зодиакальные звезды (ZS), звезды высокой светимости (HLS), опорные звезды вблизи избранных галактик (PS) и звезды вокруг радиоисточников (RRS).

Наблюдения по программе Bright Stars (BS) проводились параллельно с наблюдениями по программе SRS. В Николаеве наблюдалась зона $0^\circ - -20^\circ$ [17], пулковская экспедиция в Чили наблюдала зону $-47^\circ - -90^\circ$ [18], в этой же зоне велись наблюдения двойных звезд (DS) [18].

В 1969-1972 гг. в Николаевской обсерватории были выполнены наблюдения 9537 зодиакальных звезд в зоне склонений $\pm 30^\circ$ [22], а в 1974-1976 гг. – наблюдения по программе ФКСЗ [23]. В 1984-1986 гг. были определены координаты 1575 звезд высокой светимости (HLS) в зоне $+80^\circ - -30^\circ$ [24].

Сводные каталоги

За все время существования Пулковской и Николаевской обсерваторий в плане абсолютных определений координат звезд обе обсерватории были лишь “поставщиками” высокоточных абсолютных каталогов, которые были использованы при создании целой серии фундаментальных систем, начиная от Л. Босса и А. Ауверса и кончая фундаментальным каталогом FK5. Что касается дифференциальных определений, то кроме построения индивидуальных звездных каталогов в Пулковской обсерватории велись работы по созданию сводных каталогов, реализующих вторичные опорные системы, которые распространяли общепринятую фундаментальную систему на большое число звезд. Ниже представлены основные из этих каталогов.

- Ренц Ф.Ф. *Fundamental Catalog von 1642 Haupt - und 127 Zusatzsternen für die Epoch 1925.0.* //Тр. ГАО. 1935. Т.XLIV. Ч.2.
- Циммерман Н.В. Каталог 2957 ярких звезд со склонениями от -10° до $+90^\circ$. //Тр. ГАО. серия II. Т.LXI.
- Губанов В.С. Каталог 2957 ярких звезд со склонениями от -10° до $+90^\circ$. Эпоха 1975.0 (КГЗ-2). // Тр. ЦНИИ геодезии, аэросъемки и картографии. М., “Недра”. 1968. вып. 179.
- Зверев М.С., Положенцев Д.Д. Предварительный сводный каталог фундаментальных слабых звезд от $+90^\circ$ до -20° (ПФКЗ3). //Тр. ГАО, серия II. 1958. Т.72. 76с.
- Зверев М.С., Курьянова А.Н., Положенцев Д.Д., Яцкив Я.С. Сводный каталог фундаментальных слабых звезд со склонениями от $+90^\circ$ до -20° (ПФКЗ3-2). //Киев, “Наукова Думка”. 1980.
- Батурина Г.Д. Сводный каталог 314 звезд КСЗ в площадках с галактиками. 1974.
- Хруцкая Е.В. Сводный каталог положений и собственных движений 4949 геодезических звезд от $+90^\circ$ до -90° (КГЗ). // Деп. в ВИНТИ ч.І. N 4077-84; ч.ІІ N4078-84. 1984
- Smith C.A., Corbin T.E., Hughes J.A., Jackson E.S., Khrutskaya E.V., Polozhentsev A.D., Polozhentsev D.D., Yagudin L.I., Zverev M.S. The SRS catalog of 20488 star positions culmination of an international cooperative effort. 1990.
- Хруцкая Е.В. NewBS – сводный каталог положений и собственных движений 6637 звезд до 7.9 звездной величины в зоне склонений от $+90^\circ$ до -90° . // Деп. в ВИНТИ ч.І. N 1848-96; ч.ІІ N1849-96. 1996.
- Павлов Н.Н., Афанасьева П.М., Старицын Г.В. Сводный каталог служб времени СССР. // Тр. ГАО в Пулкове, серия II. 1971. Т.78.
- Горшков В.Л., Щербакова Н.В. Сводный каталог прямых восхождений и собственных движений 1000 звезд Служб времени и 48 радиозвезд. 1998.

Вклад Пулковской и Николаевской обсерваторий в построение общепринятой опорной системы координат можно оценить по их вкладу в фундаментальный каталог FK5 – последний из фундаментальных каталогов, базирующихся только на наземных наблюдениях. Каталог FK5 состоит из трех частей: базовая часть (1535 звезд), яркое дополнение (992 звезды) и слабое дополнение (2125 звезд). Для формирования FK5 было использовано порядка 250 каталогов 50-ти обсерваторий. Для построения системы FK5 было привлечено 85 абсолютных и квази-абсолютных каталогов, полученных после 1900 г. Среди них: 21 каталог Пулковской обсерватории и 10 каталогов Николаевской обсерватории – всего 31 каталог, что составляет 36% всего использованного материала. Всего же для построения FK5 (вывод системы каталога, формирование дополнений, получение собственных движений) было использовано 50 пулковских и 17 николаевских каталогов - всего 67 каталогов или 27% привлеченного наблюдательного материала.

