

Ю.І. Процюк, О.М. Ковальчук, О.Е. Мажаєв

Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія»,
вул. Обсерваторна, 1, Миколаїв, 54030, Україна, +38 (0512) 56-40-40

КАТАЛОГ ПОЛОЖЕНЬ ТА ВЛАСНИХ РУХІВ ЗІР НАВКОЛО РОЗСІЯНИХ СКУПЧЕНЬ



В НДІ «МАО» створено каталог NAO2015рт положень та власних рухів зір у 544-х прямокутних ділянках розміром приблизно $(1 \times 1)^\circ$ навколо розсіяних скупчень з використанням фотографічних та ПЗЗ-спостережень. Для цього було використано 293 пластинки $(5 \times 5)^\circ$, отриманих на зонному астрографі «МАО» ($D = 116$ мм, $F = 2040$ мм) у 1962–1993 рр., та понад 20 тис. ПЗЗ-кадрів $(0,7 \times 0,7)^\circ$, отриманих на телескопі КТ-50 ($D = 500$ мм, $F = 3000$ мм) у 2011–2015 рр. Також було оброблено майже 270 тис. файлів зображень з баз даних Міжнародного альянсу віртуальних обсерваторій з епохами спостережень від 1953 до 2010 рр. Каталог NAO2015рт включає понад 2,3 млн зір $(7,5–18,5)^m$ у системі ICRS з середньою точністю положень $(0,02–0,05)''$. Середня внутрішня точність власних рухів – $\sim 0,004''/\text{рік}$.

Ключові слова: ПЗЗ-спостереження, розсіяні скупчення, каталог положень та власних рухів зір.

Для створення точного каталогу положень та власних рухів важливим крім точності самих спостережень є також різниця епох між моментами проведення спостережень. Тому для виконання цієї роботи було вирішено разом із сучасними спостереженнями з приладами із рядовим зв'язком (ПЗЗ) використати фотографічні спостереження НДІ «МАО» 1960–1990 років та зображення з астрономічних баз даних (АБД) Міжнародного альянсу віртуальних обсерваторій (МАОВО).

Базовим каталогом розсіяних скупчень було вибрано каталог 1766 розсіяних скупчень VII/229 [1] з поточними оновленнями. З використанням його даних було зроблено перехресний пошук з базою даних фотографічних пластинок НДІ «МАО» [2] та знайдено усі пластинки, що мають зображення небесної сфери в діапазоні $\pm 20^\circ$ від галактичної площини та включають розсіяні скупчення з каталожним розміром понад $3'$. Усього зі скляної бібліотеки було вибрано 354 кандидати у відповідних ділян-

ках, після чого було проведено візуальний аналіз фотографічних пластинок за допомогою бази даних попередніх зображень [3]. У результаті було відібрано остаточний список 320 ділянок та відповідних фотопластинок зі складу архіву НДІ «МАО», які й були скановані у 2011–2014 роках.

Для створення списку ділянок неба для ПЗЗ-спостережень та пошуку в АБД було використано також каталог розсіяних скупчень VII/229 [1] з тими ж критеріями, що і для фотопластинок. У результаті ми отримали список, у який увійшли 544 ділянки з розсіяними скупченнями.

ОБРОБКА ФОТОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Для проведення сканування для визначення координат зір фотопластинку очищали від попередніх написів, зроблених на скляній стороні. Сканування виконували на сканері Epson Perfection V750 Pro з роздільною здатністю 1200 та 1600 точок на дюйм (Dots Per Inch, DPI) зі збереженням у FITS (Flexible Image Transport System) форматі. Для вибору оптимального ре-

жиму сканування та обробки нами було проведено спеціальне дослідження [4]. Для наших пластинок розміром 20×20 см при використанні нашого пакету програм найбільш оптимальними є роздільні здатності 1200 dpi як більш швидкий варіант при достатній точності та 1500–1600 dpi з прийнятними швидкісними параметрами при дещо кращій точності. За умови, що обчислювальна техніка з кожним роком стає потужнішою (особливо в сенсі доступного дискового простору), було прийнято рішення змінити базову роздільну здатність для обробки з 1200 dpi (об'єднання 4-х фізичних пікселів скануючої лінійки) на 1600 dpi (об'єднання 3-х фізичних пікселів скануючої лінійки). Зазвичай ми робимо по 6 сканів кожної пластинки зі збереженням в 16-бітному FITS-форматі. Сканування виконується емульсією вниз із лінійною γ -кривою в налаштуваннях сканера.

Первинна обробка даних спостережень включає автоматичне врахування особливостей окремих зображень (вуаль, нерівномірність фону, дефекти зображення та ін.), автоматичну цифрову фільтрацію зображень та відновлення форми дефектних зображень зір, пошук зореподібних об'єктів та визначення координат об'єктів в прямокутній системі координат кадру. Процес первинної обробки проходить в операційній системі Linux та досить детально описаний в роботах [5–8].

У подальшому обробка проходить в операційній системі Windows. При цьому проводиться ототожнення зір в опорних каталогах та подальша астрометрична редукція для визначення екваторіальних координат усіх зареєстрованих об'єктів [8, 9]. Редукція виконується в декілька ітерацій. Загальний алгоритм обробки фотопластинок було розроблено в 2010–2012 роках [8]. Надалі алгоритм практично не змінювався, але розширювалися можливості окремих програм та додавалася автоматизація за допомогою скриптів часто повторюваних операцій.

Пакет програм для обробки [8] на сьогодні може обробляти зображення з роздільною здат-

ністю від 600 до 4800 dpi, розміром до $32\,000 \times 32\,000$ пікселів або до $(50 \times 50)^\circ$, що включають до 2,5 млн об'єктів. Для роботи в максимальному режимі достатньо будь-якого ПК з оперативною пам'яттю 4 ГБ. Пакет був успішно використаний для отримання декількох каталогів та координат об'єктів Сонячної системи [9, 10, 11]. За 2013–2016 роки з використанням пакету нами оброблено понад 8000 сканованих зображень в різних проекціях, отриманих в шести різних обсерваторіях.

ПЗЗ-СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ З АРХІВІВ МАВО

Спостереження для отримання каталогу положень на сучасну епоху проводилися на телескопі КТ-50 Мобітел [12]. По створеному списку 544 ділянок із розсіяними скупченнями за 2011–2015 роки протягом 173 ночей було отримано понад 20 тис. ПЗЗ-кадрів у 2900 смугах у 460 ділянках із розсіяними скупченнями загальним об'ємом понад 350 ГБ. Середня кількість спостережень однієї смуги склала близько 6,5 разів. Смуга — це послідовність ПЗЗ-кадрів шириною близько $42,5'$, що експонуються послідовно по прямому піднесенню в режимі переносу заряду. Довжина одного кадру залежить від часу експозиції і для нашого випадку при експозиції 20 с складала близько $39,5'$. У випадку значних очікуваних розмірів розсіяного скупчення виконувалися додаткові спостереження зі зсувом із кроком $20'$ по схилу в обидва боки. Для обробки отриманих спостережень у системі каталогу UCAC4 [13] було використано програму Astrometrica [14] та кубічну модель редукції. У налаштуваннях програми для зоряних величин приймалась R -смуга, оскільки телескоп обладнано близьким до смуги R фільтром.

