

---

# КИНЕМАТИКА

---

# И ФИЗИКА

---

# НЕБЕСНЫХ

---

# ТЕЛ

ТОМ 29 № 1 январь — февраль 2013

---

НАЦИОНАЛЬНАЯ  
АКАДЕМИЯ НАУК  
УКРАИНЫ

ОТДЕЛЕНИЕ  
ФИЗИКИ  
И АСТРОНОМИИ

НАУЧНО-  
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

---

Основан в январе 1985 г. ● Выходит 6 раз в год ● Киев

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### Космическая физика

*Федоров Ю. И., Шахов Б. А., Стег-  
лик М.* Статистическое ускорение и  
пространственная диффузия косми-  
ческих лучей в турбулентной среде

### Физика Солнца

*Щукина Н. Г., Сухоруков А. В.* НЛТР-  
формирование солнечного спектра  
кремния. Содержание кремния в трех-  
мерной гидродинамической модели  
атмосферы Солнца

*Костык Р. И.* Что такое солнечные  
факелы?

*Пишкало Н. И.* Прогноз амплитуды  
24-го солнечного цикла по динамике  
активности вблизи минимума цикла

## CONTENTS

### Space Physics

*Fedorov Yu. I., Shakhov B. A., Stehlik M.*  
Statistical acceleration and spatial diffu-  
sion of cosmic rays in the turbulent me-  
dium

### Solar Physics

*Shchukina N. G., Sukhorukov A. V.* NLTE  
formation of the silicon spectrum: silicon  
abundance in three-dimensional model of  
the solar atmosphere

*Kostik R. I.* What are solar faculae?

*Pishkalo M. I.* A prediction of amplitude  
for solar cycle 24 using dynamics of ac-  
tivity near the cycle minimum

**Позиционная  
и теоретическая астрономия**

*Майгурова Н. В., Мартынов М. В., Пинигин Г. И.* Каталог звезд в площадках аксиального меридианного круга Николаевской обсерватории

**Positional  
and Theoretical Astronomy**

68 *Maigurova N. V., Martynov M. V., Pini-  
gin G. I.* A star catalogue in fields of the  
axial meridian circle of the Nikolaev ob-  
servatory

УДК 52-32(083.8)

**Н. В. Майгурова, М. В. Мартынов, Г. И. Пинигин**

Научно-исследовательский институт «Николаевская астрономическая обсерватория»  
ул. Обсерваторная 1, Николаев, 54030

### **Каталог звезд в площадках аксиального меридианного круга Николаевской обсерватории**

*По результатам ПЗС-наблюдений на аксиальном меридианном круге НИИ НАО в течение 2008—2009 гг. получен каталог астрометрических положений и собственных движений 140321 звезд, расположенных в площадках вдоль эклиптики и вокруг звезд с большими собственными движениями. Средняя квадратичная ошибка каталожного положения звезды находится в пределах 20—65 мсд по прямому восхождению и 30—70 мсд по склонению. В качестве опорного каталога при выполнении астрометрических редукиций был использован каталог UCAC2. Для получения собственных движений и исследования систематических ошибок полученного каталога была выполнена кросс-идентификация полученных данных с каталогами «Tycho-2», 2MASS, CMC14, LSPM, PPMX, USNO-A2.0 и XPM-1.0. Кроме положений и собственных движений каталог также содержит данные о фотометрических величинах  $B$ ,  $V$ ,  $r$ ,  $J$ ,  $H$ ,  $K$  из других каталогов.*

*КАТАЛОГ ЗІРОК В ПЛОЩАДКАХ АКСІАЛЬНОГО МЕРИДІАННОГО КРУГА МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБСЕРВАТОРІЇ, Майгурова Н. В., Мартынов М. В., Пинигин Г. И. — За результатами ПЗС-спостережень на аксіальному меридіанному крузі НДІ МАО протягом 2008—2009 рр. отримано каталог астрометричних положень і власних рухів 140321 зірок, розташованих у площадках вздовж екліптики і навколо зірок з великими власними рухами. Середня квадратична похибка каталожного положення зірки лежить у межах 20—65 мсд по прямому сходженню і 30—70 мсд по схиленню. При виконанні астрометричних редукицій як опорний був використаний каталог UCAC2. Для отримання власних рухів і дослідження систематичних помилок отриманого каталогу була виконана крос-ідентифікація отриманих даних з каталогами «Tycho-2», 2MASS, CMC14, LSPM, PPMX, USNO-A2.0 і*

*XPM-1.0. Крім положень та власних рухів каталог також містить дані про фотометричні величини  $B$ ,  $V$ ,  $r$ ,  $J$ ,  $H$ ,  $K$  з інших каталогів.*