При подготовке космического проекта HIPPARCOS звезды фундаментального каталога FK5, а также звезды сводных каталогов AGK3R, SRS, BS вошли во входной каталог астрометрического спутника.

Иллюстрации к тексту этой статьи можно посмотреть на сайте Лаборатории астрометрии и звездной астрономии ГАО (www.puldb.ru/laza_gao) в разделе "НОВОСТИ" → конференция Пулковско-2009, презентации докладов.

Литература

1. *Auwers A.* Vorläufiger Fundamental – Catalog für die Beobachtung der Sterne bis zur neunten Grosse. // Vierteljahrsschrift der AG. 1869. Bd IV. P. 316-343.
2. *Герасимович Б.П., Днепровский Н.Н.* Звездная астрономия и фундаментальные системы положений звезд. // Тр. 1-й астрометр. конф. СССР. Л. 1933. С.137-151.
3. *Зверев М.С., Немиро А.А., Тавастшерна К.Н.* Пулковская программа ярких фундаментальных звезд. // Тр.11-й астрометр. конф. СССР. Л. 1955. С.83-108.
4. *Варин М.П., Варина В.А., Губанов В.С., Немиро А.А., и др.* Каталог абсолютных прямых восхождений 1960 ярких (FK4) и слабых (ФКСЗ) звезд южного неба. //Тр.ГАО, серия II. 1981. Т. 84. С.4-60.
5. *Gliese W.* Proc. IAU General Assembly. Dordrecht. 1971. V.14B. P.96-97.
6. *Тавастшерна К.Н.* Каталог абсолютных прямых восхождений звезд Баклунда-Хофа от +32° до -90°. // Тр. ГАО. 1981. Т.84. С.61-118.
7. *Тавастшерна К.Н.* Каталог склонений 2249 звезд списка Баклунда-Хофа от +32° до - 90°, наблюдавшихся в Мельбурнской обсерватории с 1928 г. по 1941 г. Me(δ). Л., 1968.
8. *Калихевич Н.С., Кияев В.И., Павлов А.С., Петров Г.М., и др.* Абсолютные прямые восхождения 531 звезды, полученные из наблюдений на о. Шпицберген. // Деп. в ВИНТИ. 1980. N 754-B80.
9. *Крейнин Е.И., Мурри С.А.* Определение абсолютных экваториальных звезд из микрометрических наблюдений вблизи экватора. // А.Ж. 1973. Т.50. N 3. С.606-614.
10. *Шапошников В.Г.* Об абсолютном определении склонений и рефракции. // Тр.1-й астрометр. конф. СССР. Л., 1933. С.96-108.
11. *Багильдинский Б.К., Гончаров Г.А., Корнилов Э.В., Положенцев Д.Д., Шкутов В.Д.* Каталог ФВК96. // Изв. ГАО в Пулкове. 1998. N 213. С. 48-66.
12. *Katalog der 13747 Anhaltssterne für den AGK2A.* // Veroff. Kopernickus Inst. (AR-I). Berlin, Dahlem, 1943. N 55. P. 20-361.
13. *Циммерман Н.В.* Каталог 2957 ярких звезд со склонениями от -10° до +90°. // Тр. ГАО, серия II. 1948. Т.LXI. 279 с.
14. *Батурина Г.Д., Бедин В.С., Варина В.А., Зверев М.С., Извекова А.А., Наумова А.А., Положенцев Д.Д., Мурри С.А.* Пулковский каталог координат 11506 звезд AGK3R. Часть I. // М. 1988. 80 с. – деп. в ВИНТИ N 6050- B88; Часть II. // М. 1988. 80 с. – деп. в ВИНТИ N 6051-B88.
15. *Гордон Я.Е., Горель Л.Ф., Дзюба И.П., Калинина О.Ф.* Каталог прямых восхождений и склонений звезд AGK3R, составленный в Николаеве на меридианном круге. // Тр. ГАО, серия II. 1966. Т.LXXV. С. 96-254.
16. *Scott F.P.* International Reference Stars Programs. // Rept. Comm. N 8. Positional Astronomy. 1976.
17. *Конин В.В., Хруцкая Е.В.* Каталог положений 5976 звезд SRS и 727 звезд BS в зоне 0°- -20°. // Тр. ГАО, серия II, 1983. Т. LXXXV. С.4-148.
18. *Батурина Г.Д., Бедин В.С., Зверев М.С., Наумова А.А., Плюгина А.И., Положенцев Д.Д., Положенцева Т.А., Степанова Е.А.* Каталоги координат опорных слабых, ярких и двойных звезд южнее -47° и поправок к положениям звезд FK4 по наблюдениям пулковских астрономов с меридианным кругом обсерватории Серро-Калан (Чили) в 1963-1968 гг. // Тр. ГАО. 1986. Т. LXXXVI. С.4-158.
19. *Зверев М.С.* О квази-абсолютном методе обработки дифференциальных меридианных наблюдений // АЖ. 1969. Т.46. вып. 6.
20. *Ангита К., Зверев М.С., Карраско Г., Положенцев Д.Д.* Поправки прямых восхождений FK4 из наблюдений рядов фундаментальных звезд с меридианным кругом обсерватории Серро-Калан (Чили). // Изв. ГАО в Пулкове. 1971. N 189-190. С. 83-97.

