

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

### ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

**Б. ПАТОН**                      Національна академія наук  
України, Київ

### ЗАСТУПНИКИ ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

**О. ФЕДОРОВ**                      Національне космічне агентство  
України, Київ  
Інститут космічних досліджень  
НАНУ-НКАУ, Київ

**Я. ЯЦКІВ**                              Головна астрономічна обсерваторія  
НАН України, Київ

### ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

**В. КИСЛЮК**                              Головна астрономічна обсерваторія  
НАНУ, Київ

### ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ

**В. ГОРБУЛІН**                              Інститут проблем національної  
безпеки України, Київ

**М. ЗГУРОВСЬКИЙ**                      Національний технічний університет  
України «Київський політехнічний  
інститут», Київ

**О. ІВАСИШИН**                              Інститут металофізики НАНУ,  
Київ

**В. ІВЧЕНКО**                              Київський національний університет  
імені Тараса Шевченка, Київ

**С. КОНЮХОВ**                              Державне конструкторське бюро  
«Південне», Дніпропетровськ

**Є. КОРДЮМ**                              Інститут ботаніки НАНУ, Київ

**В. КОРЕПАНОВ**                              Львівський центр Інституту  
космічних досліджень  
НАНУ-НКАУ, Львів

**В. КУНЦЕВИЧ**                              Інститут космічних досліджень  
НАНУ-НКАУ, Київ

**Л. ЛИТВИНЕНКО**                              Радіоастрономічний інститут  
НАНУ, Харків

**Л. ЛОБАНОВ**                              Інститут електрозварювання  
НАНУ, Київ

**В. ЛЯЛЬКО**                              Центр аерокосмічних досліджень  
Землі Інституту геологічних наук  
НАНУ, Київ

**О. МАКАРОВ**                              Державне конструкторське бюро  
«Південне», Дніпропетровськ

**В. НОВИЦЬКИЙ**                              Міністерство промислової політики  
України, Київ

**О. ПИЛИПЕНКО**                              Інститут технічної механіки  
НАНУ, Дніпропетровськ

**В. СТАРОСТЕНКО**                              Інститут геофізики НАНУ, Київ

**М. СТЕШЕНКО**                              Кримська астрофізична обсерваторія,  
с. Наукове, Крим

**Ю. ШЕМШУЧЕНКО**                              Інститут держави і права НАНУ,  
Київ

**Ю. ШКУРАТОВ**                              Інститут астрономії Харківського  
національного університету, Харків

### ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР РЕДАКЦІЇ

*О. Клименко*

### АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

01030, Київ-30, вул. Володимирська, 54,  
тел./факс (044) 526-47-63  
ел. пошта [reda@mao.kiev.ua](mailto:reda@mao.kiev.ua)

### EDITOR-IN-CHIEF

**B. PATON**                              National Academy of Sciences  
of Ukraine, Kyiv

### ASSOCIATE EDITORS

**O. FEDOROV**                              National Space Agency of Ukraine,  
Kyiv  
Institute of Space Research, N. A. S.  
Ukr. and National Space Agency of  
Ukraine, Kyiv

**Ya. YATSKIV**                              Main Astronomical Observatory,  
N. A. S. Ukr., Kyiv

### EXECUTIVE SECRETARY

**V. KYSLYUK**                              Main Astronomical Observatory,  
N. A. S. Ukr., Kyiv

### EDITORIAL BOARD

**V. GORBULIN**                              Institute of National Security  
Problems of Ukraine, Kyiv

**M. ZGUROVSKYI**                              National Technical University of  
Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»,  
Kyiv

**O. IVASYSHYN**                              Institute for Metal Physics, N. A. S.  
Ukr., Kyiv

**V. IVCHENKO**                              Taras Shevchenko National Kyiv  
University, Kyiv

**S. KONYUKHOV**                              Design Office «Pivdenne»,  
Dnipropetrovsk

**Ye. KORDYUM**                              Institute of Botany, N. A. S. Ukr.,  
Kyiv

**V. KOREPANOV**                              Institute of Space Research, Lviv  
Branch, N. A. S. Ukr. and National  
Space Agency of Ukraine, Lviv

**V. KUNTSEVYCH**                              Institute of Space Research, N. A. S.  
Ukr. and National Space Agency,  
Kyiv

**L. LYTVYNENKO**                              Radioastronomical Institute, N. A. S.  
Ukr., Kharkiv

**L. LOBANOV**                              Institute of Electric Welding, N. A. S.  
Ukr., Kyiv

**V. LYALKO**                              Centre of Aerospace Research of the  
Earth, Institute of Geological  
Sciences, N. A. S. Ukr. Kyiv