*A STAR CATALOGUE IN FIELDS OF THE AXIAL MERIDIAN CIRCLE OF THE NIKOLAEV OBSERVATORY, by Maigurova N. V., Martynov M. V., Pinigin G. I. — On the basis of our results of CCD-observations made with the axial meridian circle of the Nikolaev Observatory from 2008 to 2009, we compiled a catalogue of astrometric positions and proper motions for 140321 stars located in ecliptical zone fields and around high-proper-motion stars. The rms error for a star position is 20—65 mas in right ascension and 30—70 mas in declination. The UCAC2 catalogue was used as reference one for astrometric reductions. To derive star proper motions and estimate systematic errors of the catalogue compiled, the cross-identification of the obtained data with the modern astrometric catalogues Tycho2, 2MASS, CMC14, LSPM, PPMX, USNO-A2.0, and XPM-1.0 was performed. In addition to star positions and proper motions, our catalogue contains photometric values  $B$ ,  $V$ ,  $r$ ,  $J$ ,  $H$ ,  $K$  taken from other catalogues.*

**Введение.** После принятия МАС космических каталогов HIPPARCOS и Tycho в качестве основной реализации оптической опорной системы координат (HCRF) перед наземной астрометрией встала задача ее поддержки, контроля и расширения в область более слабых звездных величин. Использование ПЗС-приемников на меридианных инструментах для дифференциальных наблюдений звезд дало возможность массовых точных наблюдений относительно слабых звезд на телескопах небольших размеров. Из каталогов, полученных средствами наземной астрометрии за последние 20 лет, следует отметить каталоги CMC1-11 (I/256), CMC14 (I/325) [3, 4] (Карлсбергский меридианный круг), наблюдения площадок в экваториальной зоне для создания астрометрических стандартов (Флагштаффский меридианный круг) [13], каталоги UCAC (двойной астрограф Военно-морской обсерватории США) [15, 16], каталог звезд в полях вокруг внегалактических радиоисточников КМАС1 (Киевский меридианный аксиальный круг Главной астрономической обсерватории Национальной академии наук Украины) [9] и др. Точность этих каталогов находится в пределах от 20 до 100 мсд, что позволяет использовать их в качестве опорных каталогов при решении задач, связанных с определением положений избранных небесных объектов в системе HCRF/ICRF. Однако на сегодняшний день задачу расширения оптической системы в область слабых величин по всей небесной сфере и создания опорного каталога для высокоточных астрометрических редукций в малых полях нельзя считать окончательно решенной по причине отсутствия или недостаточной точности собственных движений для звезд слабее  $12^m$ . Выбор эклиптической зоны для наблюдений на меридианном круге был продик-

тован в первую очередь интересом Николаевской обсерватории к наблюдениям малых тел Солнечной системы. 90 % орбит всех известных астероидов расположены в пределах  $\pm 20^\circ$  от плоскости эклиптики. Кроме того, в семидесятых годах прошлого века в Николаевской обсерватории были получены наблюдения этой зоны на фотопластинках (средняя эпоха 1978.0), которые планировалось использовать в качестве первой эпохи для определения собственных движений. Однако по ряду технических причин сканирование пластинок не было завершено, и для вывода собственных движений были использованы другие данные.

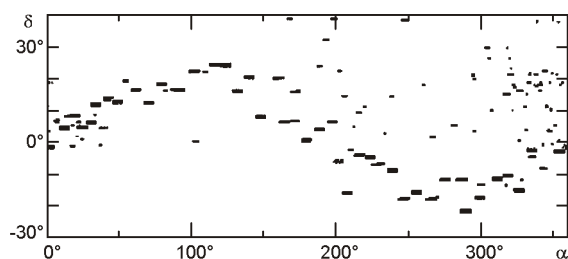
**Телескоп.** В данной работе представлены результаты обработки наблюдений на меридианном круге НИИ «Николаевская астрономическая обсерватория», полученных в течение 2008—2009 гг. Аксиальный меридианный круг (АМК) введен в действие в 1995 г. [2]. С 2001 г. телескоп включен в список объектов национального достояния Украины. Финансовая поддержка Министерства образования и науки Украины позволила провести модернизацию павильона и оборудования этого инструмента. Конструкция АМК включает горизонтальный телескоп в первом вертикале ( $D = 180$  мм,  $F = 2500$  мм), который может вращаться вокруг своей оси в двух специальных лагерах, и неподвижный длиннофокусный автоколлиматор. Первоначально телескоп был оснащен ПЗС-камерой, разработанной в Николаевской обсерватории на базе матрицы ФППЗ-13М (288 275, 24 32 мкм).