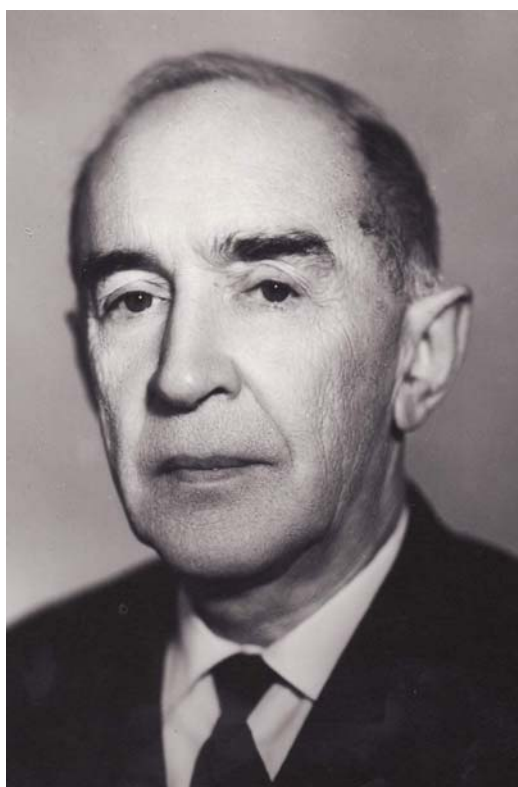
21. *Smith C.A., Corbin T.E., Hughes J.A., Jackson E.S., Khrutskaya E.V., Polozhentsev A.D., Polozhentsev D.D., Yagudin L.I., Zverev M.S.* The SRS catalog of 20488 star positions culmination of an international cooperative effort. // Symp. N 141. Inertial coordinate system of sky. 1990. P. 457-463.
22. *Гордон Я.Е., Горель Л.Ф., Хруцкая Е.В.* Каталог 9537 зодиакальных звезд, наблюдавшихся на меридианном круге Николаевской обсерватории. // М. 1982. 250 с. – деп. в ВИНТИ N1160-82.
23. *Хруцкая Е.В.* Прямые восхождения 586 звезд ФКСЗ, наблюдавшиеся в Николаеве в 1974-1976 гг. // Сб. Астрометрические исследования . 1981. С.20-31.
24. *Горель Л.Ф., Погоний А.Д.* Каталог положений звезд высокой светимости (HLS). Деп. в ВИНТИ. 1991. N 3515-B91.

АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ ДЕЙЧ
(к 110-летию со дня рождения)

Шахт Н.А.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

В 2009 году исполняется 110 лет со дня рождения пулковского астронома, доктора физико-математических наук, профессора Александра Николаевича Дейча (1899–1986), который в течение многих лет был заведующим отделом фотографической астрометрии и звездной астрономии, руководителем и учителем нескольких поколений астрономов Пулковской обсерватории, а также сотрудников других обсерваторий.



А.Н. Дейч. 1970 г.

Александр Николаевич родился 31 декабря 1899 года в семье военного в г. Рени Одесской области.

Там же он провел ранние годы своего детства. Закончив гимназию в г. Саратове, Александр Николаевич поступил на физико-математический факультет Саратовского университета. В мае 1919 г. он был мобилизован в Красную армию – писарем в отделе снабжения 4-й армии Уралфронта, а затем письмоводителем и делопроизводителем в саратовском губвоенкомате. В октябре 1920 года Александр Николаевич приехал в Петроград и поступил лаборантом в Военно-хозяйственную академию РККАФ, начальником которой был его отец. Одновременно он преподавал элементарную математику на подготовительном отделении этой академии. Окончательно он был демобилизован в январе 1923 г.