**O. MAKAROV**                              Design Office «Pivdenne»,  
Dnipropetrovsk

**V. NOVYTSKYI**                              Ministry of Industrial Policy of  
Ukraine, Kyiv

**O. PYLYPENKO**                              Institute of Technical Mechanics,  
N. A. S. Ukr., Dnipropetrovsk

**V. STAROSTENKO**                              Institute of Geophysics, N. A. S.  
Ukr., Kyiv

**M. STESHENKO**                              Crimean Astrophysical Observatory,  
Naukove, Crimea

**Yu. SHEMSHUCHENKO**                              Institute of State and Law N. A. S.  
Ukr., Kyiv

**Yu. SHKURATOV**                              Institute of Astronomy of Kharkiv  
National University, Kharkiv

**EXECUTIVE EDITOR**  
*O. Klymenko*

### EDITORIAL OFFICE

54, Volodymyrska str., Kyiv-30, 01030, Ukraine,  
tel./fax 380-44-526-47-63

e-mail [reda@mao.kiev.ua](mailto:reda@mao.kiev.ua)

# КОСМІЧНА НАУКА І ТЕХНОЛОГІЯ

Том 16  
5 + 2010

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ + ЗАСНОВАНО В ЛЮТОМУ 1995 р. + ВИХОДИТЬ 6 РАЗІВ ЗА РІК + КИЇВ



## ЗМІСТ

*Агапітов О. В., Грицай А. В., Салюк Д. А.* Великомасштабні хвилі Россії в антарктичній стратосфері

*Дудник А. В.* Исследование радиационных поясов Земли в мае 2009 года на низкоорбитальном спутнике с помощью прибора СТЭП-Ф

*Кришталь А. Н., Герасименко С. В., Войцеховская А. Д.* О природе всплесков микроволнового излучения в петельных структурах активной области

*Гринченко С. В.* Построение профиля электронной концентрации по его геометрическим параметрам при моделировании области F2 и внешней части ионосферы

*Стоділка М. І.* Прогноз середньодобових геомагнітних збурень

*Шатихин В. Е., Семенов Л. П., Макаров А. Л., Хорошилов В. С., Попель В. М., Игнатович С. Р.* Анализ надежности привода солнечной батареи космического аппарата с длительным сроком жизни

*Дронь Н. М., Дубовик Л. Г., Кондратьев А. И., Хитко А. В., Хорольский П. Г.* Оценка характеристик космических мусоросборщиков с ЭРД при двух вариантах маневров их выведения на орбиту

## CONTENTS

5 *Agapitov O. V., Grytsai A. V., Salyuk D. A.* Large-scale Rossby waves in the Antarctic stratosphere

12 *Dudnik O. V.* Investigation of the Earth's radiation belts in May 2009 at the low orbit satellite with the STEP-F instrument

29 *Kryshstal A. N., Gerasimenko S. V., Voitsekhovska A. D.* On the nature of the microwave spike emission in loop structures of an active region

38 *Grinchenko S. V.* Construction of electron density profile from its geometrical parameters in simulating the F2-region and outer ionosphere

46 *Stodilka M. I.* Forecast of the daily geomagnetic perturbations

54 *Shatikhin V. E., Semenov L. P., Makarov O. L., Khoroshilov V. S., Popel' V. M., Ignatovich S. R.* Reliability analyses of solar panel drive for long lifetime spacecrafts

59 *Dron N. M., Dubovik L. G., Kondratyev A. I., Khitko A. V., Horolsky P. G.* Characteristics of space debris-gatherers with electric propulsion at two variants of maneuvers for their putting into demanded orbit

- Вавилова И. Б., Пакуляк Л. К., Процюк Ю. И.* Українська віртуальна обсерваторія (УкрВО). Цель, структура и задачи 62 *Vavilova I. B., Pakuliak L. K., Protsyuk Yu. I.* Ukrainian Virtual Observatory (UKRVO). The goals, structure, and tasks
- Козырев Е. С., Сибирякова Е. С., Шульга А. В.* Исследование точности астрометрической редукции при использовании комбинированного метода наблюдений небесных объектов 71 *Kozyryev Y. S., Sybiryakova Y. S., Shulga O. V.* Estimation of astrometric reduction accuracy for the combined method of celestial object observations
- Чеснок Н. Г.* Загальні властивості вибірки ізольованих галактик, що містять активні ядра 77 *Chesnok N. G.* General properties of a sample of isolated galaxies containing active nucleus
- ДІЯЧІ КОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ
- До 70-річчя від дня народження академіка НАН України Я. С. Яцківа 89 70th birthday of Academician Ya. S. Yatskiv
- НАШІ АВТОРИ 91 OUR AUTHORS

Свідоцтво про реєстрацію КВ № 1232 від 2 лютого 1995 р.