Первая программа наблюдений (1995—1998 гг.) на телескопе включала в себя наблюдения звезд в площадках вокруг радиоисточников с целью расширения оптической системы HCRF в площадках вокруг внегалактических радиоисточников. В 2001 г. на телескопе была установлена новая, также разработанная в НИИ НАО, ПЗС-камера на основе матрицы ISD 017Ap (1094 1200, 16 16 мкм). С 2002 по 2006 гг. на телескопе проводились наблюдения отдельных зон небесной сферы с целью получения каталогов опорных звезд для расширения и поддержки оптической опорной системы HCRF. Были получены наблюдения звезд в зоне склонений  $-7.5$  (для обработки наблюдений геостационарных спутников), а также наблюдения звезд в отдельных площадках эклиптической зоны, содержащих радиоисточники списка ICRF. В 2007 г. проведена полная реконструкция павильона телескопа и установлена новая ПЗС-камера S1C (1040 1160, 16 16 мкм) производства «Электрон-Оптроник» (Санкт-Петербург). С 2008 г. на телескопе были продолжены наблюдения звезд в площадках эклиптической зоны, а также начаты наблюдения отдельных звезд с высокими собственными движениями (более 150 мсд/год). В данной работе представлены результаты обработки массива наблюдений 2008—2009 гг. в виде каталога астрометрических положений и собственных движений звезд.

**Исходные данные.** Для наблюдений звезд на телескопе АМК используется режим синхронного переноса заряда с эффективным

временем накопления  $102/\cos \delta$  (с). Угловой размер наблюдаемой области неба по склонению при этом определяется угловым размером матрицы в данном направлении и составляет  $23'$ . Размер по прямому восхождению ограничен лишь временем сканирования и может составлять несколько градусов, но в нашем случае он составляет около 2 мин времени ( $28'$ ). Как показано в работе [7], этот режим наблюдений приводит к дополнительному размытию изображений звезд, что существенно ограничивает зону рабочих склонений. 99 % наблюдений на АМК находятся в зоне склонений  $|\delta| < 30^\circ$ , исключение составляют несколько площадок вокруг звезд с большими собственными движениями, максимальное склонение которых равно  $+38^\circ$ . Согласно формулам, полученным Стоуном и др. в [14], размытие изображений звезд для АМК, составляет  $5.12 \text{ tg } \delta$  по прямому восхождению и  $1.11 \text{ tg } \delta$  по склонению. Это значительно меньше размера изображения звезд в фокальной плоскости для используемого телескопа, которое в среднем составляет  $4.5'$ .

Рис. 1. Распределение площадок по небесной сфере



Программа наблюдений 2008–2009 гг. включала в себя два вида объектов: площадки размером ( $7.5' \times 1^\circ$ ), расположенные вдоль зоны эклиптики, и площадки вокруг звезд с большими собственными движениями размером около  $1^\circ \times 23'$ . Первоначально планировалось получить наблюдения 48 площадок, равномерно распределенных по прямому восхождению в зоне склонений  $\pm 30^\circ$  от эклиптики. Поскольку размер одного скана составляет  $23' \times 28'$ , для получения желаемого размера наблюдения каждой площадки выполнялись сериями из 16 отдельных сканов с последующим смещением по склонению. К сожалению, по техническим причинам программа была выполнена не полностью, и часть площадок эклиптических площадок имеет размер по склонению меньше запланированного. Список для наблюдений звезд с высокими собственными движениями был выбран из каталогов LSPM [10] и сводного каталога звезд с высокими собственными движениями, созданного в ГАО НАН Украины [1]. На рис. 1 представлено распределение полученного наблюдательного материала по небесной сфере. Всего получено более 1 млн изображений небесных объектов. Среднее число наблюдений одного объекта составляет 7.4. В каталог вошли звезды с числом наблюдений не менее трех раз.

**Редукция.** Первичная обработка полученных кадров заключалась в постолбцовом и построчном выравнивании фона изображения и удалении строк, вызванных так называемыми «горячими пикселями». Специальные кадры темнового тока и плоских полей не использовались, поскольку наблюдения выполнялись в интегральном свете без применения фильтра, и получение фотометрических данных не планировалось. (В 2010 г. на инструменте установлен  $V$ -фильтр системы Бесселя Джонсона Казинса). Дальнейшая обработка наблюдательных данных включала в себя следующие этапы: обнаружение объектов, для которых отношение сигнал/шум  $S/N \geq 4.0$ , получение инструментальных координат обнаруженных объектов в системе матрицы, выполнение астрометрических редукций для получения экваториальных координат объектов, выявление и учет систематических ошибок, вычисление собственных движений и компиляция каталожного массива. Обнаружение, измерение изображений объектов и последующие астрометрические редукции на сканах выполнялись с помощью программы «Astrometrica» v.4.6.5.390 [<http://www.astrometrica.at/>]. В качестве модели связи измеренных и тангенциальных координат был использован полный квадратичный полином, показавший приемлемую величину случайной ошибки. Критерием для выбора этой модели считались минимальные значения средних квадратичных отклонений остаточных разностей  $O - C$  опорных звезд для одного измерения. В табл. 1 приведены значения средних квадратичных отклонений и разностей  $O - C$  по прямому восхождению и склонению, число опорных звезд  $N$ , полученные в результате обработки 10 сканов одной площадки ( $\alpha = 20^h45^m$ ,  $\delta = -11^\circ 33'$ ) с различными моделями связи измеренных и тангенциальных координат. Видно, что квадратичная модель дает существенное улучшение по сравнению с линейной. Использование моделей более высоких порядков в нашем случае не дает значительного улучшения точности. Кроме того, модели высоких порядков требуют для выполнения астрометрических редукций большого количества опорных звезд, что не всегда можно реализовать на практике в пределах одного скана. В качестве опорного каталога для выполнения астрометрических редукций был выбран каталог UCAC2 [16], поскольку каталог «Tycho-2» содержит недостаточное количество звезд для редукций в рабочем поле  $23^\circ - 28^\circ$ . Среднее число звезд, приходящихся на 1 кв. градус в каталоге «Ty-