По приезду в Петроград Александр Николаевич подал документы в университет и был принят на 3-й курс. Закончил он университет в 1924 году. Еще будучи студентом

Петроградского университета, Александр Николаевич работал вычислителем сначала в ГОИ, а с 1923 г. – в Пулковской обсерватории, где он успешно трудился до конца своей жизни (в течение 63 лет), пройдя путь от вычислителя до заведующего отделом.

Александр Николаевич начал свою работу в Пулкове под руководством основателя отечественной астрофотографии проф. С.К. Костинского (1867–1936). У него Александр Николаевич воспринял и в дальнейшем развил лучшие традиции русской астрофотографической школы. Первые работы А.Н. Дейча относились к области определения точных положений малых планет и их фотометрических характеристик. Для обработки наблюдений он впервые в Пулкове предложил применять каталоги "Карты неба" и метод Шлезингера. Он был участником трех экспедиций по наблюдениям полных солнечных затмений в 1927, 1936 и в 1945 году. Им определены долготы Тбилиси, Свердловска и Архангельска (1930-1931 гг.). Изучая фотографические снимки, он обнаружил несколько новых переменных звезд.



А.Н. Дейч с двоюродным братом, филологом А.И. Доватуром.
Саратов, 1922 г.

В 1935 году за совокупность работ Александру Николаевичу Дейчу была присуждена степень кандидата физико-математических наук.

С 1932 года в течение ряда лет Александр Николаевич преподавал курс мореходной астрономии в Военно-морском училище им. Фрунзе. Во время своего отпуска он проводил практические занятия с курсантами на Балтийском море.

С 1936 года Александр Николаевич начал большую работу по измерению собственных движений в площадках Каптейна, результатом которой стал каталог собственных движений 18 тыс. звезд [1]. Ему удалось показать, что апекс слабых звезд значительно отличается от стандартного. На основании этого А.Н. Дейч сделал ряд выводов

о пространственном распределении звезд в Галактике, подтвердив, в частности, гипотезу о существовании Местной системы звезд. Им обнаружен белый карлик, а также новая ветвь слабых карликов, лежащая на диаграмме Рессела на две величины ниже главной последовательности. Кроме того, получил вековые параллаксы слабых звезд до 15^m величины, которые сохранили свое значение до настоящего времени.

Эта работа была успешно защищена им в качестве докторской диссертации на заседании ученого совета в Ленинградском университете 24 июня 1941 года на третий день после начала Великой Отечественной войны.

В трудное военное время (1941–1942 гг.) Александр Николаевич Дейч исполнял обязанности директора Пулковской обсерватории.

Вот как вспоминал Александр Николаевич о ситуации сложившейся в октябре 1941 г., когда линия фронта проходила через Пулковские высоты: "Военное командование уведомило Академию наук в Ленинграде о гибели обсерватории и просило принять меры к спасению уцелевших в подвалах главного здания книг богатейшей в мире астрономической библиотеки. Страшное зрелище представляла обсерватория, когда мы с В.Р. Бергом, руководимые батальонным комиссаром В.А. Герасимовым, поднялись на холм по исковерканной снарядами аллее парка, перешагивая через поверженные стволы деревьев. Бледный месяц на ущербе сквозь облачную дымку освещал неузнаваемые стены главного здания с дырами вместо окон, с провалившимися вниз и сгоревшими башнями, крышей и всеми перекрытиями. Обсерватория стояла перед нами в такой жалкой беспомощности, что слезы невольно застилали глаза, а в груди нарастала злоба против фашистских разбойников, развязавших новую мировую войну, заведомо безнадежную для них, в чем советские люди были крепко уверены с самого начала".

В следующие две ночи были организованы экспедиции сотрудников Пулковской обсерватории, Астрономического института и библиотеки Академии наук, в результате которых из Пулкова были вывезены уцелевшие фонды библиотеки, а также часть лабораторного имущества и коллекция астрономических негативов.

В феврале 1942 г. Александр Николаевич с семьей был эвакуирован в Ташкент, где продолжал свою научную деятельность и вел наблюдения на ташкентском нормальном астрографе. Здесь также следует упомянуть работу А.Н. Дейча, посвященную определению места корабля по наблюдениям Солнца, разделенным небольшим промежутком времени. Теоретическую часть работы А.Н. Дейч начал в Ташкенте в 1942 году. Способ А.Н. Дейча был испытан на практике на Каспийском море и в Арктике в 1943–1944 гг., причем получаемая ошибка положения корабля не превысила ± 3 км, что в то время давало удовлетворительную точность. Соответствующая статья была опубликована Александром Николаевичем в 1945 г. в журнале "Записки по гидрографии".