Для розширення можливих комбінацій епох спостережень було створено програмне забезпечення (ПЗ) для пошуку та автоматичного завантаження зображень ділянок неба з АБД за заданими критеріями [15]. За його допомогою виконано завантаження зображень із Aladin

Images Server [16] та з інфрачервоних фотометричних оглядів 2MASS [17] і DENIS [18], масиву Digitized Sky Survey [19, 20] та масиву WISE 4-Band AllSky Atlas [21] з різних серверів. Всього за 2014–2015 роки було завантажено близько 270 тис. зображень у FITS-форматі. Обробка цих зображень теж виконувалася програмою Astrometrica в системі каталогу UCAC4. Параметри налаштування програми для різних телескопів визначалися окремо. Використання додаткових даних з різних епох у вигляді зображень було зроблено для того, щоб обробити їх однаковим ПЗ у системі єдиного опорного каталогу. Це повинно зменшити систематичні різниці у координатах зір, отриманих на різних інструментах.

Для обробки таких великих масивів було створено комплекс із 10 віртуальних машин на двох комп'ютерах, що паралельно й автоматично обробляли весь масив з використанням створеної в НДІ «МАО» програми автоматизації для програми Astrometrica. Загальний час обробки усього масиву 270 тис. зображень склав майже 17 діб при цілодобовій роботі. На одному ПК процес такої обробки зайняв би 170 діб, а у випадку обробки тільки в робочий час це зайняло би більше року.

ФОТОГРАФІЧНИЙ КАТАЛОГ ПОЛОЖЕНЬ ЗІР ДЛЯ ПЕРШОЇ ЕПОХИ

Під час обробки зображень фотопластинок частина зображень виявилася зі значними відхиленнями від стандартної методики спостережень, так що для виведення каталогу було використано всього 293 пластинки. Усього було оброблено понад 1700 зображень фотопластинок з роздільною здатністю 1200 та 1600 dpi та отримано понад 30 млн реєстрацій об'єктів. З цього матеріалу за допомогою створеного ПЗ отримано каталог положень близько 2,7 млн зір $(6-16)^m$ (рис. 1, а) в системі каталогу Tycho2 з середньою точністю каталожного положення $0,09''$ по прямому піднесенню та $0,10''$ по схиленню (рис. 1, б). Середня епоха каталогу 1983,6.

ПЗЗ-КАТАЛОГ ПОЛОЖЕНЬ ЗІР ДЛЯ ДРУГОЇ ЕПОХИ

Обробка ПЗЗ-кадрів проводилася з використанням програми Astrometrica [13] та додаткової програми, створеної в НДІ «МАО» для організації пакетного режиму обробки. Оброблено понад 20 тис. ПЗЗ-кадрів у системі опорного каталогу UCAC4. Отримано понад 93 млн спостережень об'єктів у ділянках. З цього ма-

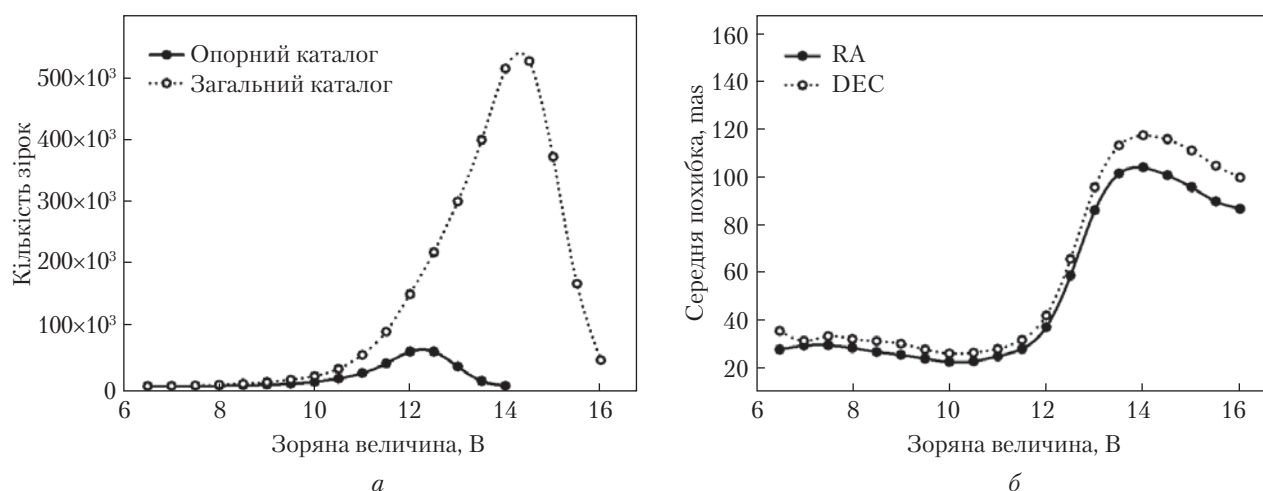


Рис. 1. Розподіл зір фотографічного каталогу по зоряній величині (а); залежність точності фотографічного каталогу від зоряної величини (б)

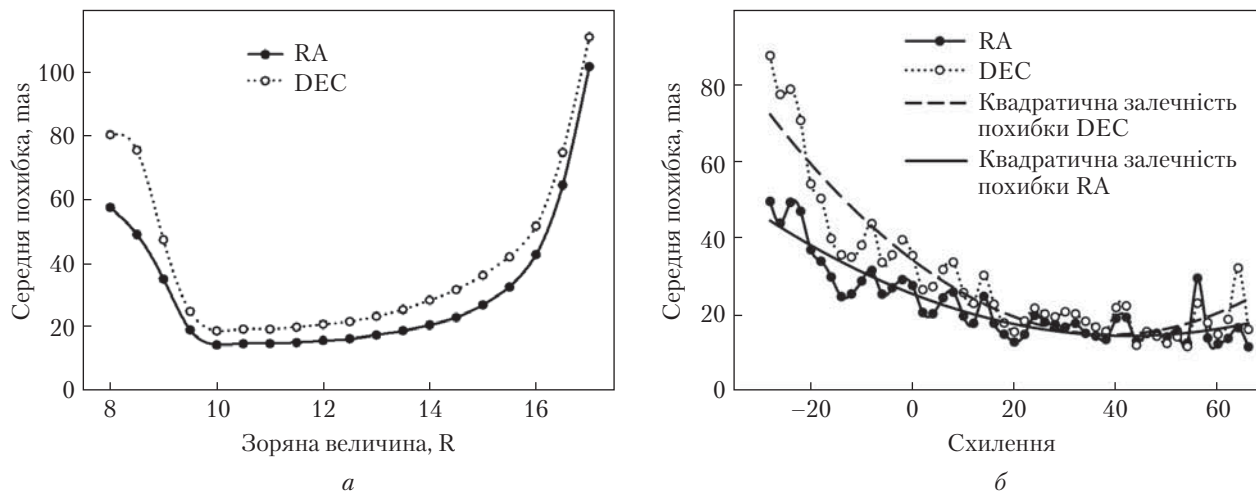


Рис. 2. Залежність точності ПЗЗ-каталогу від зоряної величини (а) та схилення (б)

теріалу отримано каталог астрометричних положень понад 4,2 млн зір ($7,5\text{--}17^m$), що спостерігалися 3 і більше разів з середнім числом спостережень однієї зірки близько 20 разів та середньою точністю каталожного положення для зір до 16^m по прямому піднесенню 32 mas та схиленню 42 mas (рис. 2, а). Середня епоха ПЗЗ-каталогу — 2013,6.