**Таблица 1.** Средние квадратичные отклонения разностей  $O - C$  для разных моделей связи измеренных и тангенциальных координат

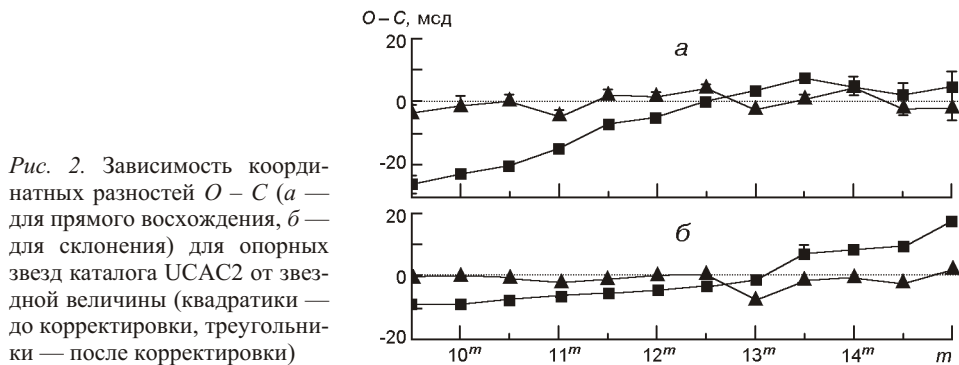
Модель связи	$\sigma_{\alpha}$ , мсд	$\sigma_{\delta}$ , мсд	$N$
Линейная (6 постоянных)	137	108	327
Квадратичная (12 постоянных)	90	88	326
Кубическая (18 постоянных)	87	82	327
Полином 4-го порядка (30 постоянных)	85	79	275

cho-2», составляет 30, для наших сканов получается в среднем 7-8 звезд. Это приводит к тому, что области вне плоскости Галактики не будут обеспечены опорными звездами для редуций. Кроме того, использование ярких звезд (до  $9^m$ ) в качестве опорных для редуций нежелательно по причине их перенасыщения, а точность положений и собственных движений для звезд слабее  $10^m$  в каталоге UCAC2 лучше [8].

**Уравнение блеска.** Как уже отмечалось ранее, все наблюдения на телескопе АМК до 2011 г. выполнялись в интегральном свете без применения фильтра. Ситуация была осложнена еще и тем обстоятельством, что объектив телескопа скорректирован на визуальные наблюдения, что соответствует спектральной области  $V$ , а полоса пропускания матрицы находится в спектральной области  $R$ , что приводит к увеличению размера звезд и асимметричности профиля изображения звезды. По-видимому, это послужило основной причиной систематических ошибок в наблюдательном материале, которые были обнаружены после выполнения астрометрических редуций. Анализ профилей звезд показал, что существует зависимость между невязками  $O-C$  опорных звезд и полушириной профиля изображения на половине максимума (параметр  $FWHM$ ). Эта зависимость по-разному проявляется для звезд различной яркости и зоны склонений. Поэтому все опорные звезды были разбиты на девять зон по склонению (ширина зоны составляла  $5^\circ$ ), внутри которой было выделено три диапазона звездных величин. Методом наименьших квадратов были найдены коэффициенты квазилинейной зависимости, которая была вычтена из полученных данных. Рис. 2 показывает зависимость невязок опорных звезд  $O-C$  по прямому восхождению и склонению от звездной величины до и после проведенной корректировки уравнения блеска.

Поскольку динамический диапазон нашего ПЗС-приемника составлял более  $7^m$ , а предельная звездная величина каталога составляет  $16^m$  на экваторе, изображения звезд ярче  $8.5^m$  оказались перенасыщенными, поэтому к данным каталога, касающимся яркой составляющей, следует относиться осторожно.

**Внутренняя точность каталога.** После выполнения стандартных астрометрических редуций были вычислены средние положения



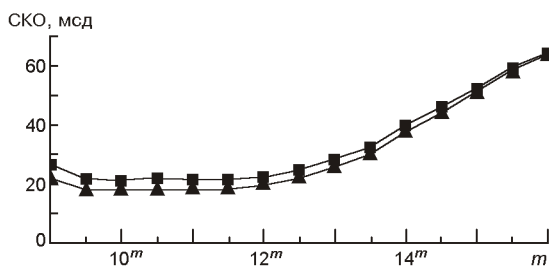


Рис. 3. Зависимость средних квадратичных ошибок каталожного положения звезды от звездной величины (квадратики — прямое восхождение, треугольники — склонение)

звезд по индивидуальным положениям в различные эпохи, их средние квадратичные ошибки (СКО) и средняя эпоха наблюдения каждой звезды. Значения СКО могут служить оценкой внутренней точности каталога.

