Головна астрономічна обсерваторія, Національна академія наук України
Головна астрономічна обсерваторія, Національна академія наук України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Шатохіна Світлана Вадимівна

УДК 521.9 + 523.4,
520.338, 004.932

ДИСЕРТАЦІЯ

Позиційні та фотометричні характеристики астероїдів за редукцією спостережних даних з оцифрованих астронегативів УкрВО

01.03.01 – Астрометрія і небесна механіка
10 – Природничі науки; 104 – Фізика та астрономія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук. Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.
_____ С.В. Шатохіна

Науковий керівник:
Вавилова Ірина Борисівна,
доктор фізико-математичних наук,
професор,
член-кореспондент НАН України

Київ – 2023

АНОТАЦІЯ

Шатохіна С.В. Позиційні та фотометричні характеристики астероїдів за редукцією спостережних даних з оцифрованих астронегативів УкрВО. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.03.01 – Астрометрія і небесна механіка (10 – Природничі науки, 104 – Фізика та астрономія). — Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ; Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ, 2023.

Дисертацію присвячено дослідженням позиційних та фотометричних характеристик астероїдів, отриманих за даними спостережної програми Фотографічного огляду північного неба (ФОН, 1981–1996 рр.) із застосуванням новітніх технологій оцифрування та редукційної обробки сканованих зображень астронегативів з Об’єднаного оцифрованого архіву Української віртуальної обсерваторії.

Зафіксовані на астронегативах під час минулих спостережень зоряного неба зображення небесних об’єктів або події не можуть бути відтворені з огляду на безповоротність часу і залишаються майже єдиним джерелом інформації про стан і еволюційні процеси Сонячної системи чи Всесвіту в цілому. Така інформація залишається актуальною і не може бути втрачена, а шляхи її екстракції та обробки з найбільш можливою точністю мають бути знайдені.

У дисертації запропоновано аналітичний підхід до пошуку зображень малих тіл Сонячної системи за оцифрованими даними астронегативів, що ґрунтується на аналізі ефемеридних даних, згенерованих онлайновими інтернет-сервісами на момент спостереження та обчисленими екваторіальними координатами всіх зафіксованих об'єктів на фотографічних пластинках.

За результатами застосування зазначених методик до спостережень ФОН створено три каталоги, що налічують 7289 положень та фотографічних зоряних

величин для 3369 астероїдів та деяких комет. Досліджено точність отриманих даних, яка є достатньо високою для позиційних спостережень, але не може бути порівняна з ПЗЗ-, радарними чи космічними спостереженнями астероїдів. Для 2292 положень астероїдів, отриманих з оцифрованих даних спостережень ФОН у Києві, середні значення O–C в координатах RA і Dec становлять –0.09 і +0.05 arcsec, а стандартні відхилення дорівнюють 0.74 і 0.66 arcsec відповідно. За цими даними були ідентифіковані переважною більшістю слабкі астероїди, що пояснює збільшення значень стандартних відхилень O–C.

З оцифрованих даних були отримані зоряні B-величини астероїдів, що є результатом калібрування фотографічних величин усіх об’єктів фотоелектричними зоряними стандартами.

Зібрано та систематизовано всі позиційні дані астероїдів, які були отримані раніше з використанням класичних методик обробки спостережень. Це переважно яскраві астероїди, які спостерігалися в 1951–1996 рр. в межах програми ОРБІТА в ГАО НАН України. Проведено осучаснення деяких із них шляхом повторної обробки даних спостережень астероїдів із новими зоряними каталогами, що дозволило не лише покращити позиційну точність для них, а й коректно порівняти всі ряди спостережень астероїдів, отриманих у ГАО НАН України. Для оновлених положень астероїдів із використанням каталогу Gaia EDR3 середні значення O–C становлять 0.00 і +0.07 arcsec, а значення стандартних відхилень становлять 0.34 і 0.29 arcsec в координатах RA і Dec відповідно. Отримані результати вказують на значне покращення випадкових і систематичних складових оцінки точності для нових положень астероїдів порівняно з оригінальними.

Створені каталоги внесено до бази Міжнародного центру астрономічних даних, Міжнародного центру малих планет та інших публічно доступних баз даних. Одержані результати можуть становити основу створення банку даних спостережень астероїдів у ГАО НАН України.

Отримані фотографічні зоряні величини астероїдів за умови неперервних і достатньо забезпечених спостереженнями вибірок можуть бути використані

для побудови кривих блиску деяких астероїдів, фазових залежностей та визначення інших фотометричних характеристик.

Позиційні характеристики астероїдів за довготривалими рядами спостережень у 1951–1996 рр., отримані з високою астроиетричною точністю, є важливим вихідним матеріалом для вирішення задач ефемеридного забезпечення або відстеження динаміки розвитку орбіт астероїдів з часом та моделювання процесів їх змін, для вивчення еволюції орбіт астероїдів з часом.

Ключові слова: астероїд, каталог, положення астероїдів, фотографічна зоряна величина астероїдів, оцифровані зображення, астронегативи, Українська віртуальна обсерваторія.

ANNOTATION

Shatokhina S.V. Positional and photometric characteristics of asteroids based on the reduction of observational data from the UkrVO digitized astronegatives. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Candidate’s thesis in Physics and Mathematics, specialty 01.03.01 – Astrometry and Celestial Mechanics (10 – Natural sciences, 104 – Physics and astronomy). – Main Astronomical Observatory of the NAS of Ukraine, Kyiv; Main Astronomical Observatory of the NAS of Ukraine, Kyiv, 2023.

The thesis is devoted to research of the positional and photometric characteristics of asteroids observed in frame of the Photographic Survey of the Northern Sky (FON). These characteristics are evaluated after digitization and reduction processing of scanned images of the FON astronegatives (FON-Kyiv, FON-Kitab, FON-Dushanbe) as a part of the Joint Digitized Archive of the Ukrainian Virtual Observatory.

An analytical approach to searching for images of the Solar System small bodies is proposed. It is based on the analysis of ephemeris data generated by online

Internet services at the time of observation and the calculated equatorial coordinates of all recorded celestial objects on the astroplates.

Based on the results of applying these methods to the FON observational data, the three catalogs were elaborated and created, numbering 7289 positions and B-magnitudes of mainly asteroids and some comets. The accuracy of the obtained data was investigated, which is high enough for positional observations, but cannot be compared with CCD observations, radar or space observations of asteroids. Certain celestial objects have been identified that may have a special interest and value due to their lack of observation in past times. New astrometric positions of asteroids in the past, obtained by us with the high positional accuracy, which can be extracted from digitized astronegatives, are important source material for solving problems of supporting ephemeris, tracking the dynamics of asteroid orbits over time and modeling their changes as well as for studying the evolution of orbits.

Additionally, all positional data of asteroids that were previously obtained by classical observation processing techniques have been collected and systematized. This data refers to mostly bright asteroids that were observed in 1951-1996 within the framework of the ORBIT project at the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine. Some of them were updated by re-processing observations of asteroids with modern star catalogs, which made it possible not only to improve the positional accuracy for them, but also to correctly compare all series of asteroid observations provided at the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine.

For the updated Gaia EDR3 asteroid positions, the mean O–C values are 0.00 and +0.07 arcsec, and the standard deviation values are 0.34 and 0.29 arcsec in RA and Dec coordinates, respectively. The obtained results show a significant improvement of the random and systematic components of the accuracy estimate for the new asteroid positions compared to the previous original ones.

For digitized observations, the obtained astrometric accuracy of positions is different for asteroids of different magnitudes. For 2292 positions of asteroids obtained from the FON-Kyiv observations, the average O–C values in the RA and

Dec coordinates are –0.09 and +0.05 arcsec, and the standard deviations are equal to 0.74 and 0.66 arcsec, respectively. Unlike the previous ones, mostly faint asteroids were identified from the digitized observations of the FON project, which explains the increase in the values of standard deviations of O–C for them. Also, in contrast to the previous rest of the data, the B-magnitudes of the asteroids, which are the result of the calibration of the obtained photographic magnitudes of all objects with photoelectric stellar standards, were estimated from the digitized data. The obtained stellar magnitudes of asteroids, provided that the samples are continuous and the observations are representative, can be used to construct light curves of some asteroids, phase dependencies, and to determine other photometric characteristics.