Підписано до друку 01.11.10. Формат 84×108/16. Папір крейдований. Гарн. Ньютон. Друк офсет. Ум. друк. арк. 9,66. Обл.-вид. арк. 10,14. Тираж 150 прим. Зам. № 2840.

Оригінал-макет виготовлено та тираж видруковано Видавничим домом «Академперіодика» НАН України, 01004, Київ, вул. Терещенківська, 4

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001 р.

УДК 521.95, 523.44, 521.61

Е. С. Козырев, Е. С. Сибирякова, А. В. Шульга

Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія», Миколаїв

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ АСТРОМЕТРИЧЕСКОЙ РЕДУКЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА НАБЛЮДЕНИЙ НЕБЕСНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Описано комбінований метод спостережень небесних об'єктів та модифікована модель редукації спостережень (ММРС). Наведено методи, використані для оцінки точності координат, отриманих за допомогою ММРС. Представлено оцінку точності спостережень АЗЗ, що наближувалися до Землі на відстані 0.009–0.045 а.е.*

### ВВЕДЕНИЕ

Комбинированный метод наблюдений (КМН) был разработан в НИИ «Николаевская астрономическая обсерватория» (НИИ НАО) [2] для наблюдений объектов с эфемеридной скоростью более  $10''/\text{мин}$ . К ним относятся космические объекты (КО) искусственного происхождения и астероиды, сближающиеся с Землей (АСЗ), включая потенциально опасные для Земли (ПОА) [2]. Для объектов искусственного происхождения эфемеридные скорости составляют от  $4''/\text{с}$  на геосинхронных орбитах (36000 км) до  $2''/\text{с}$  на низких орбитах ( $<2500$  км), для АСЗ эфемеридные скорости составляют до  $10''/\text{с}$ . Суть КМН состоит в том, что изображения наблюдаемого объекта и опорных звезд формируются отдельно, в разных режимах работы ПЗС-камеры или с разным временем экспозиции. Использование изображений опорных звезд и объекта, полученных в разные моменты времени, делает невозможным применение классических моделей определения редуцированных постоянных [1], что потребовало разработки в НИИ НАО модифицированной модели редукации наблюдений (ММРН) ПЗС-изображений.

В работе представлена модифицированная модель редукации наблюдений ПЗС изображений, приведена оценка точности наблюдений.

Также была вычислена систематическая поправка для наблюдений КО, где изображения опорных звезд и объекта были получены в разных режимах работы ПЗС-камеры.

### ИНСТРУМЕНТ И МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

В НИИ НАО наблюдения объектов с высокой эфемеридной скоростью проводятся на скоростном автоматическом комплексе [2]. Телескоп с параллактической монтировкой оснащен объективом системы Максутова ( $D = 30$  см,  $F = 1.5$  м) и ПЗС-камерой «Alta U9000» ( $3056 \times 3056$  пкл,  $12 \times 12$  мкм). Поле зрения телескопа  $83.2 \times 83.2'$ , масштаб без бинирования —  $1.63''/\text{пкл}$ , с двойным бинированием —  $3.27''/\text{пкл}$ . ПЗС-камера поддерживает два режима работы — режим накопления заряда и режим синхронного переноса заряда (РСПЗ) (time delay integration). В классическом применении РСПЗ экспозиция не изменяется, т. е. объект должен пройти через все поле зрения телескопа. Часто такая экспозиция не требуется, поэтому в НИИ НАО была разработана методика использования РСПЗ с изменяемой экспозицией — режим укороченного переноса заряда. Режим укороченного переноса заряда [4] заключается в том, что во время накопления изображения камера работает в РСПЗ, и после завершения экспозиции происходит считывание сигнала с ПЗС-матрицы с максимальной скоростью. Телескоп оснащен поворотной платформой [3, 4] — устройством, поворачивающим



ПЗС-камеру вокруг оси объектива. Поворотная платформа, поворачивая ПЗС-камеру, располагает столбцы ПЗС-матрицы вдоль направления движения наблюдаемого объекта. Использование поворотной платформы позволяет применять режим синхронного переноса заряда для наблюдений объектов с любым направлением движения. Привязка по времени осуществляется по синхрометру службы времени с точностью  $10^{-4}$  с. Наблюдения проводятся в автоматическом режиме.

При наблюдениях для получения изображений АСЗ используется режим укороченного переноса заряда [4]. Эффективная экспозиция рассчитывается автоматически с учетом эфемеридной скорости, углового размера поля и времени считывания кадров. Так как угол поворота ПЗС-матрицы близок к направлению суточного движения звезд, то для получения изображений опорных звезд тоже применяется режим укороченного переноса заряда, но с меньшей экспозицией. Для изображений опорных звезд экспозиция составляет 10–15 с.