Еще в 1936 году А.Н. Дейч возглавил группу фотографической астрометрии при астрофизическом отделе, а с 1945 года, когда был организован отдел фотографической астрометрии и звездной астрономии, стал его бессменным руководителем до 1972 года.

После войны Александр Николаевич принимал деятельное участие в восстановлении Пулковской обсерватории. Под его руководством уже в 1948 году был восстановлен нормальный астрограф, а затем астрономическая двойная камера (АКД) в Пулкове и зонный астрограф в Николаеве. А.Н. Дейч руководил также установкой 26" рефрактора, полученного Пулковской обсерваторией взамен уничтоженного во время войны рефрактора с диаметром объектива 30 дюймов. В начале 50-х годов Александр Николаевич занялся труднейшей работой, связанной с поисками невидимых планетоподобных спутников у ближайших к нам звезд. Используя уникальный по длительности ряд фотографических наблюдений ее в Пулкове, включающий довоенные и послевоенные снимки нормального астрографа, а затем, присоединив к ним наблюдения на 26 рефракторе с 1958 по 1978 гг., А.Н. Дейч в результате тщательного исследования обна-

ружил периодические флуктуации в орбитальном движении звезды 61 Лебеда. В связи с этим он сделал предположение о наличии у этой звезды спутников с периодами обращения 6 и 12 лет. Значение нижнего предела массы для первого предполагаемого спутника составило 4 массы Юпитера [2]. Также он одним из первых указал на существование невидимых спутников с массой порядка 0.01 массы Солнца, т.е. объектов, называемых теперь "субзвездами" или "коричневыми карликами".

Систематические колебания в орбитальном движении этой двойной звезды впоследствии были подтверждены в 2006 году Д.Л. Горшановым в его кандидатской диссертации на новом наблюдательном материале в Пулкове, полученном на 26" рефракторе в последние десятилетия. В настоящее время 61 Лебеда является одним из самых перспективных объектов для наблюдений из космоса.

Идея поисков планетоподобных спутников у звезд послужила основой для создания уникальной программы, в результате выполнения которой на основе точных регулярных продолжительных (более 40 лет) фотографических наблюдений двойных звезд в Пулкове получены их точные положения. На их основе составлены два пулковских каталога, содержащие относительные положения около 400 двойных звезд (см. Киселев и др., настоящий сборник). Для этих звезд определены орбиты (для более чем 50 систем), проведены оценки масс, в ряде случаев обнаружена скрытая масса, а также выявлены и подтверждены темные спутники звездной и субзвездной массы. В настоящее время наблюдения в Пулкове на 26" рефракторе продолжают на ПЗС-камере FLI Pro Line 09000 с размером поля 12 кв. мин.

В конце 50-х годов, после запуска первого искусственного спутника Земли, А.Н. Дейч разработал метод определения координат ИСЗ. Еще в начале 70-х годов А.Н. Дейч сумел поставить работы по изучению квазаров методами фотографической астрономии, причем его работа "Ядра галактик", опубликованная еще в 1966 году, дала возможность сделать дополнительные выводы относительно физической природы этих объектов.

Крупным вкладом в создание инерциальной системы координат стала воплощенная Александром Николаевичем в жизнь, выдвинутая в начале 30-х годов, идея Б.П. Герасимовича и Н.И. Днепровского об определении абсолютных собственных движений звезд относительно галактик. В 1952 году на 8-й Генеральной Ассамблее МАС в Риме А.Н. Дейч выступил с докладом относительно необходимости проведения наблюдений внегалактических туманностей с целью определения абсолютных собственных движений звезд фотографическим способом [3]. Им было предложено использовать телескопы типа нормального астрографа в обоих полушариях Земли для фотографирования избранных площадок с галактиками. В течение многих лет он был руководителем этой международной работы, выполняемой на четырех советских и семи зарубежных обсерваториях. В соответствии с планом А.Н. Дейча были созданы каталоги Голосеев, в Москве, в Ташкенте, в Пулкове и в Шанхае. На основе этих каталогов в Киеве была выполнена работа по объединению и исследованию сводного каталога GPM, а в Пулкове составлен пулковский каталог PUL2 (Бобылев, Бронникова, Шахт, 2004), содержащий 59 766 абсолютных собственных движений в 149 площадках неба.