Altogether, these data can form the basis for creating an asteroid database at the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Keywords: asteroid, catalog, asteroid position, asteroid photographic magnitude, digitized images, astronegative, Ukrainian Virtual Observatory.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У наукових фахових виданнях:

1. Kazantseva L. V., Shatokhina S. V., Protsyuk Yu. I., Kovylianska O. E., Andruk V. M. (2015). Processing results of digitized photographic observations of Pluto from the collections of the Ukrainian Virtual Observatory. Kinem. Phys. Cel. Bodies, 31, 1, 37-54. https://doi.org/10.3103/S0884591315010031
2. Шатохіна С., Казанцева Л., Андрук В., Процюк Ю. (2016). Система Плутона з оцифрованих зображень фотографічних платівок. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія, 53, 24-29. https://doi.org/10.17721/BTSNUA.2016.53.24-29
3. Шатохіна С., Головня В., Андрук В. (2017). Ресурс УкрВО для задач пошуку, перевідкриття та уточнення орбіт астероїдів. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія, 55, 6-9. https://doi.org/10.17721/BTSNUA.2017.55.3-9
4. Shatokhina S., Kazantseva L., Yizhakevych O., Andruk V. M. (2018a). Catalogue of Asteroids from Digitized Photographic Plates of the FON Program. Kinem. Phys. Cel. Bodies, 34, 270-276. https://doi.org/10.3103/S0884591318050045
5. Shatokhina S.V., Relke H., Yuldoshev Q.X., Andruk, V. M., Protsyuk Yu. I., Muminov M. (2018b). Asteroids Search Results in Digitized Observations of the Northern Sky Survey Project (KITAB Part). Odessa Astron. Publ., 31, 235-238. https://doi.org/10.18524/1810-4215.2018.31.144679
6. Shatokhina S.V., Yizhakevych O.M., Protsyuk Yu.I., Kazantseva L.V., Pakuliak L.K., Eglitis I., Relke H., Yuldoshev Q.X., Mullo-Abdolov A.Sh., Andruk V.M. (2019b). On the “Solar system bodies” astroplate project of the Ukrainian virtual observatory. Odessa Astron. Publ., 32, 203-207. https://doi.org/10.18524/1810-4215.2019.32.181732
7. Shatokhina S. V., Relke H., Mullo-Abdolov A. Sh., Yizhakevych O. M., Yuldoshev Q. X., Protsyuk Yu. I., Andruk, V. M. (2020). Asteroid Positions

Based on the Dushanbe Part of the FON Project Observations. Odessa Astron. Publ., 33, 154-157. https://doi.org/10.18524/1810-4215.2020.33.216421

8. Shatokhina S.V., Kazantseva L.V. (2021a). Early Kyiv observations of asteroids: analysis and new reduction with Tycho-2 and Gaia catalogs. Odessa Astron. Publ., 34, 114-118. https://doi.org/10.18524/1810-4215.2021.34.244355

У інших фахових та електронних наукових виданнях:

9. Eglitis I., Eglite M., Kazantseva L. V., Shatokhina S. V., Protsyuk Yu. I., Kovylianskaya O. E., Andruk V. M. (2019a). VizieR Online Data Catalog: Topocentric positions of Pluto (Eglitis+, 2018). VizieR Online Data Catalog: VI/155.

10. Shatokhina S. V., Kazantseva L. V., Yizhakevych O. M., Andruk V. M. (2019a). VizieR Online Data Catalog: 2292 astrometric positions of asteroids (Shatokhina+, 2018). VizieR On-line Data Catalog: J/other/KFNT/34.270.

11. Shatokhina S.V., Relke H., Yuldoshev Q., Andruk V. M., Protsyuk Yu. I., Muminov M. (2021b). VizieR Online Data Catalog: 2728 asteroid positions (Kitab obs.) (Shatokhina+, 2018). VizieR On-line Data Catalog: J/other/OAP/31.235.

12. Vavilova I. B., Shatokhina S. V., Pakuliak L. K., Yizhakevych O. M., Eglitis I., Andruk V. M., Protsyuk Yu. I. (2022). Astrometry and photometry of asteroids from the UkrVO database of astroplates. Multi-Scale (Time and Mass) Dynamics of Space Objects. Proceedings of the International Astronomical Union, 364, 239-245. https://doi.org/10.1017/S1743921322000047

Тези міжнародних конференцій, які засвідчують апробацію:

13. Shatokhina S., Relke H., Yizhakevych O., Andruk V., Mullo-Abdolov A. Asteroid positions based on the Dushanbe part of the FON project observations. Abstracts. XXIII Gamow Intern. Astron. Conference “Astronomy and beyond:

Astrophysics, cosmology and gravitation, astroparticle physics, radioastronomy, astrobiology and genetics”, Odesa, Ukraine, August 21–25, 2023.

14. Shatokhina S., Andruk V., Mullo-Abdolov A., Relke H., Yizhakevych O. FON-Dushanbe catalog of asteroids as the final stage of the small bodies search on digitized Northern Sky Survey negatives. Abstracts. 81st International Scientific Conference of University of Latvia, Riga, Latvia, March 16, 2023.
15. Vavilova I.B., Shatokhina S.V., Pakuliak L.K., Yizhakevych O.M., Eglitis I., Andruk V.M., Protsyuk Yu.I. Astrometry and photometry of asteroids from the UkrVO database of astroplates. Program and Abstracts. Multi-scale (time and mass) Dynamics of Space Objects Proceedings IAU Symposium No. 364, Iasi, Romania, October 18–22, 2021.
16. Shatokhina S. V., Kazantseva L. V. Analysis and reprocessing of early Kyiv observations of asteroids with modern reference catalogues. Abstracts. 21st Gamow Intern. Astron. Conf.- School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, High Energy Physics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", Odesa, Ukraine, August 15–21, 2021.
17. Vavilova I., Andruk V., Pakuliak L, Shatokhina S., Yizhakevych O. Catalogs of celestial bodies from digitized photographic plates of the Ukrainian Virtual Observatory Archive. Abstracts. International Symposium “Astronomical Surveys and Big Data 2 (ASBD-2)”, Byurakan astrophysical observatory, Armenia, September 14–18, 2020.
18. Їжакевич О.М., Шатохіна С.В., Еглітіс І., Процюк Ю.І., Андрук В.М. Малі тіла Сонячної системи з оцифрованих фотографічних спостережень в Балдоне: результати та попередній аналіз. Book of Abstracts. International Conference dedicated to the 175th of the Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, May 27–29, 2020.
19. Vavilova I.B., Shatokhina S.V., Yizhakevych O.M., Kazantseva L.V., Protsyuk Yu.I., Pakuliak L.K., Eglitis I., Relke H., Yuldoshev Q.X., Mullo-Abdolov A.Sh., Andruk V.M. On the Solar system small bodies astroplate project of the Ukrainian Virtual Observatory. Abstr. 6th Gamow Intern. Conf. “New Trends

in Cosmology, Astrophysics and HEP after Gamow", Odesa, Ukraine, August 11–19, 2019.