При наблюдениях КО для получения изображений опорных звезд применяется режим накопления с экспозицией 0.5 с, для получения изображений КО применяется режим укороченного переноса заряда, экспозиция рассчитывается так же, как и для АСЗ.

Угол поворота ПЗС-камеры относительно небесного экватора при наблюдениях АСЗ и КО рассчитывается по формуле

$$\beta = \arctg(v_{\delta}/v_{\tau}), \quad (1)$$

где  $\beta$  — угол поворота,  $v_{\tau}$  — видимая угловая скорость по прямому восхождению,  $v_{\delta}$  — видимая угловая скорость по склонению.

При использовании КМН выполняются следующие процедуры.

1. Наведение телескопа по предварительно рассчитанным эфемеридам.
2. Поворот ПЗС-камеры по направлению движения объекта с использованием поворотной платформы.
3. Запись изображения с опорными звездами.
4. Запись одного или нескольких изображений наблюдаемого объекта.
5. Запись изображения с опорными звездами.

Во время наблюдения телескоп остается неподвижным. Наблюдения КО проводятся с двойным бинированием для повышения проникающей способности. Запись изображений АСЗ производится без бинирования для получения высокой точности.

## МОДИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ РЕДУКЦИИ НАБЛЮДЕНИЙ

Обработка данных, полученных с использованием КМН, включает четыре этапа:

- 1) первичная обработка изображений (фильтрация);
- 2) вычисление прямоугольных координат объектов в системе ПЗС-матрицы, отождествление опорных звезд и расчет редуцированных постоянных;
- 3) пересчет редуцированных постоянных и экваториальных координат центра изображения на время наблюдения объекта;
- 4) вычисление экваториальных координат наблюдаемого объекта с учетом систематических поправок.

Первичная обработка изображений заключается в постолбцовом и построчном выравнивании фона изображения.

Прямоугольные координаты опорных звезд в системе ПЗС-матрицы определяются с использованием аппроксимации симметричным распределением Гаусса. Задача перехода от прямоугольных координат в системе матрицы к экваториальным решается путем введения идеальных координат  $\xi$ ,  $\eta$ . Переход от прямоугольных координат в системе матрицы к идеальным осуществляется с помощью кубической модели редукиции. Опорные звезды отождествляются в системе каталога UCAC2.

Для выбора модели редукиции наблюдений, выполненных с применением КМН, проведены исследования влияния модели редукиции на значение  $O - C$  для опорных звезд. На телескопе САК были проведены наблюдения 10 кадров в режиме накопления заряда с экспозицией 0.5 с. Далее с применением линейной, квадратичной и кубической моделей редукиции были получены экваториальные координаты звезд и разности  $O - C$  с каталогом UCAC2. Используя результаты вычислений, по каждому кадру построены трех-