На рис. 3 представлен график зависимости СКО каталожного положения звезды от звездной величины. Как можно видеть, ошибка увеличивается для ярких звезд и слабых звезд. Наименьшую погрешность менее 30 мсд имеют звезды  $10 - 13.5^m$ . Это значение может быть слегка уменьшено за счет привлечения собственных движений звезд при вычислении индивидуальных средних положений. Учитывая специфику наблюдений на меридианном круге и то, что период наблюдений составлял всего два года, в данной версии каталога собственные движения отдельных звезд при вычислении средних положений не учитывались.

В окончательную версию каталога были включены звезды с числом наблюдений не менее трех раз. На рис. 4 приведена гистограмма распределения числа наблюдений. Среднее число наблюдений одной звезды составило 7.4 раза, при этом 3 % звезд имеют число наблюдений более 20 раз (в основном, это звезды с большими собственными движениями).

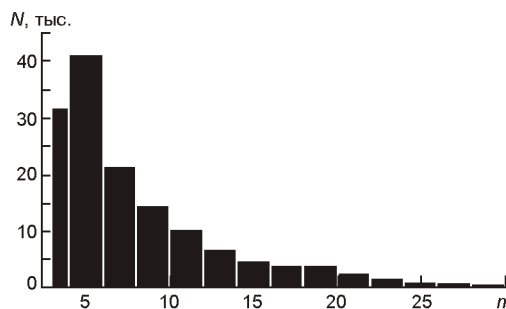


Рис. 4. Распределение количества  $N$  звезд по количеству  $n$  повторных наблюдений одной звезды

**Уравнение цвета.** Для дальнейшего исследования систематических ошибок, связанных с уравнением цвета звезд, а также для получения и изучения особенностей собственных движений звезд была выполнена кросс-идентификация полученных данных с другими каталогами, которые содержат астрометрическую и фотометрическую информацию. Результаты кросс-идентификации приведены в табл. 2. Каталоги SMC14 и 2MASS использовались как для получения разностей координат, так и для обеспечения всех звезд каталога точным

**Таблица 2. Результаты кросс-идентификации данных АМК с различными каталогами**

Каталог	Средняя эпоха	Количество общих звезд	Доля от общего количества, %
2MASS [5]	1999.14	139947	99.6
СМС14 [3]	2002.03	136969	97.2
РРМХ [12]	—	78014	55.6
«Tycho-2» [8]	1991.7	10597	7.6
USNO – A2.0 [11]	—	127311	90.7
ХРМ-1.0 [6]	—	132375	94.3

цветовым показателем. В качестве первой эпохи положений для вычисления собственных движений использовался каталог USNO-A2.0 (разность эпох составляет около 50 лет) и каталог «Tycho-2» (разность эпох составляет около 18 лет). Для оценки внешней точности собственных движений были использованы каталоги РРМХ и ХРМ-1.0.

Разности координат типа (АМК – каталог сравнения) вычислялись на среднюю эпоху между наблюдениями в каталогах с использованием собственных движений каталога «Tycho-2» для разностей (АМК – «Tycho-2»), для получения разностей (АМК – СМС14) были использованы собственные движения каталога РРМХ. Исследование поведения координатных разностей показало, что в результатах обработки есть значительные систематические ошибки, вызванные уравнением цвета. В качестве характеристики цвета, которой можно было обеспечить практически все звезды, было решено выбрать величину  $r - J$ , где  $r$  – звездная величина в полосе близкой к  $R$  из каталога СМС14,  $J$  – звездная величина в полосе  $J$  из каталога 2MASS. Предварительные оценки уравнения цвета показали, что, как и уравнение блеска, оно по-разному проявляется для звезд разной яркости в различных зонах по склонению. Учет уравнения цвета проводился аналогично учету уравнения блеска путем разбиения всего массива звезд на три подгруппы по звездной величине в пятиградусных зонах склонений. Для каждой подгруппы методом наименьших квадратов были получены коэффициенты квазилинейной зависимости разностей координат АМК – СМС14 от выбранной характеристики цвета. Полученная зависимость была учтена при получении окончательных координат и собственных движений. Контроль качества исключения уравнения блеска был выполнен с привлечением каталогов «Tycho-2» и 2MASS.