20. Andruk V., Eglitis I., Golovnia V., Ivanov G., Kazantseva L., Kovylianska E., Mullo-Abdolov A., Muminov M., Pakuliak L., Protsyuk Yu., Relke H., Shatokhina S., Yatsenko A., Yizhakevich O., Yuldoshev Q., Vavilova I. The main results of photographic archive's digitization at the Main Astronomical Observatory of the NAS of Ukraine. Program. China–Ukraine–Latvia astrometry workshop, Shanghai Astronomical Observatory, Shanghai, China, June 17–23, 2019.
21. Kazantseva L., Shatokhina S., Andruk V. The results of astrometric reduction for old photographic observations using the Gaia stellar catalogue. Book of Abstracts. International Conference "Astronomy and Space Physics in the Kyiv University", Kyiv, Ukraine, May 28–31, 2019.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень 14

Вступ 16

Розділ 1. Огляд літератури 26

1.1. Вступ: класифікація астероїдів і кількісні показники за даними міжнародного Центру малих планет (MPC) 26

1.2. Фізичні та кінематичні характеристики астероїдів із спостережень 29

1.3. Фотографічні спостереження минулих років в обсерваторіях України 34

1.4. УкрВО: створення, цілі, задачі, можливості та досягнення 37

1.5. Оцифрування астронегативів, похибки сканерів 48

1.6. Програмні забезпечення обробки оцифрованих зображень зоряних полів: розроблене в ГАО НАН України для астронегативів ФОН у порівнянні з «Astrometrica» та CoLiTec 52

Висновки до розділу 1 56

Розділ 2. Дані спостережень і їх обробка 58

2.1. Вступ: програма ФОН і деякі етапи її реалізації 58

2.2. Оцифровані дані спостережень і їх обробка 59

2.3. Обробка оцифрованих спостережень Плутона як тест до масових ідентифікацій астероїдів 63

2.4. Аналітичний підхід до пошуку зображень астероїдів 70

Висновки до розділу 2 73

Розділ 3. Результати та їх аналіз 75

3.1. Вступ 75

3.2. Створення каталогів положень і зоряних величин астероїдів і комет 75

3.3. Аналіз складових каталогів астероїдів з оцифрованих даних ФОН: 76

3.3.1. Кількісний аналіз: періоди спостережень, повторюваність, інтервали зоряних величин 76
3.3.2. Якісний аналіз: оцінка випадкових похибок координат і зоряних В-величин астероїдів 79
3.3.3. Аналіз координатних різниць О–С астероїдів, залежність від швидкості змін координат 80
3.3.4. Залежність від фазового кута, розташування в полі пластинки 85
3.3.5. Аналіз отриманих зоряних В-величин астероїдів 85
3.4. Подвійні і кратні системи астероїдів, «передвідкриті» астероїди та інші особливі об’єкти 90
Висновки до розділу 3 94
Розділ 4. Порівняння даних астероїдів з оцифрованих астронегативів з Голосіївськими каталогами положень малих планет минулих часів 96
4.1. Збір та систематизація даних щодо опублікованих раніше положень малих планет, оцінки їх позиційної точності, опорні системи 96
4.2. Попереднє порівняння трьох рядів спостережень астероїдів 98
4.3. Похибки опорного каталогу як систематичний фактор впливу на точність координат астероїдів 102
4.4. Переобробка 591 ранніх спостережень малих планет з DLA телескопом 105
4.4.1. Методика, обчислення 105
4.4.2. Результати переобробки та оцінки точності отриманих нових координат астероїдів у противазі оригінальним 107
4.5. Порівняння трьох рядів спостережень астероїдів, отриманих в ГАО НАНУ з використанням результатів переобробки ранніх спостережень малих планет 111
Висновки до розділу 4 112

Висновки 114

Подяки 116

Список використаних джерел 117

Додаток А. Список опублікованих праць за матеріалами дисертації та відомості про апробацію результатів дисертаційного дослідження 133

Додаток В. Скріншоти перших записів каталогів, отриманих з оцифрованих астронегативів УкрВО, які представлені в базі астрономічних даних CDS. 138

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

CDS	Strasbourg Astronomical Data Center, Страсбурзький центр астрономічних даних
Dec	Declination, схилення
DLA	Tepfer Double Long-Focus Astrograph (400/5500), подвійний довгофокусний астрограф Тепфера (400/5500)
DWA	Zeiss Double Wide-Angle Astrograph (400/2000), подвійний ширококутний астрограф Цейса (400/2000)
Gaia DR2	Другий реліз каталогу Gaia
Gaia EDR3	Третій попередній реліз каталогу Gaia
IAU	Iternational Astronomical Union, Міжнародний астрономічний союз
ICRS	International Celestial Reference System, Міжнародна небесна система координат
JPL NASA	Jet Propulsion Laboratory NASA, Лабораторія реактивного руху НАСА
FITS	Flexible Image Transport System — формат зображень астрономічних даних
FWHM	Full Width at Half Maximum — повна ширина на половині амплітуди
MPC	Minor Planet Center, Центр малих планет
NASA	National Aeronautics and Space Administration, Національне управління з аеронавтики та дослідження космічного простору
RA	Right Ascention, пряме сходження
TIFF	Tagged Image File Format — формат зберігання растрових графічних зображень
UBVR	Фотометрична система Джонсона, яка включає основні

	смуги: U (ультрафіолетова, ефективна довжина хвилі 0,365 мкм, ширина 0,068 мкм), B (синя, ефективна довжина хвилі 0,440 мкм, ширина 0,098 мкм) та V (візуальна, ефективна довжина хвилі 0,550 мкм, ширина 0,089 мкм).
VO	Virtual Observatories, віртуальні обсерваторії
WFPDB	Wide-Field Plate Database, База даних ширококутних пластинок
ГАО НАНУ	Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України
МЕГА	Програма комплексного вивчення головного меридіонального перетину Галактики
МОН України	Міністерство освіти і науки України
НАНУ	Національна академія наук України
ОЦА УкрВО	Об’єднаний цифровий архів Української віртуальної обсерваторії
ПЗЗ	Прилад із зарядовим зв'язком
УкрВО	Українська віртуальна обсерваторія
ФОН	Програма спостережень «Фотографічний огляд північного неба»
ФОН-Київ	Програма спостережень ФОН, що виконувалась в ГАО НАН України
ФОН-Кітаб	Програма спостережень ФОН, що виконувалась в Кітабській обсерваторії Астрономічного інституту імені Мірзо Улугбека АН Узбекистану
ФОН-Душанбе	Програма спостережень ФОН, що виконувалась в Гісарській астрономічній обсерваторії Інституту астрофізики НАН Таджикистану

ВСТУП

Актуальність теми. Нові методи цифрової обробки даних, застосовані до минулих фотографічних спостережень небесних об’єктів Всесвіту, дозволяють не тільки зберегти астронегативи у вигляді їх електронних копій, але й отримати з високою точністю астрометричну й астрофізичну інформацію про небесні тіла, зображення яких зафіксовані на астронегативах під час експозиції. Серед перших, для яких наприкінці XX сторіччя такі цифрові технології були впроваджені на спеціально побудованих високоточних пристроях/денситометрах для сканування астронегативів, стали оцифрований огляд неба DPOSS (Паломарська обсерваторія, США) і каталоги USNO (Військово-морська обсерваторія, США), огляди південного неба COSMOS та SuperCOSMOS (Единбург, Велика Британія) та інші. Загалом цей астроінформаційний ресурс становить близько 3 млн оцифрованих астропластинок, із яких 2.5 млн – ширококутні, отримані за фотографічними спостереженнями на телескопах Шмідта понад 160 обсерваторій світу.

Завершення глобальної обробки численних спостережень за програмою Фотографічного огляду північного неба (ФОН, 1981–1996 рр.) надало можливість не тільки отримати координати і зоряні величини зір, але й визначити такі ж дані для малих тіл Сонячної системи, зображення яких зафіксовані поряд із зображеннями зір на астронегативах. Серед необхідних вимог для спостережень за програмою ФОН не було умови фіксації точних моментів кожної експозиції, потрібних при спостереженнях швидкорухомих небесних об’єктів. Неврахування цієї вимоги може призвести до виникнення додаткових похибок у визначенні положень, зокрема астероїдів. Проте застосування нових методів оцифрування й обробки астроінформаційного ресурсу фотографічних оглядів неба значуще актуалізує цей напрям досліджень і дозволяє не тільки отримати нові дані про астероїди завдяки їх ідентифікації на оцифрованих астронегативах минулих спостережень, але й оцінити точність їх позиційних і фотографічних характеристик та нові можливості, які надають нам такі методи.