По инициативе А.Н. Дейча на Ленинградском оптико-механическом объединении был изготовлен менисковый телескоп системы Д.Д. Максудова, который был установлен для наблюдений в Чили. На этом инструменте были получены первые эпохи 150 площадок с галактиками для южного неба. К сожалению, после переворота в Чили в 1973 г., в результате которого пришел к власти Пиночет, эту работу пришлось прервать.

А.Н. Дейч еще до войны он стал членом международного астрономического Союза, а после войны в течение двух сроков был президентом 24-й комиссии МАС (фото-

графическая астрометрия). Александр Николаевич щедро передавал молодежи свои знания и опыт в проведении научных исследований. 22 его аспиранта успешно защитили кандидатские диссертации. Кроме того, в разные годы в Пулкове под его руководством работало большое количество практикантов. С 1936 по 1981 гг. А.Н. Дейч преподавал в Ленинградском университете курсы "Фотографическая астрометрия", "Двойные звезды" и "Приближенные вычисления". Широко известны написанные им главы "Фотографическая астрометрия" и "Двойные звезды" в пулковском "Курсе астрофизики и звездной астрономии". Всего им опубликовано более 100 работ.

Много времени уделял Александр Николаевич общественной деятельности. Его всегда волновали все проблемы, связанные с работой и жизнью Пулкова. Он был депутатом Московского районного Совета депутатов трудящихся, несколько раз избирался в местный комитет профсоюза, был представителем Пулковского общества охраны природы. За свой самоотверженный труд на благо науки Александр Николаевич был награжден орденом Ленина, орденом Трудового Красного Знамени, двумя орденами "Знак Почета" и многими медалями.

Александр Николаевич был в высшей степени культурным, образованным человеком. Он владел рядом иностранных языков, прекрасно знал художественную литературу, поэзию, любил музыку и сам играл на рояле.

Как ветеран Пулковской обсерватории, А.Н. Дейч не раз выступал перед молодыми сотрудниками со своими воспоминаниями о научной работе и о жизни старого Пулкова, о своем учителе С.К. Костинском и о своих товарищах Н.А. Козыреве, В.Ф. Газе и других.

Многие из нас знали его двоюродного брата Аристида Ивановича Доватура (1897-1982), который был крупнейшим ученым-филологом, антиковедом, специалистом по изучению Геродота, Аристотеля, античных городов Северного Причерноморья. Разделив судьбу многих своих современников, А.И. Доватур также пострадал от репрессий. Александр Николаевич всегда старался помочь Аристиду Ивановичу и дружбу с ним пронес через всю свою жизнь. О жизни в городе их детства – Рени, в доме деда по материнской линии, А.Н. Дейч рассказал в своих автобиографических заметках.

"Теперь Рени перенесен на небо, – пишет Александр Николаевич. – В 1968 году была открыта новая малая планета в Крымской астрофизической обсерватории астрономом Л.И. Черных, которая по моей просьбе дала ей имя Рени – Rēni – под № 1792. Я получил почетное свидетельство в 1972 году. Этот почет одинаковым образом относится и к Аристиду – крупнейшему знатоку классической филологии в нашей стране. При других обстоятельствах он был бы, по крайней мере, членом-корреспондентом Академии наук".

Земляки Аристида Ивановича и Александра Николаевича по достоинству оценили их жизнь и научную деятельность и до конца их жизни поддерживали с ними связь. В местной школе и в краеведческом музее г. Рени была организована выставка, посвященная А.Н. Дейчу и А.И. Доватуре. Школьники из города Рени неоднократно приезжали в Пулково и встречались с А.Н. Дейчем.

Лично мне (Н.А. Шахт) посчастливилось слушать лекции Александра Николаевича в Ленинградском университете, выполнить под его руководством дипломную работу, посвященную звезде 61 Лебеда, работать в возглавляемом им отделе.

Мне также посчастливилось в далеком 1959 году, в колхозе на уборке турнепса, познакомиться и подружиться с Мариной Александровной Дейч (впоследствии Петровой). Я благодарю дочерей Александра Николаевича – Марину Александровну и Ольгу Александровну за предоставленные из их семейного архива материалы и за помощь в работе над настоящей статьей.

Широта научной мысли, чувство долга и ответственности, доброта, отзывчивость и скромность – все эти качества Александра Николаевича навсегда останутся примером для его учеников.

Литература

1. *А.Н. Дейч.* Определение собственных движений 18 000 звезд в площадках Каптейна // Труды ГАО, 1936, т.4, с.1-80.
2. *А.Н. Дейч.* Новые данные о невидимых спутниках 61 Лебеда // Письма в АЖ, 1978, т.4 с.95-98.
3. *А.Н. Дейч.* Применение внегалактических туманностей для установления абсолютной системы собственных движений звезд // Доклад на VIII Генеральной асс. МАС, М. 1952.

