

S. Shatokhina, Researcher,
V. Golovnia, Researcher,
V. Andruk, Researcher,
MAO NAS of Ukraine, Kyiv

ASTEROIDS SEARCHING, REDISCOVERY AND ORBIT CORRECTION WITH UKRVO RESOURCES

Modern approach to processing early photographic observations from Joint Digital Archive of Ukrainian Virtual Observatory (UkrVO) with new technologies can be an effective instrument for rediscovery of asteroids and correction their orbits. Using of techniques digitization of astronegatives and further processing of observations of Northern Sky Survey (FON) and of other projects are applied for broad search for images of minor planets. From analysis of 93 plates of the 8 zone FON we obtained 150 positions and B-magnitudes of asteroids. Analysis of the differences (O–C) was made.

Keywords: UkrVO, minor planets.

С. Шатохіна, науч. сотр.,
В. Головня, науч. сотр.,
В. Андрук, науч. сотр.,
Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев

РЕСУРС УКРВО ДЛЯ ЗАДАЧ ПОИСКА, ПЕРЕОТКРЫТИЯ И УТОЧНЕНИЯ ОРБИТ АСТЕРОИДОВ

Ядром Украинской виртуальной обсерватории (УкрВО) является объединенный цифровой архив наблюдений, проведенных в течении двадцатого века в обсерваториях Украины. По данным результатов сканирования и обработки нескольких тысяч пластин наблюдательных программ ФОН, ОРБИТА получено более 150 положений и звездных величин астероидов. Разработанная и внедренная в ГАО НАН Украины технология обработки цифровых изображений позволяет добиться высокой точности результатов. Предварительный анализ полученных данных указывает на целесообразность использования фотографических наблюдений прошлых 1950–1990 годов.

Ключевые слова: УкрВО, малые планеты.

УДК 523.45/.48, 52-14

О. Їжакевич, молодш. наук. співроб.,
В. Андрук, наук. співроб.,
Л. Пакуляк, канд. фіз.-мат. наук,
Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ;
В. Лук'ячук, магістр,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ФОТОГРАФІЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ВЕЛИКИХ ПЛАНЕТ ТА ЇХ СУПУТНИКІВ У ГАО НАН УКРАЇНИ В 1961–1990 рр.

У межах національного проекту "Українська віртуальна обсерваторія" проведено роботи зі створення каталогів астрономічних положень і зоряних величин великих планет та їх супутників на базі фотографічних спостережень, виконаних у ГАО НАН України за допомогою чотирьох телескопів упродовж 1961–1990 р. Завдяки програмному комплексу, розробленому в ГАО для редукції оцифрованих астронегативів, виконано редукцію спостережень супутників Сатурна (S2–S9), а також Урана, Нептуна та їх супутників U1–U4, N1. За опорну систему слугувала система зоряного каталогу TYCHO2. Внутрішня точність визначення положень становить ± 0.09 – ± 0.25 arcsec. На даний час виконується аналогічна редукція рядів фотографічних спостережень Нептуна, Урана та їх супутників, що були отримані в ГАО за цей самий період.

Ключові слова: каталоги, тіла Сонячної Системи, Сатурн, Уран, Нептун.

Вступ. База даних фотографічних спостережень DBGPA, налічує значну кількість платівок з тілами Сонячної Системи. Частково ці спостереження опрацьовувалися раніше в міру їх накопичення з прив'язкою до різних каталожних систем [1–5]. Ми поставили собі за мету – переопрацювати ці спостереження на сучасному рівні із залученням єдиної опорної системи каталогу TYCHO-2 [6–8, 14]. Завдяки комплексу програм, розробленому у відділі астрометрії та відлагоджених в операційній системі LINUX-MIDAS-ROMAFOT, була виконана редукція цих спостережень.

Основні ряди спостережень були отримані безпосередньо в ГАО у 1961–1984 р. за допомогою двох астрографів: DLFA (D/F=40/550) та DWA (D/F = 40/200). Окрім того, в експедиційних умовах (в Узбекистані), отримано декілька коротких рядів фотографічних спостережень за допомогою астрографа Цейса DAZ (D/F=40/300) і рефлектора Z600. Табл. 1 дає більш детальну інформацію про параметри телескопів та фотоматеріали.