Окрім обраних архівів фотографічних спостережень за програмами ФОН-Київ, ФОН-Кітаб і ФОН-Душанбе, які були оцифровані для виконання програми ФОН, було задіяно архів даних про малі планети, спостережені й опрацьовані в ГАО НАН України з 1952 року. Цей архів містить більше 2000 тисяч високоточних положень малих планет, проте публікації цих даних переважно відсутні в широкому доступі. Міжнародна база даних малих планет (MPC) теж не містить повну інформацію про всі положення астероїдів, особливо у період спостережень 1976–1986 рр. Цим обумовлена нагальна потреба скласти і систематизувати всі отримані позиційні дані астероїдів, коректно порівняти різні ряди їхніх спостережень, чим скласти основу для банка всіх даних про астероїди, отриманих в ГАО НАН України. Аналіз астрометричних характеристик астероїдів із залученням оцифрованих минулих публікацій і новітніх онлайнових зоряних каталогів дозволяє осучаснити опрацьовані дані, навіть коли оцифрування астронегативів вже неможливе внаслідок їх втрати.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконувалось у Головній астрономічній обсерваторії НАН України в межах відомчих тем «Астрометрія малих тіл Сонячної системи і надхолодних карликів в епоху GAIA та створення спеціальних астрометричних каталогів» (2016–2020 рр., № держреєстрації 0115U006893, виконавець) та «Великомасштабна структура Всесвіту за даними багатохвильових оглядів окремих її складників» (2019–2023 рр., № держреєстрації 0119U000393, відповідальний виконавець); наукового проєкту «Фундаментальні властивості обраних об'єктів Всесвіту: теоретичні та спостережні аспекти» (2012–2016 рр., № держреєстрації 0112U001007, виконавець), у т.ч. в частині договорів на виконання науково-дослідних робіт «Наповнення об'єднаного цифрового архіву даних УкрВО» між ГАО НАН України і Українською астрономічною асоціацією; науково-дослідної роботи «Створення високоточної багатопозиційної фазової системи «Вега-V» для визначення траєкторій

навколоземних високодинамічних об’єктів» Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень (2018–2019 рр., № держреєстрації 0119U000673, виконавець); наукового проєкту «Інформаційно-ефемеридний сервіс та інформаційний сервіс спостережень штучних супутників Землі і малих небесних тіл» Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень (2018–2022 рр., № держреєстрації 0119U000675, відповідальний виконавець).

Проведені дослідження є також частиною Угод про співробітництво між ГАО НАН України та НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія» МОН України, Астрономічною обсерваторією Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Інститутом астрофізики НАН Таджикистану, Шанхайською обсерваторією Китайської АН, а також виконані у співпраці зі співробітниками Інституту астрономії Університету Латвії, Астрономічного інституту імені Мірзо Улугбека АН Узбекистану, Обсерваторії Вальтера Гофмана (Ессен, Німеччина).

Метою дисертаційної роботи є визначення положень і зоряних величин малих тіл Сонячної системи, переважно астероїдів, за даними Об’єднаного цифрового архіву астронегативів Української віртуальної обсерваторії (УкрВО), а також збір та систематизація всіх позиційних даних про астероїди, отриманих в ГАО НАН України в минулі часи з метою їх порівнянь та узагальнення.

У дисертаційному дослідженні були поставлені такі **завдання**:

- взяти участь у колективній роботі з оцифрування великого масиву фотографічних астронегативів за програмою ФОН зі склотеки ГАО НАН України (ФОН-Київ) та редукційній обробці оцифрованих сканів;
- розробити методологію виявлення та ідентифікації зображень малих тіл Сонячної системи з оцифрованих астронегативів;

- зібрати і систематизувати всі позиційні спостережувані дані про астероїди, отримані в ГАО НАНУ в минулі часи та проаналізувати їх точність;
- виконати астрометричні дослідження з оцінки координат і зоряних величин за редукцією даних спостережень, проведених на різних телескопах, та проаналізувати похибки отриманих даних;
- створити каталоги положень і зоряних величин астероїдів та проаналізувати їхні складові;
- порівняти положення астероїдів, визначених з оцифрованих астронегативів і отриманих за класичними методиками обробки спостережень минулих часів;
- доповнити міжнародні бази астрономічних даних новими даними про позиційні і фотометричні характеристики астероїдів, що спостерігалися у 1951–1996 роках.

***Об'єкт дослідження*:** астрометрія малих тіл Сонячної системи за даними спостережних програм фотографічних оглядів неба.

***Предмет дослідження*:** позиційні та фотометричні характеристики астероїдів, отримані з оцифрованих астронегативів УкрВО за даними спостережної програми «Фотографічний огляд Північного неба» (ФОН, 1981–1996 рр.), що виконувалась в ГАО НАН України (ФОН-Київ), Кітабській обсерваторії Астрономічного інституту імені Мірзо Улугбека АН Узбекистану (ФОН-Кітаб), Гісарській астрономічній обсерваторії Інституту астрофізики НАН Таджикистану (ФОН-Душанбе), а також – позиційні характеристики астероїдів, отримані за фотографічними спостереженнями в ГАО НАН України в 1951–1996 рр.

Методи досліджень:

Спостереження за програмою ФОН виконані в 1981–1996 рр. на *однотипних* астрографах Цейса в ГАО НАН України в Києві, Кітабській

обсерваторії Астрономічного інституту імені Мірзо Улугбека АН Узбекистану, Гісарській астрономічній обсерваторії Інституту астрофізики НАН Таджикистану.

Астронегативи оцифровані за *однаковою* методикою з використанням комерційних сканерів Microtek™ і Epson™.

Оцифровані зображення опрацьовані за *однаковою* методикою і програмним забезпеченням, розробленим і впровадженим в ГАО НАН України для редукційної обробки сканів астронегативів за програмою ФОН.

Засобами статистичного аналізу даних оцінені точність визначення положень астероїдів як для оцифрованих даних спостережень, так і для минулих, опрацьованих раніше за класичними методами вимірювання й обробки.

Методами дослідження також є узагальнення та інтерпретація результатів, порівняльний аналіз отриманих даних спостережень.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Створено три каталоги положень і зоряних величин астероїдів, отриманих за програмою «Фотографічного огляду північного неба» 1981–1996 рр. з архіву оцифрованих астронегативів УкрВО: ФОН-Київ містить 2292, ФОН-Кітаб містить 2728, ФОН-Душанбе містить 2269 положень і зоряних величин малих тіл Сонячної системи, переважно астероїдів. Перші два з зазначених каталогів увійшли до міжнародних баз астрономічних даних.

2. Вперше для пошуку зображень астероїдів та їх ідентифікації застосовано аналітичний підхід на основі порівнянь ефемеридних даних астероїдів і визначених з оцифрованих спостережень даних всіх зафіксованих об’єктів. Проведено його апробацію, виявлено переваги й недоліки та використано для подальшого пошуку зображень малих тіл Сонячної системи за оцифрованими даними різних архівів спостережень.

3. Каталог ФОН-Київ, у частині спостережень програми в Голосієві, є суттєвим доповненням до загальної кількості положень астероїдів, отриманих в

ГАО НАН України в 1951–1996 рр. За оцифрованими даними оцінено зоряні величини астероїдів, які є результатом калібрування отриманих фотографічних величин з фотоелектричними стандартами зір для всіх, без винятку, зафіксованих об'єктів на астронегативах.

4. Зібрано і систематизовано всі позиційні дані астероїдів, отримані в минулі часи із спостережень за допомогою астрографів DLA і DWA в ГАО НАН України. З метою осучаснення даних ранніх спостережень з телескопом DLA виконано нову редукційну обробку минулих вимірювань астронегативів з новими опорними каталогами Gaia DR2, Gaia EDR3 і Tycho-2.

5. Виявлено, що за оцифрованими даними програми ФОН в Києві середні значення O–C астероїдів становлять −0.09 і +0.05 arcsec за координатами RA і Dec, а їх стандартні відхилення становлять 0.74 і 0.66 arcsec. Відповідні значення для DWA-спостережень астероїдів становлять +0.01 і −0.12 та 0.52 і 0.46 arcsec, оновлені відповідні значення для DLA-спостережень астероїдів у 1951–1986 рр. становлять 0.00 і +0.07 та 0.34 і 0.29 arcsec. Така позиційна точність є достатньо високою і типовою для фотографічних спостережень, але не може бути порівняною з сучасними високоточними ПЗЗ-спостереженнями астероїдів.

Практичне значення одержаних результатів.

Позиційні характеристики астероїдів за довготривалими рядами спостережень у 1951–1996 рр., отримані з високою астрометричною точністю для оцифрованих астронегативів, є важливим вихідним матеріалом для вирішення задач ефемеридного забезпечення або відстеження динаміки розвитку орбіт астероїдів з часом та моделювання процесів їх змін, для вивчення еволюції орбіт астероїдів з часом.