**Резолюция
Всероссийской астрометрической конференции
«ПУЛКОВО-2009»**

Конференция состоялась с 15 по 19 июня 2009 г. в Санкт-Петербурге, в Главной (Пулковской) астрономической обсерватории Российской Академии наук. Проведение конференции было приурочено к Международному году астрономии и 170-летию открытия Пулковской обсерватории. В работе конференции приняли участие около 110 специалистов в области астрометрии, эфемеридной астрономии, небесной механики, звездной астрономии, геодинамики, астрономического приборостроения и истории астрономии из России, Украины, Германии, Франции, Таджикистана, Сербии, Дании, Мексики. На конференции были представлены около 140 докладов по актуальным вопросам тематики конференции. Во время работы конференции также состоялось открытие восстановленного Западного меридианного зала с установленными в нем отреставрированными инструментами Струве-Эртеля: пассажным инструментом и вертикальным кругом, использовавшимися в Пулковской обсерватории со дня ее основания.

Конференция:

1. Отмечает, что, несмотря на тяжелые условия для развития науки, многие астрономические обсерватории и институты продолжают активную исследовательскую деятельность. Особенно ценным является продолжение и расширение наблюдательных программ в части наблюдений тел Солнечной системы и наземной поддержки космических астрометрических миссий.
2. Отмечает большой вклад ГАО РАН в накопление длительных рядов высокоточных наблюдений звезд и тел Солнечной системы, в развитие и автоматизацию инструментов для астрометрических наблюдений и методики наблюдений, разработку программного обеспечения для наблюдений и их обработки.
3. Отмечает, что по ряду научных направлений работа ведется в активной международной кооперации, что обеспечивает получение результатов на современном научном уровне. Однако во многих областях степень интеграции отечественных астрометристов в мировую науку остается недостаточной, в частности, из-за отсутствия достаточного финансирования участия российских ученых в международных научных проектах и мероприятиях.
4. Выражает озабоченность тем, что, несмотря на междисциплинарный характер современной астрометрии и ее фундаментальное значение для многих работ в области астрономии, физики и наук о Земле, она не входит в число основных направлений развития астрономии РАН и Минобрнауки России и, соответственно, финансируется по остаточному принципу.

Конференция рекомендует:

1. Продолжать и расширять программы наблюдений тел Солнечной системы: планет, спутников, астероидов, комет.
2. Просить руководство РАН и МГУ об обеспечении финансирования работ по развитию и вводу в строй Кавказских наблюдательных баз ГАО РАН, ИНАСАН и ГАИШ МГУ близ г. Кисловодска.

3. Продолжить работу по модернизации и автоматизации астрометрических инструментов, включая их оснащение современными широкоформатными и высокочувствительными ПЗС-приемниками.
4. Активизировать работу по организации в России РСДБ-станций стандарта VLBI-2010 и поддержать инициативу Госстандарта и деятельность рабочей группы по РСДБ на основе малых антенн в этом направлении.
5. Разработать программу оснащения отечественной астрометрии современными телескопами диаметром 1–3 метра, включая предложения по их оптимальному размещению, совместно с научной программой наблюдений на этих телескопах.
6. Руководителям астрономических организаций и научных коллективов активизировать инновационную деятельность в части внедрения астрометрических технологий и результатов в различные прикладные программы: координатно-временное и навигационное обеспечение, астероидно-кометная опасность, космический мусор, сейсмическая опасность и др.
7. Ускорить создание отечественных центров астрономических данных, интегрированных в работу международных центров.
8. Организовать специальное обсуждение вопросов подготовки научных кадров в области астрометрии.
9. Активизировать работу по созданию электронных каталогов библиотек астрономических институтов и объединенного электронного каталога отечественных астрономических библиотечных ресурсов.
10. Подготовить совместное обращение руководителей астрономических учреждений в Минобрнауки России о восстановлении обязательного преподавания астрономии как отдельного предмета в средней школе.
11. Добиваться принятия региональных решений и федерального закона о статусе астрономических обсерваторий, включая установление охранных зон по ограничению строительства и электромагнитного излучения в оптическом и радио диапазонах, используемых для астрономических наблюдений.

Пулково, 19 июня 2009 г.