На рис. 2, б показано розподіл точності зір каталогу від схилення. Видно, що параметри точності телескопа КТ-50 Мобітел значно погіршуються при відхиленні від зеніту, причому точність по схиленню деградує значно швидше, ніж точність по прямому піднесенню. Можливо, причина пов'язана з недостатнім юстуванням телескопа, яке зазвичай виконується в напрямку зеніту ($\delta = 47^\circ$) та полюсу ($\delta = 90^\circ$). Однією з причин також може бути збільшена забрудненість та засвічування від міста над горизонтом, що призводить до збільшення яскравості фону та зменшення відношення *сигнал/шум* для зір.

КАТАЛОГИ ПОЛОЖЕНЬ ЗІР ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ, ОТРИМАНИХ З РЕЄСТРІВ МАВО

Обробка зображень, отриманих з реєстрів та АБД МАВО проводилася з використанням програми Astrometrica та додаткової програ-

ми, створеної в НДІ «МАО» для організації пакетного режиму обробки. Оброблено понад 270 тис. зображень у системі опорного каталогу UCAC4. Весь матеріал розбито на п'ять масивів, з яких отримано окремі каталоги на шість різних епох.

З обробки зображень огляду 2MASS [16] отримано понад 139 млн спостережень об'єктів у ділянках, що містять розсіяні скупчення. З цього матеріалу отримано каталог астрометричних положень понад 20,2 млн зір ($8\text{--}19,5^m$), що спостерігалися 3 і більше разів із середнім числом спостережень однієї зірки близько 6,3 разів та середньою точністю каталожного положення (СТКП) по прямому піднесенню 41 mas та схиленню 40 mas. Середня епоха каталогу — 1998,7.

З обробки зображень огляду DENIS [17] отримано понад 26 млн спостережень об'єктів у ділянках, що містять розсіяні скупчення. З цього матеріалу отримано каталог астрометричних положень близько 3,2 млн зір ($8\text{--}19,5^m$), що спостерігалися 3 і більше разів з середнім числом спостережень однієї зірки близько 5,2 разів та СТКП по прямому піднесенню 52 mas і схиленню 67 mas. Середня епоха каталогу — 1998,8.

З обробки зображень огляду DSS-A [18] отримано понад 19,7 млн спостережень об'єктів у ді-

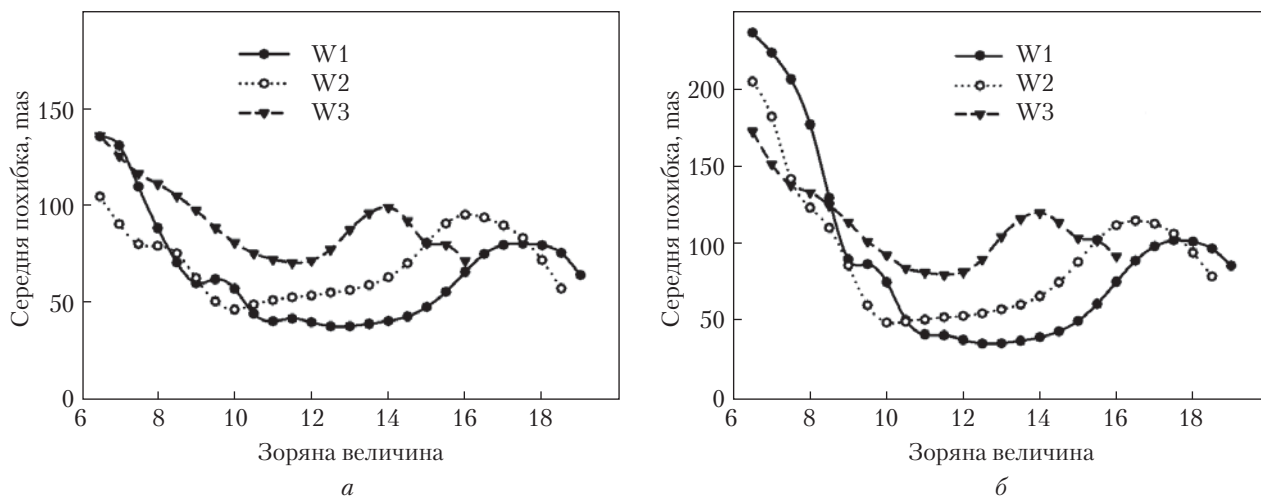


Рис. 3. Залежність точності каталогів з огляду WISE від зоряної величини по прямому піднесенню (а) та схиленню (б)

лянках, що містять розсіяні скупчення. З цього матеріалу отримано каталог астрометричних положень понад 3 млн зір ($12-19^m$), що спостерігалися 3 і більше разів з середнім числом спостережень однієї зірки близько 4,1 разів та СТКП по прямому піднесенню 66 mas та схиленню 70 mas, причому для зір, яскравіших 16^m , помітно значне погіршення точності. Середня епоха каталогу — 1953,2.

Зображення огляду DSS-B [19] було розбито на два масиви: зображення, отримані до 1995 року та після.

По першому масиву було отримано понад 53,5 млн спостережень об'єктів у ділянках, що містять розсіяні скупчення. З цього матеріалу отримано каталог астрометричних положень понад 8,1 млн зір ($12-19^m$), що спостерігалися 3 і більше разів з середнім числом спостережень однієї зірки близько 5,7 разів та СТКП по прямому піднесенню 47 mas та схиленню 53 mas, причому для зір, яскравіших 16^m , також помітно погіршення точності. Середня епоха каталогу — 1988,3, що досить близько до епохи нашого фотографічного каталогу. Розподіл точності по прямому піднесенню та схиленню має деякі залежності в сенсі різниці точності по прямому піднесенню та схиленню, причому картина дещо нагадує поведінку системи у телескопа Мо-

бітел з нуль-пунктом близько екватора. При переміщенні на північ розбіжність точності між обома координатами збільшується.

По другому масиву було отримано понад 11,7 млн спостережень об'єктів у ділянках, що містять розсіяні скупчення. З цього матеріалу отримано каталог астрометричних положень понад 1,1 млн зір ($12-19^m$), що спостерігалися 3 і більше разів з середнім числом спостережень однієї зірки близько 4,3 разів та СТКП по прямому піднесенню 35 mas та схиленню 36 mas, причому для зір, яскравіших 16^m , також помітно погіршення точності. Середня епоха каталогу — 1996,7.

Зображення огляду WISE [20] було розбито на 4 масиви, отримані в різних довжинах хвиль (W1, W2, W3 та W4). Четвертий масив було відкинуто через малу кількість зір та великі похибки. Перші три було оброблено та порівняно їх точність (рис. 3). Покращення точності в зоні слабких зоряних величин для всіх масивів на рисунку демонструє віртуальний, або шумовий, характер об'єктів після граничних зоряних величин масивів, що знаходяться в точках екстремуму. Після цієї зоряної величини значення *сигнал/шум* вже низьке, а кількість об'єктів ще досить велика, що призводить до виникнення псевдо-зір. Також це може частково характери-

зувати рівень шумів в окремих спектральних смугах. Середня епоха усіх каталогів складає 2010,3, що близько до епохи нашого ПЗЗ-каталогу. По масиву W1 отримано близько 140 млн спостережень об'єктів у ділянках, що містять розсіяні скупчення. З цього матеріалу отримано каталог астрометричних положень понад 9 млн зір $(7-19,5)^m$, що спостерігалися 4 і більше разів з середнім числом спостережень однієї зірки близько 14 разів та СТКП по прямому піднесенню 56 mas та схиленню 64 mas.