Отримані фотографічні зоряні величини астероїдів за умови неперервних і достатньо забезпечених спостереженнями вибірок можуть бути використані для побудови кривих блиску деяких астероїдів, фазових залежностей та отримання інших фотометричних характеристик. За отриманими в дисертації

даними, з огляду на їх дискретність, такі повноцінні вибірки складно створити, але, якщо їх об’єднати з даними інших оцифрованих архівів, наприклад Інституту астрономії Університету Латвії, то можна отримати не тільки більшу кількість спостережень конкретних астероїдів, але й зоряні величини для них у різних смугах UBVR системи Джонсона.

Одержані в дисертаційній роботі результати використовуються і можуть бути використані в подальшому в астрономічних установах України і світу, де проводяться дослідження малих тіл Сонячної системи. Каталоги астрометричних і фотометричних характеристик малих тіл Сонячної системи опубліковано в публічно доступних міжнародних базах даних.

Достовірність та обґрунтованість результатів досліджень підтверджено попередньо під час опрацювання спостережень Плутона, а саме: в частині виявлення можливих зображень Плутона посеред архівів спостережень різних телескопів і різних обсерваторій; ідентифікації зображень астероїдів поряд із зображеннями Плутона в межах одного астронегатива. Достовірність результатів ідентифікації астероїдів в окремих випадках підтверджувалась візуальним оглядом астронегативів. Спостережні дані отримані на однотипних астрографах, для сканування астронегативів й обробки зображень використовувались однотипні методики.

Результати дослідження опубліковано у фахових рецензованих наукових виданнях та апробовано на міжнародних конференціях.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є узагальненням результатів досліджень, що були виконані особисто авторкою або за її безпосередньої участі. Основний матеріал дисертаційної роботи опубліковано в 12 роботах, у 9 з яких авторка дисертації є першим автором, та 9 тезах міжнародних конференцій.

Автору належить ідея проведення пошуку зображень астероїдів аналітичним методом з використанням онлайнових інтернет-сервісів і

результатів редукційної обробки оцифрованих астронегативів. У статтях Shatokhina et al. (2018a, 2018b, 2020) і каталогах Shatokhina et al. (2019a, 2021b) автору належить частина праці з безпосереднього пошуку та ідентифікації зображень астероїдів програмними засобами, участь в обговоренні результатів, аналізі точності положень астероїдів і написанні текстів статей (включно з підготовкою даних каталогів для розміщення в Страсбурзькому Центрі астрономічних даних).

Роботи Kazantseva et al. (2015) і Eglitis et al. (2019a), які присвячені дослідженням Плутона, ми вважаємо тестовими для перевірки процедури ідентифікацій малих тіл Сонячної системи. В них автору належить участь у аналізі результатів і спільному написанні текстів статей, пошук у базі даних УкрВО незадіяних в обробці додаткових спостережень Плутона і їх оцифровка, окремі фотографічні спостереження Плутона.

У статті Шатохіної та ін. (2016) з використання отриманих значень зоряної величини Плутона для виявлення її довгочасового тренду автору належать програмні розрахунки щодо приведення спостережень до середньої опозиції Плутона, участь в обговоренні результатів, аналізі та написанні тексту статті.

У публікації Шатохіної та ін. (2017) авторці належить участь в отриманні першопочаткових результатів пошуку астероїдів за оцифрованими спостереженнями, їх аналізі та написанні тексту статті.

У статтях Shatokhina et al. (2019b), Vavilova et al. (2022) участь авторки полягає в узагальненні результатів ідентифікації астероїдів з оцифрованих даних спостережень та отримання їх позиційних і фотометричних характеристик, спільному обговоренні результатів, формуванні тексту й ілюстративних матеріалів.

У статті Shatokhina et al. (2021a) авторка виконала роботу з повторної обробки ранніх спостережень малих планет в ГАО НАНУ та їх аналіз, а також брала участь у колективній роботі з ефемеридного порівняння й аналізі

спостережень астероїдів в Астрономічній обсерваторії КНУ імені Тараса Шевченка, загальному обговоренні і написанні тексту статті.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень доповідалися і обговорювалися на 18 міжнародних конференціях, на 9 з яких за останні 2019–2023 роки представлено найбільш важливі результати . А саме:

- Гамовські конференції-школи Gamow International Astronomical Conferences “Astronomy and beyond: Astrophysics, cosmology and gravitation, astroparticle physics, radioastronomy, astrobiology and genetics” (Україна, Одеса, 2019, 2021, 2023 рр.);
- 81st International Scientific Conference of the University of Latvia (Латвія, Рига, 2023 р.);
- IAU Symposium No. 364 “Multi-scale (time and mass) Dynamics of Space Objects” (Румунія, Ясси, 2021 р.);
- International Symposium “Astronomical Surveys and Big Data 2 (ASBD-2)” (Вірменія, Бюракан, 2020 р.);
- International conference “Astronomy and Space Physics in Kyiv University” (Україна, Київ, 2019, 2020 рр.);
- China–Ukraine–Latvia astrometry workshop, Shanghai Astronomical Observatory (Китай, Шанхай, 2019 р.).

Результати роботи також обговорювалися на астрометричних семінарах в ГАО НАН України.

Публікації. Основні результати дисертації опубліковано в 12 наукових роботах та 9 тезах міжнародних конференцій . Вісім наукових статей опубліковано у фахових журналах, 4 статті – в інших фахових та електронних наукових виданнях. Серед 12 наукових робіт: 2 статті в “Kinematics and Physics of Celestial Bodies” (Scopus, Q4); 4 статті – в “Odessa Astronomical Publications” і 2 статті – у “Віснику Київського національного університету ім. Тараса

Шевченка. Астрономія”, які входять до переліку наукових фахових видань МОН України; одна стаття опублікована в міжнародному науковому виданні “Proceedings of the IAU” (Scopus); три наукові роботи є каталогами астрономічних даних (VizieR On-line Data Catalog), опублікованими в міжнародному Страсбурзькому Центрі астрономічних даних (CDS).

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури і двох додатків. Обсяг тексту роботи становить 140 сторінок. Дисертація містить 5 таблиць, 35 рисунків та 131 найменування у списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Вступ: класифікація астероїдів і кількісні показники за даними міжнародного Центру малих планет (MPC)

Астероїдами, у найбільш загальному визначенні, є відносно малі, але численні тіла Сонячної системи розміром менше тисячі кілометрів, але більше 30 м. Відомо лише 26 астероїдів з великими за діаметром розмірами понад 200 км, серед яких найбільша (1) Ceres (карликова планета) має 940 км у діаметрі, що дорівнює ~ 40 % діаметра Плутона. Два інших найбільших астероїда (2) Pallas та (4) Vesta мають діаметр ~ 500 км. Окрім розмірів, астероїди класифікують за параметрами їхнього орбітального руху. Переважна більшість орбіт астероїдів знаходяться між орбітами Марса і Юпітера, утворюючи Головний пояс астероїдів Сонячної системи з відповідною відстанню в 2–3 і 5 а.о. від Сонця. Ці астероїди мають близькі значення ексцентриситетів орбіт (до 0.3 в середньому), нахилів площин (до 16 градусів) та, як наслідок, періодів обертання (від 3.5 до 6 років). Розподіл астероїдів всередині Головного поясу є нерівномірний, уникаючи областей утворення сильних орбітальних резонансів з планетами. Астероїди Головного поясу групуються скупченнями – сімействами з близькими орбітальними та спектральними характеристиками.

Значно менша кількість астероїдів рухається по орбітах, які наближаються до орбіти Землі або перетинають її. Це – навколоземні астероїди (Near-Earth Asteroid, NEA) розміром від 50 м до декількох км, перигелій яких розташовано не далі 1.3 а.о. від Сонця, включно із потенційно небезпечними (Potentially Hazardous Asteroid, PHA), які розподіляються за відстанню щодо близького проходження до Землі. Виділяють три основні групи навколоземних астероїдів – група Атона (велика піввісь орбіти яких менша за 1 а.о., а відстань від Сонця у афелії більша за 0.938 а.о.), група Аполлона (найчисленніша, велика піввісь орбіти яких більша за 1 а.о., а відстань у перигелії менша

1.017 а.о., – тобто практично всі вони є потенційно небезпечними) та група Амура (відстані яких у перигелії більше 1.3 а.о. і менше 1.017 а.о., тобто їх орбіти знаходяться зовні за орбітою Землі), а також нечисленні астероїди групи Атіри (орбіти повністю лежать всередині орбіти Землі, афелій менше 0.938 а.о.).