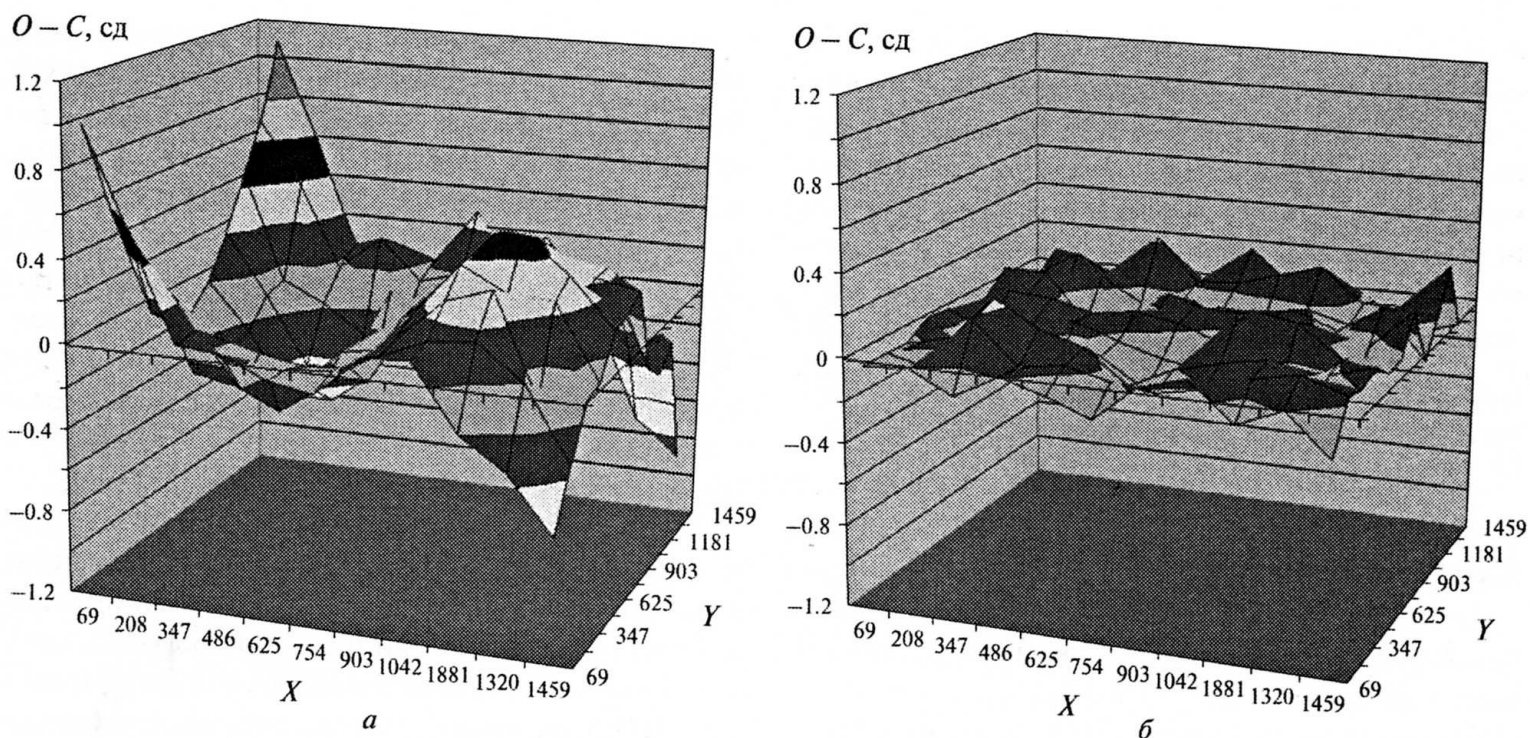


Рис. 1. Распределение  $O - C$  по полю ПЗС-матрицы: *а* — для линейной модели редукции, *б* — для кубической модели редукции. Соседние градации серого соответствуют различию на 0.2 сд (секунд дуги)

мерные распределения  $O - C$  по прямоугольным координатам. Для линейной и квадратичной моделей редукции была выявлена неравномерность распределений  $O - C$  по прямому восхождению и склонению (рис. 1, *а*). Кубическая модель редукции позволила получать равномерное распределение  $O - C$  по полю ПЗС-матрицы (рис. 1, *б*).

Неравномерное распределение  $O - C$  вызвано несовершенством оптической системы. Как видно из рис. 1, *а*, изображение искажено дисторсией и кривизной поля. Использование кубической модели редукции наблюдений позволяет убрать влияние искажений оптической системы.

Использование кубической модели редукции также позволило улучшить среднее квадратичное отклонение (СКО) положений опорных звезд. Для различных моделей редукции СКО положений приведены в табл. 1. Использование кубической модели редукции позволяет улучшить точность определения положений звезд в 1.4 раза.

Учитывая то, что при использовании КМН изображения опорных звезд и наблюдаемого объекта получают в разные моменты времени,

необходимо найти редукционные постоянные кадра с изображением объекта. Первым этапом является вычисление редукционных постоянных кадров опорных звезд, записанных до и после кадра с изображением объекта. Для этого составляется система кубических уравнений, которая решается методом наименьших квадратов. Для вычисления редукционных постоянных кадра с изображением объекта проводится линейная интерполяция редукционных постоянных и экваториальных координат центров ПЗС-кадров с изображением опорных звезд на момент времени наблюдения объекта. Далее, используя редукционные постоянные кадра с

Таблица 1. Значение средних квадратичных отклонений положений опорных звезд для разных моделей редукции

Модель редукции	СКО <sub>α</sub>	СКО <sub>δ</sub>
<i>Наблюдения без бинирования</i>		
Линейная, квадратичная	0.33"	0.32"
Кубическая	0.24"	0.22"
<i>Наблюдения с двойным бинированием</i>		
Линейная, квадратичная	0.39"	0.37"
Кубическая	0.29"	0.27"

объектом и прямоугольные координаты объекта, определяются экваториальные координаты наблюдаемого объекта. Выбор линейной интерполяции обусловлен тем, что при применении квадратичной коэффициенты второй степени несущественны, и в конечном итоге квадратичная интерполяция не повышает точность вычислений.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ РЕДУКЦИИ НАБЛЮДЕНИЙ

Оценка точности ММРН при использовании КМН проводилась тремя способами:

1) проведение тестовых наблюдений звезд в разных режимах работы ПЗС-камеры и с разным временем экспозиции;

2) сравнение экваториальных координат АСЗ с эфемеридой, рассчитанной программой Horizons [<http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>] на моменты времени наблюдений;

3) сравнение координат навигационных ИСЗ, оснащенных уголковыми отражателями, с эфемеридой ILRS.