По W2 отримано понад 123 млн спостережень об'єктів у ділянках, що містять розсіяні скупчення. З цього матеріалу отримано каталог астрометричних положень понад 7,5 млн зір $(7-19,5)^m$, що спостерігалися 4 і більше разів з середнім числом спостережень однієї зірки близько 14 разів та СТКП по прямому піднесенню 74 mas та схиленню 83 mas.

По W3 отримано понад 17,1 млн спостережень об'єктів у ділянках, що містять розсіяні скупчення. З цього матеріалу отримано каталог астрометричних положень близько 1,1 млн зір $(6-17)^m$, що спостерігалися 4 і більше разів з середнім числом спостережень однієї зірки близько 14 раз та СТКП по прямому піднесенню 89 mas та схиленню 106 mas.

Оскільки каталог масиву W3 має найгіршу точність та малу кількість зір, його теж було виключено з подальшого використання для створення каталогу власних рухів зір.

КАТАЛОГ ПОЛОЖЕНЬ ТА ВЛАСНИХ РУХІВ У ДІЛЯНКАХ НАВКОЛО РОЗСІЯНИХ СКУПЧЕНЬ (NAO2015pm)

З обробки зображень, отриманих на різних телескопах у різні епохи, було виведено 8 окремих каталогів на епоху спостережень та рівнодення J2000.0 (див. таблицю) в системі ICRS.

Для створення нового каталогу положень та власних рухів NAO2015pm було розроблено ПЗ, за допомогою якого проводиться пошук спільних зір у різних вхідних каталогах та визначається для них значення власних рухів за допомогою рішення методом найменших квадратів систем рівнянь виду:

$$\begin{aligned}\alpha &= a1 + b1 \times (\text{epoch}-2000); \\ \delta &= a2 + b2 \times (\text{epoch}-2000).\end{aligned}\quad (1)$$

Після рішення системи рівнянь (1) для кожної зірки та знаходження коефіцієнтів $a1$, $b1$, $a2$, $b2$ отримуються їх власні рухи за формулами

$$\begin{aligned}\mu_\alpha &= b1 \times \cos(\delta); \\ \mu_\delta &= b2,\end{aligned}\quad (2)$$

та координати на епоху J2000 за формулами

$$\begin{aligned}\alpha_{2000} &= a1; \\ \delta_{2000} &= a2.\end{aligned}\quad (3)$$

Для підвищення точності визначення власних рухів у програмі було встановлено три обмеження, а саме: зірка мала одночасно входити в каталоги з епохою спостережень до 2000 року та після, мати різницю епох більше трьох років

Проміжні каталоги, використані для створення каталогу положень та власних рухів NAO2015pm

№ пор.	Назва каталогу	Середня епоха, рік	Кількість зірок, млн	Середня точність RA, mas	Середня точність DEC, mas	Масштаб зображення, "/піксель
1	ZON1	1983.6	2,7	93,7	106,3	2,13
2	MBT1	2013.6	4,2	51,5	60,9	0,83
3	MAS1	1998.7	20,2	40,6	40,1	1
4	DNS1	1998.8	3,2	51,8	66,5	0,99
5	DSS1	1953.2	3,0	65,7	70,1	1,7
6	DSS2	1988.3	8,1	46,6	52,9	1,7
7	DSS3	1996.7	1,1	34,6	36,4	1,7
8	WIS1	2010.3	9,1	56,4	64,1	2,75
	Всього		51,6	55,1	62,2	

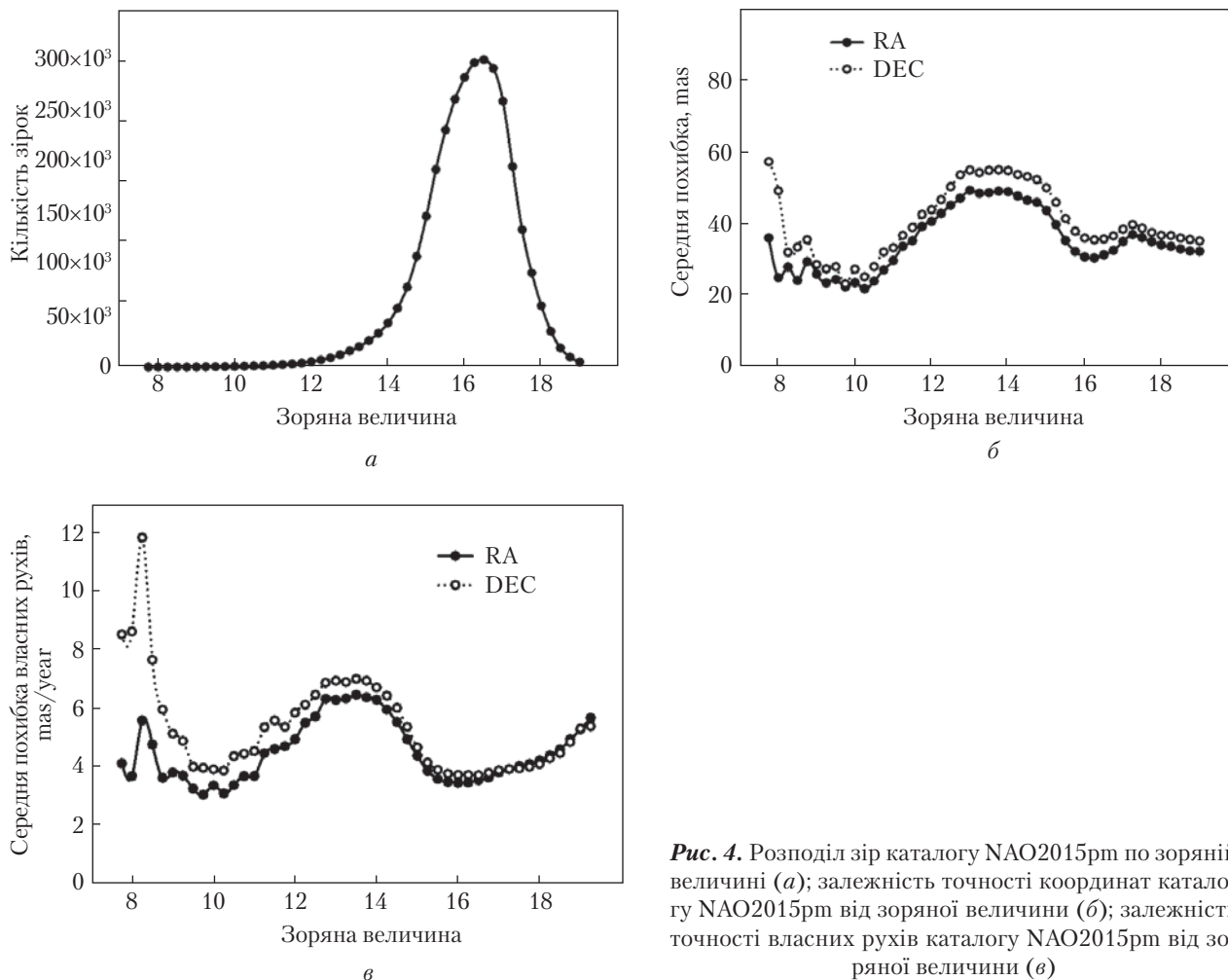


Рис. 4. Розподіл зір каталогу NAO2015pm по зоряній величині (а); залежність точності координат каталогу NAO2015pm від зоряної величини (б); залежність точності власних рухів каталогу NAO2015pm від зоряної величини (в)

між окремими відліками (усі відліки з різницею епох до трьох років усереднювались), а також мати не менше трьох відліків на різні епохи.