Поза Головним поясом по орбіті Юпітера рухаються астероїди – троянці, два сімейства яких гравітаційно пов'язані з Юпітером і синхронізовані з ним у русі.

Малі небесні тіла Сонячної системи за орбітою Юпітера розподіляються на дві групи: кентаври, орбіти яких лежать між орбітами Юпітера й Нептуна, і транснептунові об'єкти, що входять до складу поясу Койпера, який знаходиться на відстані 30–60 а.о. від Сонця.

Детальна інформація щодо класифікації астероїдів і даних про них представлена зокрема на веб-сайтах міжнародного Центру малих планет (MPC website, https://minorplanetcenter.net/mpc/summary) і бази даних малих планет Лабораторії реактивного руху НАСА (JPL Small-Body Database Lookup, https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_lookup.html#/). Серед таких даних: параметри орбіт і відповідні діаграми орбітального руху в Сонячній системі для кожного астероїда, фізичні характеристики, дані радарної астрометрії, розрахунки для загрозливих для Землі проходжень астероїдів, інформація про відкриття астероїдів та їхні назви.

За даними MPC на кінець вересня 2023 р. загальна кількість спостережень астероїдів становить майже 414.2 мільйонів; загальна кількість – 1 310 249 об'єктів, серед яких 629 008 малих планет мають впевнено визначені орбіти та їм присвоєно постійні номери, а 676 661 – ненумеровані малі планети, комет – 4580. Кількість навколоземних астероїдів (NEA) дорівнює 33 194, серед яких 846 об'єктів типу 1+km NEA і 2 363 – потенційно небезпечних (PHA). (Minor Planet Center. MPC website).

Додамо, що переважною більшістю астероїди, відкриті останніми роками, були виявлені засобами роботизованих телескопів у межах проєктів LINEAR

(http://www.ll.mit.edu/linear), LONEOS (https://asteroid.lowell.edu/asteroid/loneos) і NEAT (http://neat.jpl.nasa.gov) протягом 1998–2003 років. Наприклад, рис. 1.1 ілюструє стрімку динаміку зростання за роками кількості відкриттів навколоземних астероїдів різними космічними апаратами, – ця інформація постійно оновлюється на веб-сайті Discovery Statistics Center for Near Earth Object Studies, JPL NASA. Рисунок як “public domain” запозичений з https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/site_all.html (автор – Alan B. Chamberlin).

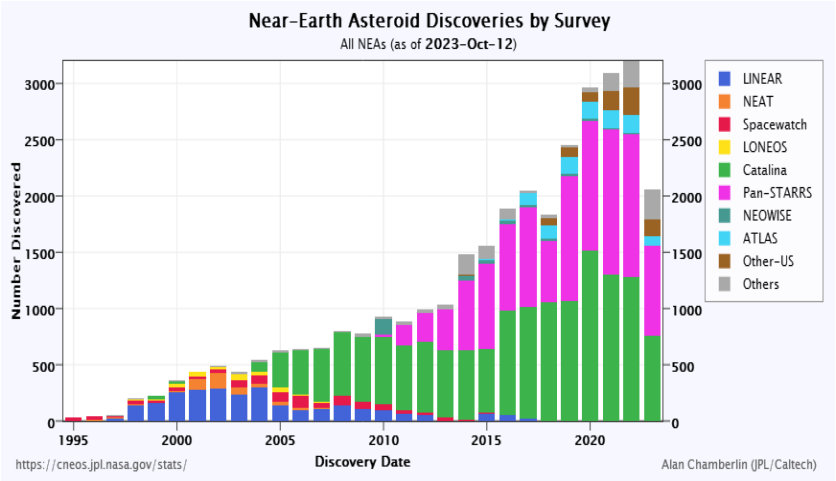


Рис. 1.1. Кількість відкриттів Near-Earth Asteroids різними супутниковими апаратами за роками.

Професійні астрономи обсерваторій України і астрономи-аматори зробили вагомий внесок у відкриття нових астероїдів. З моменту відкриття в 2001 р. в Андрушівській астрономічній обсерваторії (Україна) одним зі своїх напрямків діяльності астрономи обрали дослідження малих планет, перші з яких відкрили у 2003 році. На початок 2022 р. 149 астероїдів, відкритих у Андрушівській астрономічній обсерваторії, отримали номери. За цими показниками Андрушівська астрономічна обсерваторія увійшла до самих найпродуктивніших обсерваторій світу.

По-друге, програмним забезпеченням ColiTec, створеним спеціально для автоматичного пошуку малих тіл Сонячної системи, було попередньо відкрито на серіях ПЗЗ-кадрів чотири комети і біля півтори тисячі астероїдів станом на

2015 р. (Саваневич та ін., 2015). Варто відзначити, що програмне забезпечення було застосовано для відкриття астероїдів в Андрушівській астрономічній обсерваторії, так і апробовано в багатьох обсерваторіях України та світу.

1.2. Фізичні та кінематичні характеристики астероїдів із спостережень

Астероїди як небесні об’єкти мають свої фізичні і кінематичні характеристики, які зазвичай описують фізичні властивості тіл (розміри, маса, абсолютна зоряна величина, поверхня і її внутрішній склад, густина речовини та інші) і особливості руху в просторі (елементи орбіт, їх еволюція з часом, фактори впливу інших тіл, координати). Позиційними характеристиками астероїдів є такі кінематичні, які описують місце розташування в просторі за допомогою координат у певний момент часу в заданій системі координат та відліку.

Не всі астероїди мають впевнено визначені фізичні характеристики. Зазвичай найкращий спосіб їх визначень – вивчення впливів безпосередніх гравітаційних взаємодій з іншими об’єктами, під час прольоту астероїда неподалік Землі, збурень астероїдів або візуальних транзитів у випадках покриття зображень астероїдів і зір, у результаті польотів космічних апаратів до астероїдів та роботи посадкових модулів. Зокрема розміри астероїдів обчислюють за параметром світності, а саме здатністю їхньої поверхні відбивати чи розсіювати світло – альбедо. Серед методів визначення розмірів і мас астероїдів виділяють астрофізичні (фотометричні, поляриметричні та інші) методи, метод радарного зондування, зі спостережень на телескопах з адаптивною оптикою, за допомогою космічних апаратів.

Астероїди зазвичай мають неправильну форму, оскільки, на відміну від карликових планет, характеризуються низькою масою, якої недостатньо для досягнення гідростатичної рівноваги і набуття кулястої форми.

Більшість астероїдів мають періоди обертання від 2 до 20 годин. Але є декілька десятків астероїдів, що найбільш повільно обертаються з періодами принаймні 1000 годин або 41 день. Також є астероїди, що найбільш швидко обертаються, з періодами менше 100 секунд (0.027 години). Всі астероїди, що швидко обертаються, не мають номерів і являють собою навколоземні об'єкти з діаметром менше 100 метрів. Внаслідок обертання, ми спостерігаємо регулярні зміни зоряної величини таких астероїдів.

Є також подвійні, потрійні системи астероїдів, в яких спостерігаються основне тіло і компаньйони, гравітаційно пов'язані один з одним, обертаючись навколо спільного центру мас. Перша з таких систем, бінарна (243) Ida, була відкрита в 1993 р. під час прольоту повз неї космічного апарата «Галілео».