**Проведение тестовых наблюдений звезд.** Тестовые наблюдения звезд с применением КМН проводились в положении поворотной платформы, соответствующей направлению суточного движения звезд, при этом последовательность режимов работы ПЗС-камеры и экспозиций имитировала этапы наблюдения АСЗ или КО.

Проведены тестовые наблюдения с использованием разных экспозиций как при наблюдениях АСЗ (режим укороченного переноса заряда («полоса») с экспозицией 15 с для опорных звезд и режим укороченного переноса заряда («полоса») с экспозицией, соответствующей наблюде-

нию АСЗ). Экваториальные координаты звезд на «полосах», имитирующих наблюдения АСЗ, были получены как классическим методом редукции, так и ММРН. Проведено сравнение координат, полученных двумя методами редукции. Сравнение не показало систематической разности по обеим координатам. Случайная ошибка одного наблюдения звезд 9–14<sup>m</sup> составляла  $\pm 0.3''$ , что соответствует случайной ошибке классической редукции опорных звезд с использованием программы «Astrometrica» [<http://www.astrometrica.at/>].

Также были проведены тестовые наблюдения с чередованием режимов работы ПЗС-камеры, как при наблюдениях КО (режим накопления («кадр») с экспозицией 0.5 с для опорных звезд и режим укороченного переноса заряда («полоса») с экспозицией, соответствующей наблюдению КО). Экваториальные координаты звезд на «полосах», имитирующих наблюдения КО, были получены как классическим методом редукции, так и ММРН. Сравнение показало наличие систематической разности по прямому восхождению, которая составила  $1.1'' \text{sec} \delta$ . По склонению систематической разности не обнаружено. Тестовые наблюдения проводились сериями по семь «кадров»/«полос» для склонений от  $-20^\circ$  до  $+60^\circ$  с шагом  $20^\circ$ , для часовых углов от  $-30^\circ$  до  $+60^\circ$  с шагом  $30^\circ$  и разного бинирования.

В случае применения одинаковых режимов работы ПЗС-камеры для записи изображений опорных звезд и объектов систематической ошибки не выявлено. Учитывая вышесказанное, можно предположить, что причиной систематической ошибки в прямом восхождении при наблюдениях в разных режимах работы ПЗС-камеры является различие в регистрации време-

Таблица 2. Сравнения координат АСЗ, полученных в НИИ НАО, с эфемеридой

Номер АСЗ	Скорость, "/мин		Звездная величина	Расстояние до Земли, а. е.	Количество кадров	Среднее $O - C$ , град		СКО $O - C$ , град	
	$\alpha$	$\delta$				$\alpha$	$\delta$		
2005RC34	6.5	21.1	14.4	0.037	179	-0.109	-0.117	0.416	0.315
2008TT26	28.8	-36.0	14.7	0.010	75	0.037	0.008	0.410	0.230
2008SV11	15.0	-19.4	12.8	0.045	22	-0.248	-0.183	0.267	0.152
2005YU55	-61.2	21.5	15.3	0.016	29	0.028	-0.095	0.229	0.259
2010JO33	68.3	4.6	15.9	0.009	29	0.102	-0.201	0.377	0.264