Таблиця 1

Деякі характеристики спостережного матеріалу

Telescope	F, mm	Scale, "/mm	Field, deg	Size, mm	Bandwidth	Type, emulsion
DLFA I	5500	38.47	2.5x2.5	240x240	Bph	Agfa Astro, ORWO-ZU21, -ZU2
DLFA II	5500	38.47	1.8x2.5	160x240	Vph	ORWO-NP27
DWA I, II	2000	103.13	8.0x8.0	300x300	Bph	ORWO-ZU21
DAZ I, II	3000	68.80	5.5x5.5	300x300	Bph	ORWO-ZU21
Z-600	7500	27.5	0.5x0.5	90x120	Bph	ORWO-ZU21, -ZU2 ORWO-NP27

Супутники Сатурна. З архіву Баз даних фотографічних спостережень DBGPA було вибрано понад 250 фотопластинок із можливими зображеннями головних супутників Сатурна (S2–S9). Рациональна конструкція Баз даних сприяла зручному пошуку та вибору потрібної інформації. Усі спостереження виконано силами співробітників ГАО. На рис. 1 показано активність і результативність окремих спостерігачів за цей період. Методика фотографічних спо-

стережень супутників Сатурна полягала в тому, що на одну й ту саму платівку експонували декілька знімків різної тривалості від декількох секунд до декількох хвилин. При цьому платівку зміщували у певному напрямку, зазвичай повздовж меридіана. Такий підхід збільшував шанс виявити слабкі та близькі до Планети супутники. Основними визначальними факторами при пошуку і виявленню супутників на астронегативах є масштаб телескопа, відстань супутника від Планети на даний момент, а також світлосила інструмента. Найпродуктивнішими виявилися спостереження супутників Сатурна на астрографі DLFA, масштаб якого та роздільна здатність сприяли впевненому визначенню положень супутників S2, S3, S4, S5, S6, S8. На ширококутному астрографі DWA, на жаль, успішними виявилися спостереження тільки двох супутників S6 та S8. Короткотривалий ряд 1986 р. на астрографі DAZ (Кітаб) виявився не дуже успішним через несприятливе розташування супутників. Спостереження у 1990 р. на рефлекторі Z600 підтвердили доцільність застосування рефлекторів для розв'язку астрометричних задач. На рис. 2 показано розподіл спостережень супутників Сатурна упродовж 30 років на різних телескопах.