За базові зоряні величини зір було прийнято зоряні величини в *R*-смузі. При ототожненні зір з різних каталогів допускались відхилення до 3,5^m відносно середньої зоряної величини та до 2,5" відносно середніх координат. Кожен каталог мав свою граничну зоряну величину для виключення проникнення шумових об'єктів в заключний каталог. У результаті було створено каталог положень, власних рухів та зоряних величин понад 2,3 млн зір (7,5–18,5)^m у прямокутних ділянках розміром приблизно (1 × 1)^o (рис. 4, а), що спостерігалися в трьох і більше

епохах з середнім числом епох спостережень для однієї зірки близько 3,5 та середньою точністю по прямому піднесенню 35 mas та схиленню 40 mas. Залежність точності координат від зоряної величини наведено на рис. 4, б. Гірша середня точність у районі (12–15)^m пов'язана з впливом зірок з фотографічних спостережень. Для каталогу ZON1 (табл.) точність значно погіршується починаючи від 12^m, а після 15^m кількість таких зірок різко зменшується (рис. 1), а для каталогу DSS1 навпаки — точність погіршується для зір, яскравіших 16^m. Координати в каталозі наведені на епоху і рівнодення J2000.0. Зоряна величина в каталозі дається в оціночних цілях, оскільки при створен-

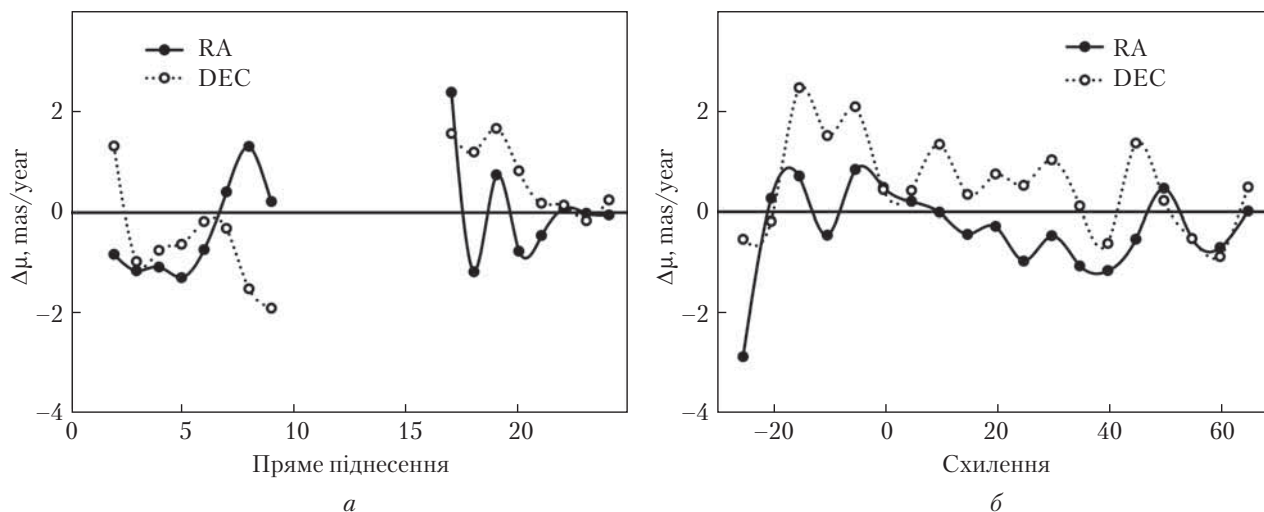


Рис. 5. Розподіл систематичної різниці ($\Delta\mu$) між зірками каталогу NAO2015pm і каталогу XPM по прямому піднесенню (а) та схиленню (б)

ні цієї версії каталогу додаткових фотометричних досліджень не проводилось. Середня точність власних рухів складала по прямому піднесенню приведену до екватора $3,9 \text{ mas/рік}$ та схиленню $4,1 \text{ mas/рік}$. Залежність точності власних рухів від зоряної величини наведено на рис. 4, в. З рисунка видно, що точність власних рухів добре корелює з точністю положень зір у каталозі (рис. 4, б).

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВЛАСНИХ РУХІВ ДЛЯ СПІЛЬНИХ ЗІР МІЖ КАТАЛОГОМ NAO2015pm І КАТАЛОГАМИ ТУШО2 ТА ХРМ

Зовнішнє порівняння власних рухів зір (ВРЗ) нашого каталогу NAO2015pm було виконано з використанням каталогів Tucho2 і ХРМ та власного ПЗ. Середня різниця між спільними зірками NAO2015pm і ХРМ складала близько $-0,3 \pm 9,4 \text{ mas/рік}$ по прямому піднесенню та $+0,5 \pm 10,1 \text{ mas/рік}$ по схиленню; ототожнено понад 1,3 млн спільних пар зір. Для порівняння різниця ВРЗ між спільними зірками NAO2015pm і Tucho2 складала близько $+0,3 \pm 6,1 \text{ mas/рік}$ по прямому піднесенню і $+2,0 \pm 6,7 \text{ mas/рік}$ по схиленню; ототожнено 24 тис. спільних зір. Розподіл систематичної різниці між NAO2015pm і ХРМ наведено на рис. 5 між

NAO2015pm та Tucho2 на рис. 6. Усереднення проводилося через 1 год по прямому піднесенню і через 5° по схиленню. Каталог NAO2015pm має кращу систематичну різницю ВРЗ з ХРМ, ніж з Tucho2. Відсутність даних у діапазоні прямих піднесенень від 9 до 17 год пов'язано з відсутністю в НДІ «МАО» спостережень на схиленнях нижче -20° .

Також було досліджено лінійну кореляцію ВРЗ NAO2015pm з ВРЗ Tucho2 та ХРМ. У цьому випадку каталог NAO2015pm показав кращу кореляцію з каталогом Tucho2, ніж ХРМ, що пов'язано з більш яскравими зірками у виборці NAO2015pm + Tucho2. Кореляція з ХРМ погіршується для схилення менше 5° . Якщо виключити цю область, то коефіцієнти лінійної кореляції (КЛК) ВРЗ складають $0,66$ по прямому піднесенню та схиленню. КЛК ВРЗ NAO2015pm та Tucho2 для цієї ж зони складають відповідно $0,69$ та $0,75$.

Друге порівняння ВРЗ було виконано за допомогою програми «TopCat». Спочатку було отримано файл, що містить 23 721 пар спільних зір для двох каталогів — NAO2015pm та Tucho2. Після цього був проведений порівняльний аналіз для цих пар спільних зір та отримані КЛК ВРЗ по прямому піднесенню

$r = 0,74$ та схиленню $r = 0,78$. Також були отримані рівняння лінійної кореляції ВРЗ по прямому піднесенню та схиленню для пар спільних зір:

$$\begin{aligned} \mu_{\alpha 2} &= 0,66 \times \mu_{\alpha 1} - 0,25; \\ \mu_{\delta 2} &= 0,69 \times \mu_{\delta 1} - 2,8, \end{aligned} \quad (4)$$

де $\mu_{\alpha 1}$ – ВРЗ по прямому піднесенню у каталозі НДІ «МАО»; $\mu_{\alpha 2}$ – ВРЗ по прямому піднесенню у каталозі Tycho2; $\mu_{\delta 1}$ – ВРЗ по схиленню у каталозі НДІ «МАО»; $\mu_{\delta 2}$ – ВРЗ по схиленню у каталозі Tycho2.