СПИСОК АВТОРОВ

- Алешкина Е.Ю.* 11, 17, 85
Ананьевская Ю.К. 21
Аслан З. 73
Ассиновская Б.А. 27, 33
Ахметов В.С. 39, 341
Ашимбаева Н.Т. 99
Бережной А.А. 45, 351, 355
Бехтева А.С. 85
Богданов В.И. 51, 391
Буромский Н.И. 147
Валеев С.Г. 57
Wanderka D. 397
Вараксина Н.Ю. 57, 319, 419
Васильева Т.А. 381
Верещагина И.А. 17, 61, 85
Галаганов О.Н. 27
Галеев А.И. 419
Гинзбург Э.С. 267
Гнедин Ю.Н. 111
Горшанов Д.Л. 61, 85
Горшков В.Л. 27, 67
Грошева Е.А. 135, 375
Гумеров Р.И. 73
Гусев А.В. 255, 262
Гусева Т.В. 27
Datljapović G. 79, 279
Девяткин А.В. 17, 61, 85, 91, 403
Дементьева А.А. 293, 351
Дубяго И.А. 419
Епишев В.П. 93
Жаров В.Е. 99
Захожай В.А. 105, 111, 119
Захожай О.В. 119
Измайлов И.С. 135, 355, 381
Илясов Ю.П. 125
Исак И.И. 93
Кавано Н. 255, 262
Казакевич Е.Э. 245
Кайзер Г.Т. 131
Калиниченко О.А. 381
Канаев И.И. 267
Карашевич С.В. 61, 85
Кикучи Ф. 262
Киселев А.А. 135, 375
Киселева Т.П. 381
Кистерский А.П. 173
Кияева О.В. 135, 141
Клецонок В.В. 147
Ковалев Ю.Ю. 285
Колотилин Р.А. 51
Короткова Н.Ю. 155
Крюндаль А.В. 445
Кудак В.И. 93
Кузин С.П. 161
Кузнецов Э.Д. 167
Куимов К.В. 99
Куприянов В.В. 17, 85
Кутленков М.В. 173
Лапаева В.В. 173
Левитская Т.И. 409
Львов В.Н. 91, 179, 211, 369
Мажсаев А.Э. 185
Майгурова Н.В. 293
Макаренко Н.Г. 235
Малкин З.М. 33, 189, 195, 199, 205, 211, 235, 329
Малков О.Ю. 217
Малова Т.И. 51, 391
Мацо А.М. 93
Медведев М.Ю. 391
Миллер Н.О. 223, 229
Мильков Д.А. 235
Московченко Н.Я. 415
Мотрунич И.И. 93
Найден Я.В. 61, 85
Нарижная Н.В. 293, 299, 309, 315, 351
Нароенков С.А. 240
Немтинов А.В. 73
Нефедьев Ю.А. 57, 173, 319, 419
Никифоров И.И. 245
Новак Э.И. 93
Овсов М.К. 27
Пасынок С.Л. 251
Патютко Н.Д. 267
Петрова Н.К. 255, 262
Пинигин Г.И. 73, 293, 397, 427, 451
Положенцев А.Д. 433
Положенцева Л.Д. 433
Поляков Е.В. 21, 267

Попова Е.А. 273
Protitch-Benishek V. 279
Процюк Ю.И. 185, 293
Прудникова Е.Я. 229
Пуляев С.П. 437
Пушкарев А.Б. 285
Пиширков М.С. 125
Ризванов Н.Г. 419
Розенберг Н.К. 27
Романенко Л.Г. 135, 289, 375
Рыльков В.П. 293, 299, 309, 315
Сажин М.В. 99
Сажина О.С. 99
Сасюк В.В. 319
Семенцов В.Н. 99
Слесаренко В.Ю. 17, 85
Смирнов Б.Н. 441
Смирнов Е.А. 369
Соков Е.Н. 61, 85
Стрелецкий Ю.С. 267, 441
Татевян С.К. 161
Тимошкова Е.И. 323
Тиссен В.М. 329
Толбин С.В. 403, 427, 445
Толстиков А.С. 329
Толчельникова С.А. 335
Trajkovska V. 279
Федоров П.Н. 39, 341
Фролов В.Н. 21
Ханада Х. 255, 262
Харин А.С. 347
Héral S.F. 451
Ховричев М.Ю. 351, 355
Хруцкая Е.В. 351, 355, 457
Цветков М.К. 21
Цекмейстер С.Д. 91, 179, 211, 369
Чубей М.С. 335, 361, 369
Чуркин К.О. 319
Шахт Н.А. 111, 135, 375, 467
Шумахер В.А. 267
Щербакова Н.В. 27, 33
Ягудин Л.И. 369



Всероссийская астрометрическая конференция «Пулково – 2009».

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ
ГЛАВНОЙ
АСТРОНОМИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ
В ПУЛКОВЕ

№ 219

Выпуск 4

Труды Всероссийской астрометрической конференции
«ПУЛКОВО – 2009»