Станом на жовтень 2020 р. в базі даних Джонстона (Johnston, 2018; 2019) за адресою http://www.johnstonsarchive.net/astro/index.html була зібрана інформація стосовно 416 таких небесних тіл (Kazantseva & Shatokhina, 2020). Нині відомо про 512 астероїдів і транснептунових об'єктів із супутниками. Серед них: 496 подвійних астероїдів, 14 потрійних систем, 1 четверна система ((130) Elektra), 1 система з шістьома складовими ((134340) Pluto). За приналежністю до динамічних класів (сімейств) їх можна розподілити на: 251 астероїд Головного поясу, 97 навколоземних, 33 астероїди, чиї орбіти перетинають орбіту Марса, 7 троянців та 124 транснептунових об'єкти. Пошуки множинності астероїдів відбуваються різними методами (космічний телескоп Хаббл та інші космічні апарати, спостереження за допомогою наземних телескопів, радарів, фотометричні спостереження і аналіз кривих блиску та ін.). Дані стосовно астероїдів із супутниками в базі Джонстона постійно оновлюються, наводиться інформація щодо назв, переліку, статистики, деяких фізичних параметрів, перших відкриттів і методів детектування, посилань на відповідні наукові джерела та широковідомі бази даних (JPL Small-Body Database Lookup, NEODyS, AstoDyS, Asteroid Lightcurve Database (LCDB)), ступеню перевіреності інформації.

У залежності від кольору, альбедо, хімічного складу його поверхні кожен астероїд можна віднести до того чи іншого класу. Спектральна класифікація астероїдів базується на показниках кольору, альбедо та характеристиках електромагнітного спектру відбитого сонячного світла, що дає можливість систематизувати фізичні властивості астероїдів та дослідити їх внутрішній склад як фрагментів протопланетного диска, які залишилися після утворення Сонячної системи. В даний час існує ряд класифікацій – від розподілу астероїдів на три класи C, S, U і до класифікації Толена з 14 типів астероїдів, сформованої на основі широкосмугових вимірювань спектрів та альбедо, а також класифікація SMASS з 24 типів за результатами проєкту «Спектральне вивчення малих астероїдів Головного поясу» (SMASS) і його модифікацій. На сьогодення процес класифікації не завершено, але достеменно точно виділено 3 основні класи астероїдів, залежно від хімічного складу метеоритів: клас C – на основі метеоритів з високим вмістом вуглецю; клас S – на основі кам'яних метеоритів; клас M – на основі залізних метеоритів. Схематичний просторовий розподіл астероїдів за класами подано на рис. 1.2, запозиченого зі статті (Lang, 2011).

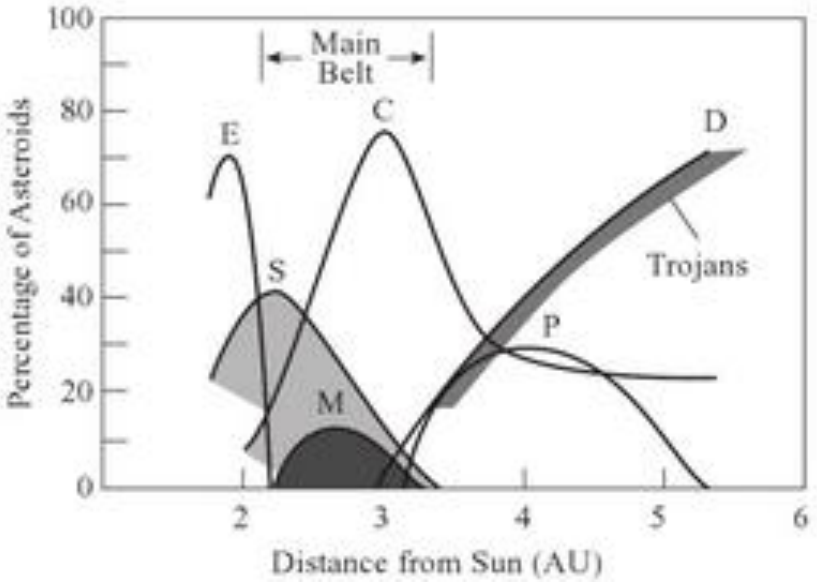


Рис. 1.2. Розподіл спектральних типов астероїдів за відстаню від Сонця в а.о. (Lang, 2011).

В Україні значних досягнень у визначенні фізичних параметрів астероїдів Головного поясу і тих, що наближаються до Землі, отримав в останні роки колектив авторів у складі Д.Ф. Лупишка, І.М. Бельської, М.М. Кисельова, Ф.П. Величка., В.Г. Шевченка, Ю.М. Круглого та ін. з НДІ астрономії Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна (зокрема див. Лупишко та ін., 2008). Багаторічна історія наукових досліджень з цієї тематики представників наукової школи академіка М.П. Барабашова добре описана в «200 років Харківської астрономії» (під ред. Шкуратова Ю.Г., 2000). Їх фотометричні спостереження, а пізніше і поляриметрія, були найбільш ефективними методами досліджень, які забезпечили величезний обсяг даних про альбедо та розміри, визначення форми та параметри обертання астероїдів, вивчення оптичних властивостей їх поверхонь, виявлення та вивчення подвійних систем серед астероїдів. До початку радарних спостережень фотометрія була єдиною можливістю вивчення форми і осьового обертання астероїдів, яка заснована на спостереженнях їх кривих блиску, тобто варіацій блиску астероїдів, пов'язаних з їх осьовим обертанням.

У ГАО НАНУ отримана низка не менш важливих досягнень в області дослідження малих планет Сонячної системи. Розенбуш В.К., грунтуючись на власних спостереженнях астероїдів (44) Nysa і (64) Angelina, відкрила поляризаційний опозиційний ефект у високоальбедних об’єктах (Rosenbush et al., 2000; 2005), раніше передбачений теоретично (Mishchenko, 1993). В 2000 р. на її честь було названо одну з малих планет (18114) Rosenbush.

Як зазначено про досягнення з фізики тіл Сонячної системи до 75-річчя ГАО НАН України: «…М.І.Міщенко та Ж.М.Длугач застосували (1991—1996) теорію слабкої локалізації фотонів (ефект когерентного зворотного розсіяння) для пояснення формування опозиційного ефекту яскравості у деяких тіл Сонячної системи і для кілець Сатурна. Е.Г.Яновицький, М.І. Міщенко і Ж.М. Длугач створили (1970—1990) унікальний комплекс алгоритмів і програм розрахунків властивостей випромінювання, що розсіюється тілами Сонячної системи…», «…Відкрито поляризаційний опозиційний ефект для класу

високоальбедних об’єктів, що підтвердило ефективність механізму слабкої локалізації електромагнітних хвиль при розсіюванні світла (В.К. Розенбуш, М.М. Кисельов)…» (Яцків Я.С. (Ред.). (2018). Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України: від ідеї створення до міжнародного визнання, с. 316) [1].

У прогнозуванні точних ефемерид астероїдів велику роль відіграють як реальні позиційні спостереження, так і фізичні характеристики астероїдів. Визначення та уточнення орбіт астероїдів, і особливо потенційно небезпечних, є одним із важливих завдань. Орбіта небесних тіл визначається з його спостережень. Донедавна більшість позиційних спостережень небесних тіл виконувались фотографічним способом. За останні роки цей спосіб майже повністю був витіснений новою технологією, що базується на використанні ПЗЗ-матриць. Хоча процес переходу від виміряних до сферичних координат об’єктів за допомогою опорних зір в двох методах однаковий, проте краща точність положень досягається за рахунок вимірювань зображень на ПЗЗ-матриці, а також більшої світлочутливості матриці. Радіолокаційні спостереження астероїдів, засновані на часовій затримці сигналу і доплерівському зсуву частоти вимірюваного сигналу дають не тільки кращу точність порівняно з оптикою, але і дозволяють визначити відстань до астероїдів, інформацію про розміри, форму, обертання та структуру поверхні астероїдів. Радарні і частково доплеровські спостереження астероїдів використовуються разом із оптичними в JPL для більш вірогідного прогнозування ефемерид (Jet Propulsion Laboratory. Horizons Web Application. JPL website, https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/app)

Нині для фотографічних спостережень минулих років у світі застосовують інший підхід – з використанням цифрових технологій щодо вимірювань астронегативів і їх подальшої редукційної обробки. Завдяки такому підходу може бути отримана значно краща точність для таких фотографічних

[1] цитовано за кн. «Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України: від ідеї створення до міжнародного визнання» / за ред. Я.С. Яцківа. –Київ: Наукова думка, 2018. –376 с.