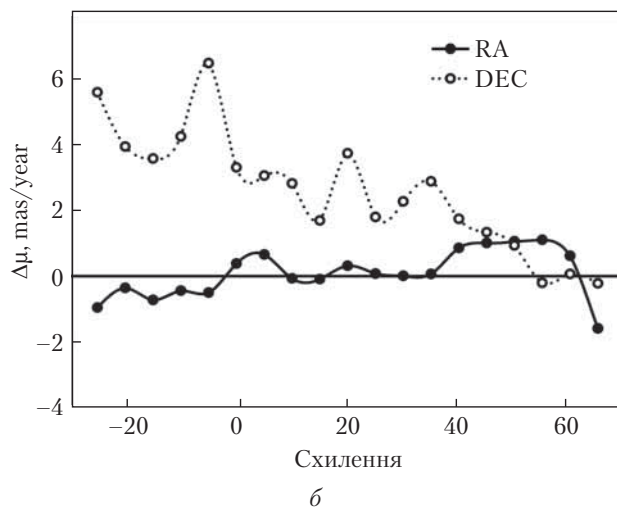
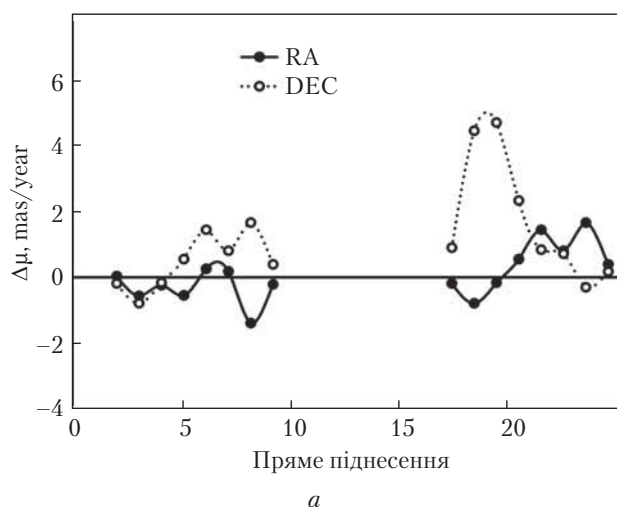


Рис. 6. Розподіл систематичної різниці ($\Delta\mu$) між зірками каталогу NAO2015pm і каталогу Tycho2 по прямому піднесенню (а) та схиленню (б)

Для аналізу в «TopCat» ВРЗ у каталогах NAO2015pm та XPM також було отримано файл, що містить 1 400 480 пар спільних зір в діапазоні схилень від 10 до 60° . Після цього було проведено порівняльний аналіз та отримані КЛК ВРЗ по прямому піднесенню $r = 0,63$ та схиленню $r = 0,63$ для всіх спільних зір. Також було отримано рівняння лінійної кореляції ВРЗ по прямому піднесенню та схиленню для пар спільних зір:

$$\begin{aligned} \mu_{\alpha 2} &= 0,76 \times \mu_{\alpha 1} + 0,01; \\ \mu_{\delta 2} &= 0,70 \times \mu_{\delta 1} - 0,85, \end{aligned} \quad (5)$$

де $\mu_{\alpha 1}$ – ВРЗ по прямому піднесенню у каталозі НДІ «МАО»; $\mu_{\alpha 2}$ – ВРЗ по прямому піднесенню у каталозі XPM; $\mu_{\delta 1}$ – ВРЗ по схиленню у каталозі НДІ «МАО»; $\mu_{\delta 2}$ – ВРЗ по схиленню у каталозі XPM.

ВИСНОВКИ

Отримано декілька сотень мільйонів оригінальних координат зір у зоні $\pm 20^\circ$ відносно галактичної площини з різницею середніх епох від 25 до 60 років, які були використані для визначення власних рухів. З обробки зображень, отриманих з реєстрів МАВО отримано шість каталогів положень зір $(7-19)^m$ на різні середні епохи від 1953 до 2010 року з загальною кількістю зір понад 50 млн на СТКП каталогів від $0,03''$ до $0,07''$.

Створено нові власні каталоги положень: 2,7 млн зір $(7-16)^m$ на середню епоху J1983,2 і рівнодення J2000 на основі фотографічних спостережень та 4,2 млн зір $(8-17)^m$ на середню епоху 2013,6 і рівнодення J2000 на основі ПЗЗ-спостережень.

Виведено каталог положень та власних рухів понад 2,3 млн зір до 18^m у 544 вибраних ділянках з розсіяними скупченнями з використанням високоточних сучасних спостережень та фотографічних спостережень другої половини ХХ століття. Середня точність каталожних положень по обох координатах для різних зоряних величин склала від $0,02''$ до $0,05''$, середня точність власних рухів склала приблизно $0,004''/\text{рік}$ по обох координатах.