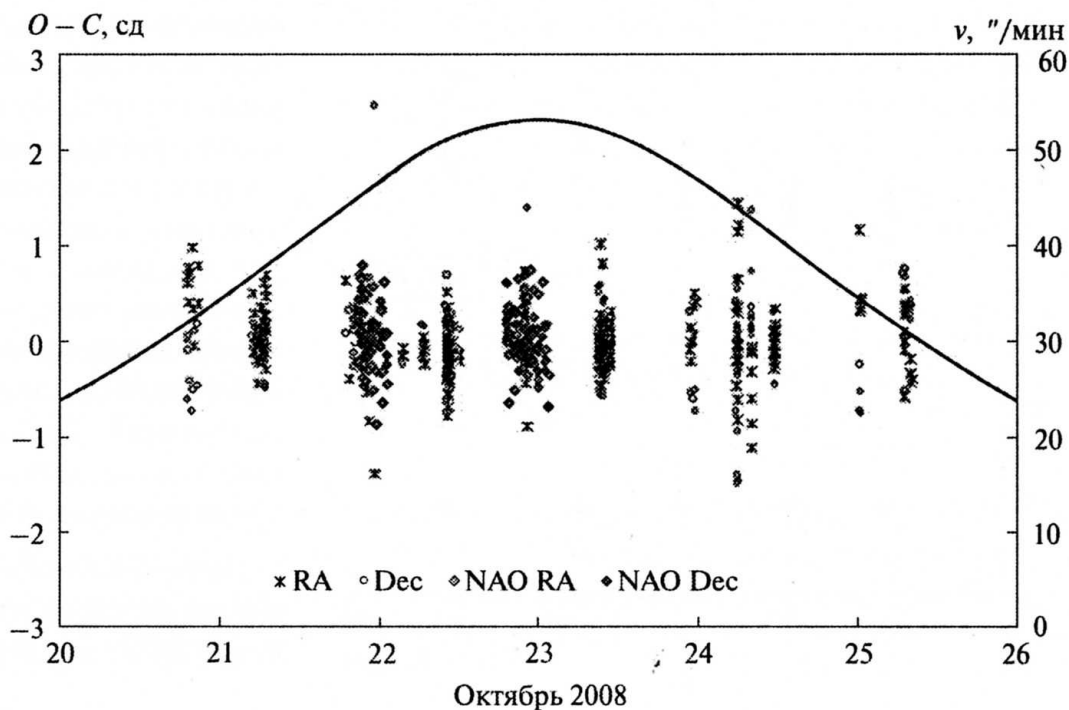


Рис. 2. Значения  $O - C$  для АСЗ 2008ТТ26 (октябрь 2008 г.)

ни изображения. Полученная систематическая ошибка учитывается на этапе вычисления экваториальных координат КО.

**Сравнение координат АСЗ.** В 2008—2010 гг. на телескопе САК проводились наблюдения АСЗ на расстояниях 0.009 — 0.045 а. е. от Земли. Для наблюдений АСЗ и опорных звезд применяется режим укороченного переноса заряда. На основе этих наблюдений было проведено сравнение экваториальных координат, полученных из наблюдений с применением КМН и ММРН, с эфемеридами, рассчитанными программой Horizons [http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi]. Результаты сравнения приведены в табл. 2.

Результаты, представленные в табл. 2, в систематическом и случайном отношении соответствуют точности наблюдений других обсерваторий, участвующих в программе астероидно-кометной опасности NEODys. Как пример, для АСЗ 2008ТТ26 на момент сближения с Землей с сайта NEODys [http://newton.dm.unipi.it/neodys/] были получены результаты наблюдений разных обсерваторий [http://newton.dm.unipi.it/neodys/index.php?pc=1.1.7.1&n=2008ТТ26&ab=1]. Наблюдения проводились с 21 по 23 октября 2008 г., в период времени, когда АСЗ 2008ТТ26 находился на расстоянии порядка 0.0091 — 0.0103 а. е. от Земли. Сравнения значений  $O - C$  для

наблюдений НИИ НАО и других обсерваторий представлены на рис. 2. Линией представлено значение эфемеридной скорости АСЗ 2008ТТ26 в наблюдаемый период.

**Сравнение координат навигационных ИСЗ.** Для проверки точности учета систематической поправки в случае наблюдения опорных звезд и объектов в разных режимах работы ПЗС-камеры (объект — режим укороченного переноса заряда; опорные звезды — режим накопления), проведено сравнение полученных координат навигационных ИСЗ с эфемеридой ILRS. Наблюдения проводились в течении трех ночей, получено 141 положение пяти навигационных ИСЗ. Среднее значение  $O - C$  для наблюдений ИСЗ без учета систематической поправки составило 6.6" (СКО = 21.4") по прямому восхождению и 18.9" (СКО = 22.9") по склонению. С учетом систематической поправки среднее значение  $O - C$  составило 0.05" (СКО = 0.5") и 0.04" (СКО = 0.6") соответственно. На рис. 3 представлены значения  $O - C$  для ИСЗ «Глонасс-102» до (рис. 3, а) и после (рис. 3, б) учета систематической поправки в прямом восхождении. Среднее значение  $O - C$  для ИСЗ «Глонасс-102» для наблюдений ИСЗ без учета систематической поправки составило 15.11" по прямому восхождению и 15.21" по склонению (СКО = 19.98" и 16.21").