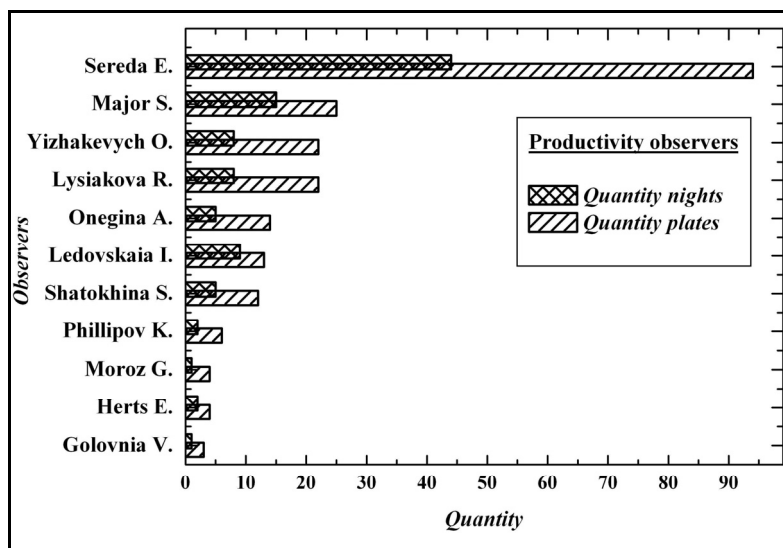


Рис. 1. Активність спостерігачів

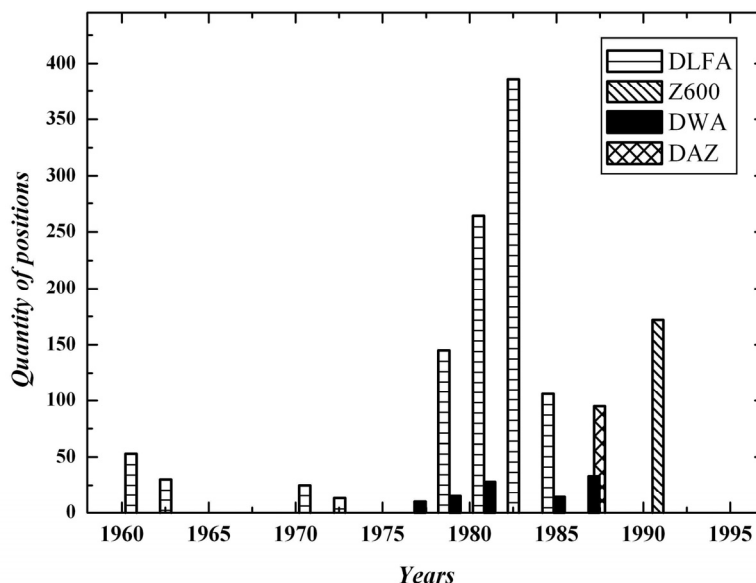


Рис. 2. Розподіл спостережень супутників Сатурна впродовж 30 років

Сучасний рівень космічних досліджень вимагає і сучасних методів виявлення та опрацювання добутої інформації. Новизна методики полягає в тому, що ми маємо справу не із самою фотографічною платівкою, а з її оцифрованим аналогом. Оцифровка платівок здійснювалася на сканері Epson Expression 10000XL (EE) у сірому діапазоні 16 bits з роздільною здатністю 1200 dpi [9–13]. Зв'язок між двома системами, системою прямокутних координат X,Y та сферичних α , δ , як відомо, визначається нескінченним степеневим рядом, члени якого залежать від багатьох факторів. Обчислення за цими формулами можливе лише після прийняття певних обмежень щодо кількості членів степеневого ряду. Варіюючи цією кількістю, ми отримуємо результат з різним рівнем точності. Чим більше каталожних зірок потрапляє на платівку, тим точніше можна здійснити зв'язок між двома координаційними системами.

Спостережний матеріал було отримано за допомогою телескопів з різними характеристиками, з різною кількістю каталожних зірок, що потрапляють на платівки. Тому і кількість членів редуційних формул індивідуальна для кожно-

го телескопу. При редукції спостережень на астрографі DWA (середня кількість зір на платівці $n \approx 610$) та астрографі DAZ (середня кількість зір $n \approx 142$) застосовувався поліном шостого ступеня (27 членів). Редукція спостережень з телескопа DLFA ($n \approx 75$) здійснювалася із застосуванням полінома третього ступеня, а спостереження, отримані на рефлекторі Z600 ($n \approx 16$) оброблялися за лінійною моделлю.

Про внутрішню точність редукції фотографічних спостережень супутників Сатурна свідчать дані таблиці 2, де по кожному телескопу наведено імена супутників, кількість ночей спостережень, кількість отриманих платівок та знімків, а також кількість визначених астрометричних положень. В останніх чотирьох стовпчиках таблиці наведено відомості про середньо квадратичні похибки RMS визначення фотографічної зоряної величини, екваторіальних координат α та δ , а також – середнє значення кількості опорних зірок на пластинці.

Таблиця 2.

Результати редукції спостережень супутників Сатурна по кожному телескопу. Внутрішня точність редукції

	Saturn's satellites	Quantity of				RMS of			N Ref. stars
		nights	plates	Snapshots	Positions	Bph	Alpha	Delta	
DLFA	S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8	62	138	344	1017	± 0.27	± 0.09	± 0.09	75
DWA	S4 S5 S6 S8	14	30	69	101	± 0.27	± 0.23	± 0.22	610
DAZ	S4 S5 S6 S8	7	8	32	95	± 0.34	± 0.09	± 0.10	142
Z600	S3 S4 S5 S6 S7 S8 S9	9	33	66	172	± 0.37	± 0.09	± 0.11	16
	Σ	92	209	511	1385				

Завершальним етапом редукції є обчислення сферичних координат усіх об'єктів на знімку та пошук серед них супутників Сатурна. Для цього були підготовлені так звані пошукові файли з уточненими моментами (UTC) часу експонування та відповідними передбачуваними координатами об'єктів спостережень.