Точність отриманих координат та власних рухів відповідає світовому рівню точності для наземних спостережень. Каталог також включає зорі розсіяних скупчень Галактики, що дає змогу уточнення їх зоряного населення та середніх власних рухів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Dias W.S., Alessi B.S., Moitinho A., Lepine J.R.D. New catalogue of optically visible open clusters and candidates. *A&A*. 2002. No. 389. P. 871–873.
2. Protsyuk Y., Mazhaev A., Kovylianska O. Plate archive of Nikolaev Astronomical Observatory: digitization, databases, image processing and results of current research. *Proceedings Astroplate 2014*. 2014. ISBN: 978-80-7080-918-1. P. 131–134.
3. Mazhaev A., Protsyuk Yu. Development of Mykolaiv Virtual Observatory. *Odessa Astronomical Publications*. 2013. V. 26, No. 2. P. 233–235.
4. Protsyuk Yu.I., Kovylianska O.E., Protsyuk S.V., Andruk V.N. Results of Processing of Astronegatives with Commercial Scanner. *Odessa Astronomical Publications*. 2014. V. 27, No. 1. P. 63–64.
5. Andruk V.M., Vidmachenko A.P., Ivashchenko Yu.M. Processing of CCD frames of images of star fields without the frame of a flat field using new software in program shell of MIDAS/ROMAFOT. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Suppl.* 2005. No. 5. P. 413–416.
6. Андрук В.Н., Иванов Г.А., Погорельцев М.Т., Яценко А.И. Об использовании сканера для определения координат и фотометрии звёзд на пластинках программы ФОН. *Кинематика и физика небесных тел*. 2005. № 5. С. 396–400.
7. Андрук В.М., Бутенко Г.З., Яценко А.И. Фотометрія платівок, оцифрованих сканером Microtek ScanMaker 9800XL TMA. *Кинематика и физика небес.тел*. 2010. Т. 26, № 3. С. 75–81.
8. Protsyuk Yu.I., Andruk V.N., Kazantseva L.V. Software for Processing of Digitized Astronegatives from Archives and Databases of Virtual Observatory. *Odessa Astronomical Publications*. 2014. V. 27, No. 1. P. 59–60.
9. Protsyuk Yu.I., Martynov M.V., Mazhaev A.E., Kovylianska O.E., Protsyuk S.V., and Andruk V.N. Compiling Catalogs of Stellar Coordinates and Proper Motions via Coprocessing of Archival Photographic and Modern CCD Observations. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. 2014. V. 30, No. 6, P. 296–303.
10. Kazantseva L.V., Shatokhina S.V., Protsyuk Yu.I., Kovylianska O.E., Andruk V.M.. Processing results of digitized photographic observations of Pluto from the collections of the Ukrainian Virtual Observatory. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. 2015. V.31, No. 1. P. 37–54.
11. Protsyuk Yu., Andruk V., Mazhaev A., Kovylianska O., Protsyuk S., Golovnyia V. Determination of proper motions of circumpolar stars by using images from UkrVO plate archives. *Odessa Astronomical Publications*. 2015. V. 28, No. 2, P. 202–204.
12. Шульга А.В., Козырев Е.С., Сибирякова Е.С., Халалей М.И., Чернозуб В.М. Мобильный комплекс телескопов НИИ НАО для наблюдений объектов околоземного космического пространства. *Космична наука і технологія*. 2012. Т. 18, № 4. С. 52–58.
13. Zacharias N., Finch C. T., Girard T. M., Henden A., Bartlett J. L., Monet D. G., Zacharias M. I. The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4). *AJ*. 2013. No. 145, P. 44.
14. *Astrometrica 2016*. URL: <http://www.astrometrica.at/>.
15. Protsyuk Yu.I., Kovalchuk A.N. Creation of large catalogues by using of virtual observatories. *Odessa Astronomical Publications*. 2015. Vol. 28, No. 2, P. 207–211.
16. *Aladin Images*. Server 2016. URL: <http://aladin.u-strasbg.fr>.
17. Skrutskie, M.F.; Cutri, R.; Stiening, R.; Weinberg, M.D.; Schneider, S.; Carpenter, J.M.; Beichman, C.; Capps, R.; Chester, T.; Elias, J.; Huchra, J.; Liebert, J.; Lonsdale, C.; Monet, D. G.; Price, S.; Seitzer, P.; Jarrett, T.; Kirkpatrick, J.D.; Gizis, J.E.; Howard, E.; Evans, T.; Fowler, J.; Fulmer, L.; Hurt, R.; Light, R.; Kopan, E.L.; Marsh, K.A.; McCallon, H.L.; Tam, R.; Van Dyk, S.; Wheelock, S. The Two Micron All Sky Survey (2MASS). *AJ*. 2006. No. 131. P. 1163–1183.
18. *VizieR Online Data Catalog: The DENIS database* (DENIS Consortium, 2005). 2016. URL: http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3?source=B/denis&-out.max=50&-out.form=HTML%20Table&-out.add=_r&-out.add=_RAJ,_DEJ&-sort=_r&-oc.form=sex.
19. Lasker B.M., McLean B.J., Shara M.M., Bucciarelli B., Burg R., Jenkner H., Laidler V.G., Lattanzi M.G., Richter O.G., Siciliano E.D., Sturch C.R., Taff L.G. Sky surveys: the STScI program for the 1990s. *Bull. Inf. Centre Donnees Stellaires*. 1989. No. 37. P. 15.
20. Lasker B.M., Doggett J., McLean B., Sturch C., Djorgovski S., de Carvalho R.R., Reid I.N. The Palomar-ST ScI Digitized Sky Survey (POSS-II): Preliminary Data Availability. *Astronomical Data Analysis Software and Systems V* (ASP Cnf. Ser., Vol. 101, Eds. G.H. Jacoby, J. Barnes). San Francisco, Calif.: Astron. Soc. of the Pacific, 1996. P. 88.
21. Faherty, Jacqueline K.; Alatalo, K.; Anderson, L.D.; Assef, Roberto J.; Bardalez Gagliuffi, Daniella C.; Barry, Megan; Benford, Dominic J.; Bilicki, Maciej; Burningham, Ben; Christian, Damian J.; Cushing, Michael C.; Eisenhardt, Peter R.; Elvis, Martin; Fajardo-Acosta, S.B.; Finkbeiner, Douglas P.; Fischer, William J.; Forrest, William J.; Fowler, John; Gardner, Jonathan P.; Gelino, Christopher R.; Gorjian, V; Grillmair, Carl J.; Gromadzki, Mariusz; Hall, Kendall P.; Ivezić, Zeljko; Izumi, Natsuko; Kirkpat-

rick, J. Davy; Kovács, András; Lang, Dustin; Leisawitz, David; Liu, Fengchuan; Mainzer, A.; Malek, Katarzyna; Marton, Gábor; Masci, Frank J.; McLean, Ian S.; Meisner, Aaron; Nikutta, Robert; Padgett, Deborah L.; Patel, Rahul; Rebull, L.M.; Rich, J.A.; Ringwald, Frederick A.; Rose, Marvin; Schneider, Adam C.; Stassun, Keivan G.; Stern, Daniel; Tsai, Chao-Wei; Wang, Feige; Weston, Madalyn E.; Edward, L.; Wright; Wu, Jingwen; Yang, Jinyi. *Results from the Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE) Future Uses Session at the WISE at 5 Meeting*. 2015. URL: <http://arxiv.org/abs/1505.01923>.

REFERENCE

- Dias W.S., Alessi B.S., Moitinho A., Lepine J.R.D. New catalogue of optically visible open clusters and candidates. *A&A*. 2002. 389: 871–873.
- Protsyuk Y., Mazhaev A., Kovylianska O. Plate archive of Nikolaev Astronomical Observatory: digitization, databases, image processing and results of current research. *Proceedings Astroplate 2014*. 2014. ISBN: 978-80-7080-918-1: 131–134.
- Mazhaev A., Protsyuk Yu. Development of Mykolaiv Virtual Observatory. *Odessa Astronomical Publications*. 2013. 26(2): 233–235.
- Protsyuk Yu.I., Kovylianska O.E., Protsyuk S.V., Andruk V.N. Results of Processing of Astronegatives with Commercial Scanner. *Odessa Astronomical Publications*. 2014. 27(1): 63–64.
- Andruk V.M., Vidmachenko A.P., Ivashchenko Yu.M. Processing of CCD frames of images of star fields without the frame of a flat field using new software in program shell of MIDAS/ROMAFOT. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Suppl.* 2005. 21(5): 413–416.
- Andruk V.N., Ivanov G.A., Pogoreltsev M.T., Yatsenko A.I. On application of a scanner for determination of coordinates and photometric characteristics of stars from FON program plates. *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel (Kinematics and Physics of Celestial Bodies)*. 2005. 21(5): 396–400 [in Russian].
- Andruk V.M., Butenko G.Z., Yatsenko A.I. Photometry of plates digitized using MICROTEK SCANMAKER 9800XL TMA scanner. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. 2010. 26(3): 146–150.
- Protsyuk Yu.I., Andruk V.N., Kazantseva L.V. Software for Processing of Digitized Astronegatives from Archives and Databases of Virtual Observatory. *Odessa Astronomical Publications*. 2014. 27(1): 59–60.
- Protsyuk Yu.I., Martynov M.V., Mazhaev A.E., Kovylianska O.E., Protsyuk S.V., and Andruk V.N. Compiling Catalogs of Stellar Coordinates and Proper Motions via Coprocessing of Archival Photographic and Modern CCD Observations. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. 2014. 30(6): 296–303.
- Kazantseva L.V., Shatokhina S.V., Protsyuk Yu.I., Kovylianska O.E., Andruk V.M. Processing results of digitized photographic observations of Pluto from the collections of the Ukrainian Virtual Observatory. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. 2015. 31(1): 37–54.
- Protsyuk Yu., Andruk V., Mazhaev A., Kovylianska O., Protsyuk S., Golovnya V. Determination of proper motions of circumpolar stars by using images from UkrVO plate archives. *Odessa Astronomical Publications*. 2015. 28(2): 202–204.
- Shulga A.V., Kozyryev Ye.S., Sybiryakova Ye.S., Halailey M.I., Chernozub V.M. Mobile complex of RI NAO telescopes for observation of objects in near Earth space. *Kosmichna Nauka i Tekhnologiya (Space Science and Technology)*. 2012. 18(4): 52–58 [in Russian].
- Zacharias N., Finch C.T., Girard T.M., Henden A., Bartlett J.L., Monet D.G., Zacharias M.I. The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4). *AJ*. 2013. No. 145, P. 44.
- Astrometrica* [Electronic resource]. 2016. Available: URL: <http://www.astrometrica.at/>.
- Protsyuk Yu.I., Kovalchuk A.N. Creation of large catalogues by using of virtual observatories. *Odessa Astronomical Publications*. 2015. 28(2): 207–211.
- Aladin Images Server* [Electronic resource]. 2016. Available: URL: <http://aladin.u-strasbg.fr>.
- Skrutskie, M.F.; Cutri, R.M.; Stiening, R.; Weinberg, M.D.; Schneider, S.; Carpenter, J.M.; Beichman, C.; Capps, R.; Chester, T.; Elias, J.; Huchra, J.; Liebert, J.; Lonsdale, C.; Monet, D.G.; Price, S.; Seitzer, P.; Jarrett, T.; Kirkpatrick, J.D.; Gizis, J.E.; Howard, E.; Evans, T.; Fowler, J.; Fullmer, L.; Hurt, R.; Light, R.; Kopan, E.L.; Marsh, K.A.; McCallon, H.L.; Tam, R.; Van Dyk, S.; Wheelock, S. The Two Micron All Sky Survey (2MASS). *AJ*. 2006. 131: 1163–1183.
- VizieR Online Data Catalog: The DENIS database (DENIS Consortium, 2005)* [Electronic resource]. 2016. Available: URL: http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=B/denis&-out.max=50&-out.form=HTML%20Table&-out.add=_r&-out.add=_RAJ,_DEJ&-sort=_r&-oc.form=sexa.
- Lasker B.M., McLean B.J., Shara M.M., Bucciarelli B., Burg R., Jenkner H., Laidler V.G., Lattanzi M.G., Richter O.G., Siciliano E.D., Sturch C.R., Taff L.G. Sky surveys: the STScI program for the 1990s. *Bull. Inf. Centre Donnees Stellaires*. 1989. 37: 15.
- Lasker B.M., Doggett J., McLean B., Sturch C., Djorgovski S., de Carvalho R.R., Reid I.N. The Palomar-ST ScI Digitized Sky Survey (POSS-II): Preliminary Data Availability. *Astronomical Data Analysis Software and Systems V (ASP Cnf. Ser., Vol. 101, Eds. G.H. Jacoby, J. Barnes)*. San Francisco, Calif.: Astron. Soc. of the Pacific, 1996. 88.
- Faherty, Jacqueline K.; Alatalo, K.; Anderson, L.D.; Assef, Roberto J.; Bardalez Gagliuffi, Daniella C.; Barry, Me-