На рис. 5 представлен результат цветовой коррекции в виде зависимости усредненных разностей между каталогами по прямому восхождению и склонению от величины  $r - J$ . На верхнем рисунке представлены результаты сравнения наших данных с каталогом 2MASS, на нижнем – с каталогом «Tycho-2». Учитывая, что для 90 % звезд каталога значения  $r - J$  лежат в пределах от 0.5 до 2.5<sup>m</sup>, видно, что проведенная коррекция позволяет практически полностью

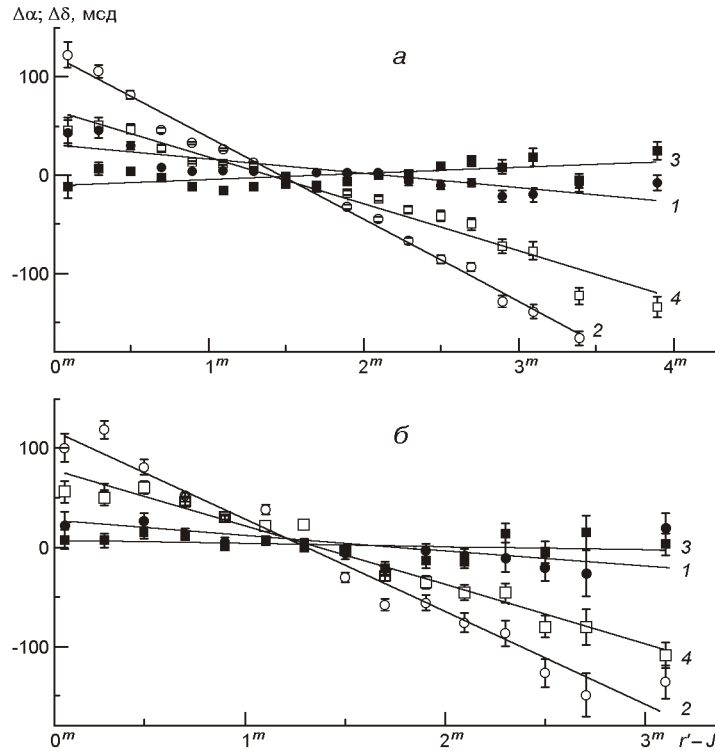


Рис. 5. Зависимости усредненных разностей между каталогами АМК – 2MASS (а) и АМК – «Тусхо-2» (б) от величины  $r - J$ . Линейные тренды 2 (кружки) и 4 (светлые квадратики) данные до цветовой коррекции по прямому восхождению и склонению соответственно; тренды 1 (точки) и 3 (темные квадратики) — после коррекции

исключить уравнение цвета по склонению. Наличие небольшого остаточного тренда по прямому восхождению, возможно, связано с наличием неучтенного цветового уравнения по этой координате в данных каталога СМС14.

**Сравнение с другими каталогами.** Для оценки внешней точности каталога были вычислены средние значения разностей координат, собственных движений и их средних квадратичных ошибок для выборок общих звезд в нашем каталоге и каталогах сравнения. Разности вычислялись на среднюю эпоху между двумя каталогами с использованием собственных движений представляемого каталога. В табл. 3 приведены средние значения разностей по прямому восхождению и

Таблица 3. Результаты сравнения положений каталога АМК с данными каталогов СМС14 и 2MASS

Каталог	, мсд	, мсд	Число звезд	
СМС14	$0.2 \pm 0.2$	$7.5 \pm 0.2$	122120	121752
2MASS	$3.2 \pm 0.3$	$-1.9 \pm 0.3$	121834	123567

Таблица 4. Разности собственных движений каталогов АМК, ХРМ-1.0 и РРМХ

Разности	, мсд/год	, мсд/год	Число общих звезд
РРМХ – АМК	$-0.18 \pm 0.04$	$0.23 \pm 0.04$	65879
ХРМ1.0 – АМК	$1.42 \pm 0.02$	$1.72 \pm 0.02$	65879

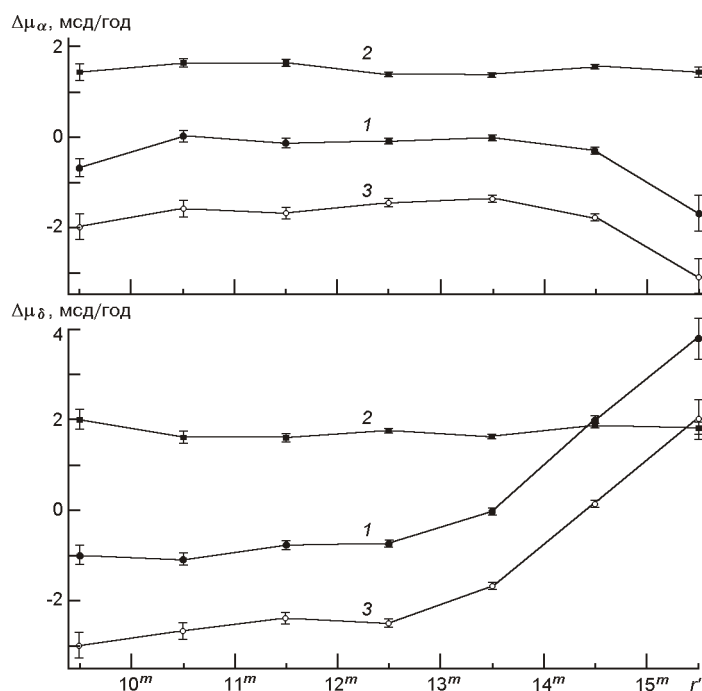


Рис. 6. Зависимость усредненных систематических разностей собственных движений от звездной величины  $r$ : 1 — разность РРМХ – АМК, 2 — разность ХРМ1.0 – АМК, 3 — разность РРМХ – ХРМ1.0

склонению и их средние квадратичные ошибки. При вычислении средних значений были отброшены разности, абсолютное значение которых не попадает в интервал  $3\sigma$ . Количество выбросов при этом не превышало 3%.