За допомогою ефемеридних даних IMCCE (теорія TASS 1.7) (<http://lnm1.sai.msu.ru/neb/nss/nssephmr.htm>) і завдяки засобам обчислення ефемерид М.В. Смельянова для всіх моментів експозицій були визначені (O-C), їх середні значення та похибки середнього (табл. 3). При цьому виявлялися та вилучалися знімки з безрезультатними спостереженнями.

Таблиця 3

Результати редукції спостережень по кожному супутнику Сатурна. Порівняння з теорією

Saturn's satellites	Vmg	N nights	N posit.	(O-C) α , arcsec	(O-C) δ , arcsec
S2 Enceladus	11.7	6	12	0.48 ± 0.20	0.16 ± 0.14
S3 Tethys	10.3	20	96	-0.01 ± 0.06	0.10 ± 0.04
S4 Dione	10.4	40	184	0.07 ± 0.03	0.07 ± 0.03
S5 Rhea	9.7	57	269	0.15 ± 0.03	0.07 ± 0.03
S6 Titan	8.3	84	435	0.09 ± 0.02	-0.03 ± 0.02
S7 Hiperion	14.2	8	13	-0.04 ± 0.13	0.10 ± 0.18
S8 Japetus	12	78	375	0.11 ± 0.02	0.04 ± 0.02
S9 Phoebe	16.4	1	1	0.44	-0.27

Урана та Нептуна, редукція спостережень. Спостереження Урана, Нептуна та їх супутників були виконані за допомогою трьох телескопів: DLFA, DWA, Z600 майже одночасно зі спостереженнями Сатурна (1963–1990 р.) Параметри телескопів дозволили виявити 4 супутника Урана (U1, U2, U3, U4) та один супутник Нептуна (N1). Методика редукції цих спостережень подібна до редукції спостережень супутників Сатурна, про які розповідалося вище. Суттєвою різницею є різниця в довжині експозицій – від декількох хвилин до 15–18 хв. У табл. 4 представлено результати редукції по Урану, його чотирьох супутниках (U1,U2,U3,U4), а в табл. 5 – результати по Нептуну та Тритону(N1). У другому стовпчику ліворуч наведено середнє значення обчисленої фотографічної зоряної величини Bph, а в 4-му та 5-му стовпчиках наведено середні значення O-C при порівнянні з теорією DE431 (IMCCE) і похибки цих середніх.

Таблиця 4

Результати редукції фотографічних спостережень Урана та його супутників. (U1-U4). Внутрішня точність редукції

	Bph	N posit	N pates	(O-C) α arcsec	(O-C) δ arcsec	RMS of			N Ref. stars
						Bph	Alpha	Delta	
U1 Ariel, Z600	12.1	3	3	-0.30 ± 0.68	0.78 ± 0.42	0.43	0.13	0.13	16
U2 Umbriel, Z600	12.6	8	6	-0.16 ± 0.30	0.31 ± 0.14	0.47	0.11	0.12	16
U3 Titania, Z600	12.6	22	15	0.04 ± 0.11	0.12 ± 0.07	0.28	0.08	0.12	17
U4 Oberon, Z600	12.8	22	15	-0.09 ± 0.12	0.10 ± 0.10	0.32	0.08	0.12	17
U4 Oberon, DWA	12.5	1	1	0.01	-0.61	0.27	0.10	0.11	1260
All satellits		56							
Uranus, DLFA	9.1	9	7	0.90 ± 0.20	-0.23 ± 0.27	0.25	0.06	0.07	101
Uranus, DWA	6.4	29	12	0.13 ± 0.15	-0.22 ± 0.14	0.16	0.16	0.18	877
Uranus, Z600	10.6	23	14	0.15 ± 0.14	0.06 ± 0.14	0.41	0.08	0.10	17
Uranus, All telesc.	8.4	61	33	0.25 ± 0.10	-0.12 ± 0.09	0.32	0.12	0.14	
Σ		117	33						

Таблиця 5

Результати редукції спостережень Нептуна та його супутника (N1). Внутрішня точність редукції