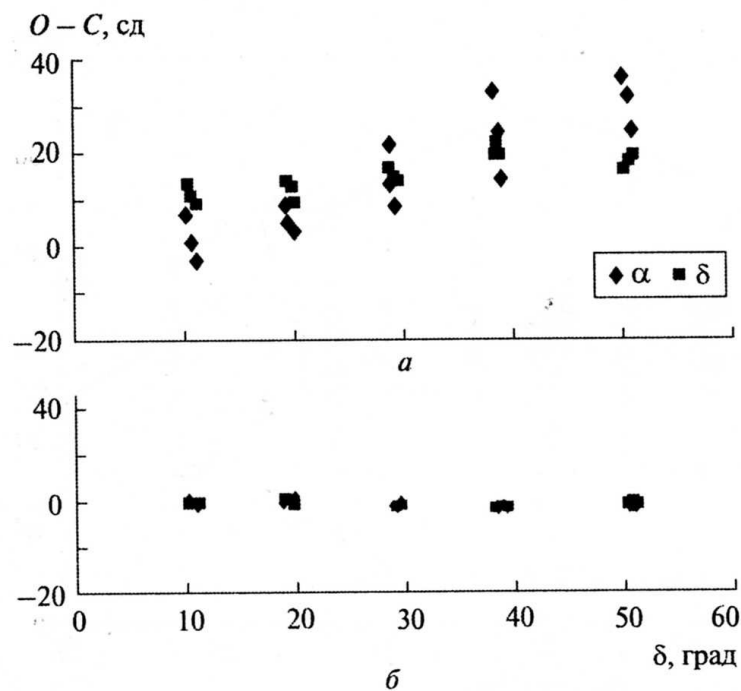


Рис. 3. Значения  $O - C$  для ИСЗ «Глонасс-102»: а — без учета систематической поправки, б — с учетом систематической поправки

Значения  $O - C$ , полученные без учета систематической поправки, соответствуют значению видимой скорости навигационных ИСЗ на момент наблюдений. После учета систематической ошибки среднее значение  $O - C$  составило  $0.04''$  и  $0.09''$  соответственно, при СКО по прямому восхождению  $0.27''$  и  $0.30''$  по склонению, что подтверждает правильность определения и учета систематической поправки.

## ВЫВОДЫ

Разработана модифицированная модель редукции постоянных ПЗС-изображений, обеспечивающая астрометрическую обработку наблюдений, полученных комбинированным методом. Разработан и опробован способ определения систематических поправок при наблюдениях комбинированным методом с режимами работы ПЗС камеры «полоса» — «полоса» и «кадр» — «полоса». При использовании одинаковых режимов работы ПЗС-камеры с разными экспозициями систематической ошибки не выявлено. Получена систематическая поправка в  $1.1'' \text{сд}$  в прямом восхождении при использовании разных режимов работы ПЗС-камеры. Проведено

сравнение экваториальных координат навигационных ИСЗ с эфемеридой IERS с учетом и без учета систематической ошибки. Сравнение показало улучшение значений  $O - C$ , что подтверждает правильность определения систематической поправки. Полученная систематическая поправка учитывается на этапе вычисления экваториальных координат КО. ММРН применён для редукции наблюдений АСЗ, которые наблюдались комбинированным методом на расстояниях от Земли менее  $0.05$  а. е. Точность полученных координат соответствует мировому уровню точности для такого рода наблюдений.

Авторы благодарны И. В. Каре за предоставленное программное обеспечение для сравнения наблюдений ИСЗ с эфемеридой IERS.

1. Дума Д. П. Загальна астрометрія: Навчальний посібник. — Київ: Наук. думка, 2007. — 600 с.
2. Ковальчук А. Н., Пинигин Г. И., Шульга А. В. Скоростной автоматический комплекс для регистрации небесных объектов естественного и искусственного происхождения в околоземном космическом пространстве // Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы. — Москва: ИНАСАН, 2000. — С. 361—371.
3. Козырев Е. С., Сибирякова Е. С., Шульга А. В. Применение поворотной платформы для наблюдений объектов околоземного пространства комбинированным методом // Околоземная астрономия 2007: Сб. тр. конф. — Нальчик, 2008. — С. 288—292.
4. Koziryev Y., Shulga O., Sibiryakova Y. Observation of fast NEA objects with prolonged exposure // A Giant Step: From Milli- to Micro-arcsecond Astrometry: Proc. of IAU Symposium N 248, China, 15–19 Oct. — Shanghai, 2007. — P. 128—129.

Надійшла до редакції 13.07.10

Y. S. Koziryev, Y. S. Sybiryakova, O. V. Shulga

## ESTIMATION OF ASTROMETRIC REDUCTION ACCURACY FOR THE COMBINED METHOD OF CELESTIAL OBJECT OBSERVATIONS

The combined method for observations and the modified model of observation reduction are described. We present the methods for the estimation of the coordinate accuracy of coordinates which were obtained with the use of the modified model of observation reduction. The accuracy of observations of the NEOs during their approaches to the Earth for distances from  $0.009$  to  $0.045$  AU is estimated.