Для исследования собственных движений использовались каталоги ХРМ-1.0 и РРМХ. Табл. 4 содержит средние значения разностей собственных движений по обеим координатам и их средние квадратичные ошибки для общих звезд каталогов РРМХ, ХРМ-1.0 и АМК. При исследовании поведения разностей были обнаружены большие расхождения между нашими данными, данными каталога ХРМ-1.0 и каталога РРМХ для звезд с большими собственными движениями. Поскольку авторами каталога РРМХ было отмечено, что использование данных каталога о звездах с большими собственными движениями требует особой осторожности, для вычисления средних значений разностей звезды с собственными движениями более 60 мсд/год были исключены. Полученные значения СКО разностей ХРМ1.0 – АМК в два

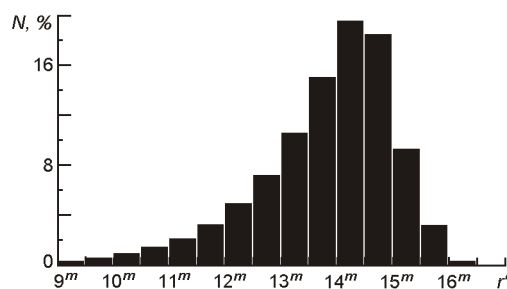


Рис. 7. Гистограмма распределения количества  $N$  звезд каталога по значению звездной величины  $r$

раза меньше, чем для разностей РРМХ – АМК. Это объясняется тем, что наши собственные движения не являются полностью независимыми от собственных движений каталога ХРМ1.0, поскольку для вывода собственных движений в качестве первой эпохи в обоих случаях использовался каталог USNO-A2.0.

Графики хода усредненных систематических разностей собственных движений от звездной величины приведены на рис. 6.

**Содержание каталога.** Каталог включает в себя положения 140321 звезд, которые наблюдались не менее трех раз. На рис. 7 приведена гистограмма распределения этих звезд по звездной величине.

Как можно видеть из гистограммы, предельная звездная величина каталога равна  $16.5^m$ , при этом полнота каталога составляет  $14.8^m$ . Кроме оригинальных положений на среднюю эпоху наблюдения, каталог содержит собственные движения, полученные с каталогами USNO-A2.0 (для 127311 звезд) и «Tycho-2» (для 10597 звезд) в качестве первой эпохи положений. Каталог также содержит фотометрическую информацию, полученную в результате кросс-идентификации представляемых данных с каталогами «Tycho-2», 2MASS, CMC14. Каталог представлен в виде ASCII-файла, отсортированного в порядке

Таблица 5. Формат данных каталога

Формат	Единица измерения	Описание
1—6	—	Порядковый номер звезды
7—17	градус	Прямое восхождение (J2000, на среднюю эпоху наблюдения)
18—22	мсд	Средняя квадратичная ошибка по прямому восхождению
23—33	градус	Склонение (J2000, на среднюю эпоху наблюдения)
34—38	мсд	Средняя квадратичная ошибка по склонению
39—47	год	Средняя эпоха наблюдения
48—50		Число наблюдений
51—55	мсд/год	Собственное движение по прямому восхождению ( $\cos \delta$ ) (первая эпоха USNO-A2.0; значение «9999» в графе собственных движений означает, что собственное движение для этой звезды в каталоге отсутствует).
56—60	мсд/год	Собственное движение по склонению (первая эпоха USNO-A2.0; значение «9999» в графе собственных движений означает, что собственное движение для этой звезды в каталоге отсутствует).
61—65	мсд/год	Собственное движение по прямому восхождению ( $\cos \delta$ ) (первая эпоха «Tycho-2»)
66—70	мсд/год	Собственное движение по склонению (первая эпоха «Tycho-2»)

Формат	Единица измерения	Описание
71—75		<i>R</i> — звездная величина из каталога CMC14
76—80		<i>J</i> — звездная величина из каталога 2MASS
81—85		<i>H</i> — звездная величина из каталога 2MASS
86—90		<i>K</i> — звездная величина из каталога 2MASS
91—95		<i>V</i> — звездная величина из каталога «Tycho-2»
96—100		<i>V</i> — звездная величина из «Tycho-2» каталога «Tycho-2»
101—108		Флаг идентификации в каталогах: <i>c</i> — CMC14, <i>m</i> — 2MASS, <i>p</i> — PPMX, <i>t</i> — «Tycho-2», <i>u</i> — USNO-A2.0, <i>l</i> — LSPM, <i>x</i> — XPM-1.0

возрастания прямого восхождения. Каждая строка соответствует одному объекту. Описание формата записи строки приведено в табл. 5.