	Bph	N posit	N nights	(O-C) α arcsec	O-C) δ arcsec	RMS of			
						Bph	Alpha	Delta	N Ref.stars
Neptune, DLFA	8.3	3	3	0.23 $\pm$ 0.26	0.07 $\pm$ 0.20	0.32	0.05	0.08	93
Neptune, DWA	8.5	33	14	0.20 $\pm$ 0.12	-0.32 $\pm$ 0.17	0.34	0.23	0.25	724
Neptune, Z600	9.1	15	12	-0.06 $\pm$ 0.10	0.01 $\pm$ 0.11	0.23	0.10	0.09	16
Neptune, All telesc.	8.7	51	29	0.12 $\pm$ 0.08	-0.20 $\pm$ 0.12	0.08	0.18	0.19	
Triton N1, Z600	11.5	9	8	0.28 $\pm$ 0.19	0.31 $\pm$ 0.16	0.65	0.10	0.08	16
Σ		60	29						

Висновки. Завершена редукція фотографічних спостережень восьми супутників Сатурна за 1961–1990 р. Опрацьовано 209 фотографічних платівок (511 знімків). Отримано каталог з 1385 астрономічних положень. Точність редукції, в середньому, з прив'язкою до каталогу TYCHO2 лежить у межах $\sim \pm 0.09 - \pm 0.23$ arcsec. Продовжується редукція спостережень Урана та Нептуна. На даний момент опрацьовано 33 платівок із зображеннями Урана та 29 платівок з Нептуном. Загалом отримано каталог 117 астрономічних положень Урана разом із супутниками та каталог 60 положень Нептуна та Тритона. Внутрішня точність редукції спостережень цих об'єктів $- \pm 0.08 - \pm 0.25$. Слід відмітити, що точність редукції по телескопу DWA в 2–2.5 раза нижча за точність результатів по інших телескопах.

Робота з опрацювання спостережень Великих планет та їх супутників продовжується.

Створений у ГАО НАН України архів фотоспостережень в рамках проекту УкрВО зберігає в собі інформацію про неповторювані події в навколишньому космічному просторі. Сподіваємося, що наша робота з переопрацювання цієї інформації на сучасному технічному рівні може розширити наші знання про планети та їх супутники, які перебувають під збурюючим впливом як з боку планет-гігантів, так і сусідів-супутників.