gan; Benford, Dominic J.; Bilicki, Maciej; Burningham, Ben; Christian, Damian J.; Cushing, Michael C.; Eisenhardt, Peter R.; Elvisx, Martin; Fajardo-Acosta, S.B.; Finkbeiner, Douglas P.; Fischer, William J.; Forrest, William J.; Fowler, John; Gardner, Jonathan P.; Gelino, Christopher R.; Gorjian, V; Grillmair, Carl J.; Gromadzki, Mariusz; Hall, Kendall P.; Ivezić, Zeljko; Izumi, Natsuko; Kirkpatrick, J. Davy; Kovács, András; Lang, Dustin; Leisawitz, David; Liu, Fengchuan; Mainzer, A.; Malek, Katarzyna; Marton, Gábor; Masci, Frank J.; McLean, Ian S.; Meisner, Aaron; Nikutta, Robert; Padgett, Deborah L.; Patel, Rahul; Rebull, L.M.; Rich, J.A.; Ringwald, Frederick A.; Rose, Marvin; Schneider, Adam C.; Stassun, Keivan G; Stern, Daniel; Tsai, Chao-Wei; Wang, Feige; Weston, Madalyn E.; Edward L.; Wright; Wu, Jingwen; Yang, Jinyi. Results from the Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE) Future Uses Session at the WISE at 5 Meeting [Electronic resource]. 2015. *ArXiv*. Available: URL: <http://arxiv.org/abs/1505.01923>.

Yu. Protsyuk, A. Kovalchuk, A. Mazhaev

Research Institute «Mykolaiv Astronomical Observatory»,
1, Observatorna Str., Mykolaiv, 54030, Ukraine,
tel. +38 (0512) 47-70-14

CATALOGUE OF POSITIONS
AND PROPER MOTIONS OF STARS
IN THE VICINITY OF OPEN CLUSTERS

In the Research Institute «Mykolaiv Astronomical Observatory» (RI «MAO») the catalogue of position and proper motions of stars in the 544 square areas of nearly $(1 \times 1)^\circ$ around the Galactic open clusters was created using photographic and CCD observations. 293 plates of $(5 \times 5)^\circ$ obtained with the MAO Zonal Astrograph ($D=116$ mm, $F=2040$ mm) in 1962–1993 and more than 20 thousands CCD frames $(0.7 \times 0.7)^\circ$ obtained with KT-50 telescope ($D=500$ mm, $F=3000$ mm) in 2011–2015 were used. Almost 270 thou-

sands FITS files from the IVOA image archives with observational epoch from 1953 to 2010 were downloaded and processed. The created catalogue contains more than 2.3 million stars $(7.5–18.5)^m$ in the ICRS system with the accuracy of positions on both coordinates ranged from $0.02''$ to $0.05''$. Inner accuracy of proper motions is $\sim 0.004''/\text{year}$.

Keywords: CCD-observations, open clusters, catalogue of positions and proper motions of stars.

Ю.И. Процюк, А.Н. Ковальчук, А.Э. Мажаяев

Научно-исследовательский институт
«Николаевская астрономическая обсерватория»,
ул. Обсерваторная, 1, Николаев, 54030, Украина,
+38 (0512) 56-40-40

КАТАЛОГ ПОЛОЖЕНИЙ И СОБСТВЕННЫХ
ДВИЖЕНИЙ ЗВЕЗД В ОКРЕСТНОСТЯХ
РАССЕЯННЫХ СКОПЛЕНИЙ

В НИИ «НАО» создан каталог NAO2015рп положений и собственных движений звезд в 544-х прямоугольных площадках размером приблизительно $(1 \times 1)^\circ$ вокруг рассеянных скоплений с использованием фотографических и ПЗС-наблюдений. Для этого было использовано 293 пластинки $(5 \times 5)^\circ$, полученных на зонном астрографе «НАО» ($D=116$ мм, $F=2040$ мм) в 1962–1993 гг., и более 20 тыс. ПЗС-кадров $(0,7 \times 0,7)^\circ$, полученных на телескопе КТ-50 ($D=500$ мм, $F=3000$ мм) в 2011–2015 гг. Также были обработаны около 270 тыс. файлов изображений из баз данных Международного альянса виртуальных обсерваторий с эпохами наблюдений от 1953 до 2010 гг. Каталог NAO2015рп включает более 2,3 млн звезд $(7,5–18,5)^m$ в системе ICRS со средней точностью положений $(0,02–0,05)''$. Средняя внутренняя точность собственных движений — $\sim 0,004''/\text{год}$.

Ключевые слова: ПЗС-наблюдения, рассеянные скопления, каталог положений и собственных движений звезд.

Стаття надійшла до редакції 21.11.16