Размер каталога составляет около 50 Мбайт. В настоящее время каталог доступен по адресу [http://ukr-vo.org/science/mao\\_cats.php](http://ukr-vo.org/science/mao_cats.php).

**Выводы.** В данной работе представлен каталог положений и собственных движений 140321 звезд, полученный по наблюдениям на аксиальном меридианном круге НИИ НАО. Полученные результаты показывают, что с помощью наземных меридианных инструментов, оснащенных ПЗС-приемниками, возможно получение наблюдений, которые могут быть использованы как для решения задачи расширения и поддержки оптической системы ICRF/HIPPARCOS (получение второй эпохи высокоточных положений для определения и уточнения собственных движений), так и для решения задач, связанных с исследованием отдельных объектов нашей Галактики (звезды с большими собственными движениями, двойные и кратные системы с невидимыми компонентами и др.).

Авторы благодарны Л. Е. Бондарчук, А. Э. Мажаеву и С. В. Процюк за участие в наблюдениях, а также А. В. Иванцову за помощь и ценные замечания при подготовке статьи.

1. Иванов Г. А. Каталог звезд с большими собственными движениями (версия 2.0) // Кинематика и физика небес. тел.—2008.—**24**, № 6.—С. 480—483.
2. Ковальчук А., Пинигин Г., Процюк Ю. и др. ПЗС-аксиальный меридианный круг Николаевской обсерватории // Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики: Тр. конф. — С-Петербург: ИТА РАН, 1996.—С. 91—96.
3. Carlsberg Meridian Catalog 14 (CMC14) (CMC, 2006) // VizieR On-line Data Catalog: I/304. Observations from March 1999 to October 2005. — Copenhagen University Obs., Royal Greenwich Obs., Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando.—I/304, 2006.
4. Carlsberg Meridian Catalogs Number 1—11 // VizieR On-line Data Catalog: I/256. Observations from 1984 May to 1998 May. — Copenhagen University Obs., Royal Greenwich Obs., Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando.—I/256, 1999.
5. Cutri R. M., Skrutskie M. F., Van Dyk S., et al. The 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources // VizieR On-line Data Catalog: II/246. — University of Massachusetts and Infrared Processing and Analysis Center, 2003.

6. *Fedorov P., Akhmetov V., Bobylev V., Gontcharov G.* The XPM catalogue as a realization of the ICRS in optical and near-infrared ranges of wavelengths // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2011.—**412**.—P. 665—672.
7. *Gibson B., Hickson P.* Time-delay integration CCD read-out technique — Image deformation // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1992.—**258**.—P. 543—551.
8. *Hog E., Fabricius C., Makarov V. V., Urban S.* The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 million brighters stars // *Astron. and Astrophys.*—2000.—**355**.—P. L27—L30.
9. *Lazorenko P., Babenko Yu., Karbovsky V., et al.* The Kiev Meridian Axial Circle catalogue of stars in field with extragalactic radio sources // *Astron. and Astrophys.*—2005.—**438**.—P. 377—389.
10. *Lepine S., Shara M.* A Catalog of northern stars with annual proper motions larger than 0.15 (LSPM-NORTH Catalog) // *Astron. J.*—2005.—**129**, N 3.—P. 1483—1522.
11. *Monet D., Bird A., Canzian B., et al.* USNO-A V2.0, A catalog of astrometric standards // *VizieR on-line data catalog: I/252*. — U.S. Naval Observatory Flagstaff Station and Universities Space Research Association stationed at USNOFS, 1998.
12. *Roser S., Schilbach E., Schwan H., Kharchenko N. V.* PPM-Extended (PPMX) a catalogue of positions and proper motions // *Astron. and Astrophys.*—2008.—**488**.—P. 401—408.
13. *Stone R. C., Pier J. R., Monet D. G.* ACR catalog around Celestial Equator *VizieR On-line Data Catalog: I/263*.
14. *Stone R. C., Monet D. G., Monet A. K. B., et al.* The Flagstaff Astrometric Scanning Transit Telescope (FASTT) and star positions determined in the extragalactic reference frame // *Astron. J.*—1996.—**111**.—P. 1721—1742.
15. *Zacharias N., Finch C., Girard T., et al.* The Third U.S. Naval Observatory CCD astrograph catalog (UCAC3) // *Astron. J.*—2010.—**139**.—P. 2184—2199.
16. *Zacharias N., Urban S. E., Zacharias M. I., Wycoff G. L.* The second US Naval Observatory CCD astrograph catalog (UCAC2) // *Astron. J.*—2004.—**127**.—P. 3043—3059.

Статья поступила в редакцию 06.03.12