Список використаних джерел

1. Yizhakevych O. M. Positional Observations of Saturn's satellites at the MAO AS of USSR in 1980 / O. M. Yizhakevych // Scientific paper deposited in All – russian institute of scientific and technical information. – Kyiv, 1991. – № 4553-B91.
2. Positional Observations of Jupiter VI at the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine / O. M. Yizhakevych, S. V. Kaltygina, S. P. Major, S. V. Shatokhina // Kinematics and Physics of Celestial Bodies, 1991, Vol. 7, № 2. – P. 98.
3. Positional Photographic observations of Jupiter's external satellites in 1987–1988 / O. M. Yizhakevych, S. V. Kaltygina, I. V. Ledovskaya, S. V. Shatokhina // Kinematics and Physics of Celestial Bodies, 1994. Vol. 10, № 1. – P. 88.
4. Kulyk I. The Natural satellite database of the Main Astronomical Observatory of The National Academy of Sciences of Ukraine : an overview / Kulyk I., Ye. Yizhakevych, L. Pakuliak // IMCCE. Internat. Workshop NAROO-GAIA "A new reduction of old observationsn the Gaia era". – Paris Observatory, June 2012. – Paris, France. – P. 153–158 [http://hal.upmc.fr/hal-00758312]. – Submitted on 7 May 2013.
5. First results of MAO NASU SS bodies photographic archiv digitizing / L. Pakuliak, V. Andruk, S. Shatokhina et al. // IMCCE Internat. Workshop NAROO-GAIA "A new reduction of old observations the Gaia era". Paris Observatory, June 2012. – Paris, France. – P. 161–165 [http://hal.upmc.fr/hal-00821005]. – Submitted on 7 May 2013.
6. Data Processing of Plates Containing Images of Uranus and Neptune from Ukrvo Digital Archive: Structure, Quality Analysis / Yu. Protsyuk, O. Yizhakevych, O. Kovylianska et al. // Odessa Astron. Publ., 2015. – Vol. 28, N 2. – P. 204–206.
7. Yizhakevych O. M. Catalog of Astronomical Positions of Saturn's Moons, Obtained by Photographic Observations on MAO NASU in 1961–1991 : Program and Abstracts / O. M. Yizhakevych, L. K. Pakuliak, V. M. Andruk // 15th Odessa Int. Astron. Gamow Conf. School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology. – Odessa, Aug.16–23, 2015. :2015.
8. Creating the catalogs of astronomical positions of Saturn's satellites (S1–S8) and Jupiter's outer satellites (J6–J8) basing on Golosevko photographic observations database DBGPA : Program and Abstracts / Ye. M. Yizhakevych, L. K. Pakuliak, S. V. Shatokhina et al. (in rus.: Создание каталогов астрономических положений спутников Сатурна (S1–S8) и внешних спутников Юпитера (J6–J8) на основе Голосеевской базы данных фотографических наблюдений DBGPA / Е. М. Ижакевич, Л. К. Пакуляк, С. В. Шатокшина и др.) // 14th Odessa Internat. Astron. Gamow Conf. School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, Cosmomicrophysics, Radio-Astronomy and Astrobiology". – Odessa, Ukraine, Aug. 17–24, 2014. – P. 38.
9. On application of a scanner for determination of coordinates and photometric characteristics of stars from the FON program plates / V. M. Andruk, G. A. Ivanov, M. T. Pogorel'tsev, A. I. Yatsenko (in rus.: Об использовании сканера для определения координат и фотометрии звезд на пластинках программы ФОН / В. Н. Андрук, Г. А. Иванов, М. Т. Погорельцев, А. И. Яценко) // KFNT, 2005. – Vol. 21, № 5. – P. 396–400.
10. Andruk V. M. Photometry of plates digitized using Microtek ScanMaker 9800xl TMA scanner / V. M. Andruk, G. Z. Butenko, A. I. Yatsenko // KPCB, 2010. – Vol. 26, № 3. – P. 146–150.
11. Astrometry of PSA plates digitized by two kinds of scanners. Separation of images of the stars from two exposures / V. Andruk, G. Ivanov, A. Yatsenko et al. (in ukr.: Астрометрія платівок ДША, оцифрованих двома типами сканерів. Розділення зображень зір двох експозицій / В. Андрук, Г. Иванов, А. Яценко та ін.) // KNUB Astronomy, 2012. – № 48. – P. 11–13.
12. Golovnia V. Astrometry of the plates of the DWA digitized with the Microtek scanmaker 9800XL TMA / V. Golovnia, V. Andruk, A. Yatsenko (in ukr.: Головня В. Астрометрія платівок ПША, оцифрованих сканером MICROTEK SCANMAKER 9800XL TMA / В. Головня, В. Андрук, А. Яценко) // J. of Phys. Studies, 2010. – Vol. 14, № 2. – P. 1–8.
13. Method for evaluating the astrometric and photometric characteristics of commercial scanners in their application for the scientific purpose / Yu. I. Protsyuk, V. N. Andruk, M. M. Muminov et al. // Odessa Astron. Publ., 2014. – Vol. 27, N 1. – P. 61–62.
14. Theory of Motion of Selected Saturn's Satellites : Program and Abstracts / O. M. Yizhakevych, V. Troianskyi, A. Bazyey et al. // 15th Odessa Internat. Astron. Gamow Conf. School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology". – Odessa, Aug.16–23, 2015. – P. 68–69.

Надійшла до редколегії 15.06.16

Е. Ижакевич, мл. науч. сотр., В. Андрук, науч. сотр.,
Л. Пакуляк, канд. физ.-мат. наук,
Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев;
В. Лукьянчук, магистр,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ БОЛЬШИХ ПЛАНЕТ И ИХ СПУТНИКОВ В ГАО НАН УКРАИНЫ В 1961–1990 Г.

В рамках национального проекта "Украинская виртуальная обсерватория" проведены работы по созданию каталогов астрономических положений и звездных величин больших планет и их спутников на базе архива фотографических наблюдений в ГАО НАН Украины с помощью четырех телескопов в период с 1961 г. по 1990 г. Благодаря программному комплексу, созданному в ГАО для редукции