спостережень. З початку 21 століття в європейських астрономічних обсерваторіях прискорюється процес оцифрування фотографічних архівів астронегативів, накопичених упродовж 20 століття. Для цього використовуються не тільки спеціалізовані скануючі машини, але і малобюджетні планшетні пристрої.

Так на планшетних сканерах отримані оцифровані зображення багатьох тисяч астронегативів в Зоннеберзі (Німеччина), Пулкові (Росія), Таутенбурзі (Німеччина), Асьяго (Італія), Бюракані (Арменія), Бамберзі (Німеччина), Коколі (Угорщина) і Ватикані. На базі оцифрованих зображень виконується пошук змінних і кратних зір, спалахів нових зір, гамма-спалахів, пошук навколоземних астероїдів, комет, супутників великих планет та ін. При цьому потрібно зазначити, що навіть в окремому скляному архіві такий пошук фізично неможливо здійснити з точки зору відсутності його впорядкованості, алгоритмів пошуку, витрат часу, продуктивності або, взагалі, фізичної віддаленості архіву для спільного використання багатьма користувачами[2].

1.3. Фотографічні спостереження минулих років в обсерваторіях України

Три обсерваторії світу мають найбільші фотографічні колекції фотографічних пластинок – Гарвардська обсерваторія США, Зоннеберзька обсерваторія (Німеччина), та Астрономічна обсерваторія Одеського національного університету імені І. І. Мечникова (Україна), в архівах якої міститься близько 104 тис. пластинок, які разом утворюють:

- колекцію (так звану «стару одеську колекцію») з приблизно 10 000 пластинок, отриманих за спостереженнями в 1945–1957 рр. в Одесі на трьох астрографах.

[2] Звіт про НДР «Створення бази даних астронегативів УкрВО», що виконана в рамках наукового проекту « Визначення кінематичних параметрів Об»єктів Всесвіту в міжнародній небесній системі координат, 2010

- колекцію ширококутних пластинок семикамерного астрографа в с. Маяки Одеської області, яка налічує 84 000 пластинок, отриманих за спостереженнями 1957–1998 рр.
- симеїзьку колекцію знімків малих планет (біля 10 000), експонованих в 1909–1953 рр., яку було передано до Одеської обсерваторії.

Велику частину спостережень складають ширококутні патрульні фотознімки зоряного неба, отримані за програмами пошуку змінних зір і вивчення проблем зоряної змінності інших об’єктів. Крім патрульних експозицій фотографувалися сутінкові явища, комети, астероїди, штучні супутники Землі, деякі квазари та ін.

Колекція астрономічних пластинок ГАО НАН України нараховує близько 85 000 астронегативів, отриманих для різних астрономічних проєктів, починаючи з 1949 р. З них близько 26 500 – це прямі знімки ділянок північного неба. Спостереження було виконано на 5 інструментах ГАО та зарубіжних інструментах в експедиціях (Еквадор, Болівія, Узбекистан, Росія, Арменія). За тематичною спрямованістю велися спостереження за програмами ФОН, МЕГА, малих і великих планет Сонячної системи, їх супутників, комет, ділянок з радіоджерелами, подвійних зір, зоряних скупчень, вибраних небесних об’єктів для спеціальних досліджень та ін.

Архів НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія» складений із двох частин – спостереження 1929–1931 рр. в ГАО РАН (Пулково, Росія) та спостереження 1961–1999 рр. в Миколаєві, виконані за допомогою Зонного астрографа. На цьому інструменті велися регулярні фотографічні спостереження тіл Сонячної системи з метою визначення їх точних положень, комет, а також спостереження ділянок зоряного неба для створення спеціальних зоряних каталогів. Загальна кількість фотографічних пластинок становить близько 8.5 тис, які майже на 100 % оцифровані на поточний момент. Отримані результати з визначення положень малих тіл Сонячної системи визнавались за точністю й чисельністю найкращими в Україні та другими (після ГАО РАН) серед обсерваторій колишнього СРСР.

В Астрономічній обсерваторії Львівського національного університету ім. Івана Франка наявні фотопластинки періоду спостережень 1939–1976 рр. та загальною кількістю близько 8 тис. Серед них близько 6 тис. ширококутних пластинок з прямими фотографіями північної частини неба, отримані за допомогою камери з об'єктивом триплетом Цейса 50/10. Проводились спостереження комет, пошук і дослідження нових зір, змінних зір, малих планет, місячних затемнень.

Лабораторія космічних досліджень Ужгородського національного університету була задіяна в мережі спостережень геостаціонарних супутників Землі, пізніше проводила фотографічні та фотометричні спостереження малих тіл Сонячної системи та явищ покриттів зір Місяцем, планетами та астероїдами. Має архіви фотографічних спостережень періоду 1970–1995 рр. та ПЗЗ-спостережень.

В Астрономічній обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка перші спостереження розпочаті були в 1895 р. за допомогою подвійного астрографа Мерца-Репсольда. Такі спостереження не були регулярними і систематичними. Проте збереглося лише 50 знімків цього періоду, починаючи з 1898 р., які зараз оцифровані. Це експозиції комет, деяких великих планет Сонячної системи, Місяця, окремих зоряних полів. З 1945 рр. були відновлені фотографічні спостереження, а спостереження комет стали однією з найактивніших програм обсерваторії. Найчисельніші спостереження малих планет виконані були у 1946–1953 рр (за інформацією МРС). Загалом в базі даних МРС є інформація щодо більше 1000 положень малих планет, отриманих із спостережень 1933–1990 рр. (за кодом 085) і біля 60 спостережень періоду 1975–1987 рр., виконаних з телескопом АЗТ-8 спостережної станції Лісники́ АО КНУ (за кодом 585).

З 1940 р. були розпочаті фотографічні спостереження хромосфери Сонця за допомогою фотогеліографа, за результатами яких збереглося 74 знімка. Пізніше була розпочата програма фотографічних спостережень Місяця, зоряних

ділянок в околі радіоджерел, штучних супутників Землі, Плутону та Урану, супутників Марсу, фотометрії Юпітера та ін.

На жаль, не всі астронегативи збереглися. Для деяких з них залишились тільки результати обробки у вигляді опублікованих положень малих планет, комет та інших небесних об’єктів. За попередніми оцінками склотека АО КНУ налічує близько 20 тис. фотознімків.

До архіву обсерваторії нещодавно були передані астронегативи розміром 9х12 см, отримані І.І. Путіліним в 1924–1925 рр.. На знімках експоновані 26 малих планет і комета Шайна, причому на більшості негативів одночасно сфотографовано декілька астероїдів. Значна кількість даних з цих астронегативів була оброблена, а результати опубліковані в 1929 р. в Astronomische Nachrichten. Нині всі астронегативи оцифровані, для деяких з них виконана редукційна обробка оцифрованих даних з сучасними зоряними каталогами.

На сьогочасний момент в астрономічних обсерваторіях України налагоджено процес впорядкування, збереження та оцифрування скляних астронегативів, дані яких підключаються до ОЦА УкрВО. На багатьох телескопах замість фотографічних астронегативів встановлені ПЗЗ-приймачі, за допомогою яких продовжено спостереження небесних тіл та астероїдів зокрема. Найбільш численними з них є спостереження штучних супутників Землі, околоземних NEA та потенційно небезпечних PHA астероїдів, явищ астероїдних і кометних транзитів через зображення зір з метою визначення фізичних характеристик астероїдів і комет.

1.4. УкрВО: створення, цілі, задачі, можливості та досягнення

На початку XXI століття ідея віртуалізації даних охопила наукову астрономічну спільноту світу, відкриваючи нові можливості щодо швидкого доступу до численних даних спостережень і їх початкової обробки. Поряд із створенням віртуальних обсерваторій, реалізація цієї ідеї відображалась не

стільки у створенні баз даних через впорядкування, систематизацію і оцифрування минулих астрономічних спостережень чи інших даних публікацій, журналів, каталогів, скільки у створенні засобів користування цими електронними даними та їх попередньої обробки. Такі засоби – це інтерфейси пошуку за різними критеріями, порівняння, крос-ідентифікація даних в різних каталогах, програмне ототожнення зоряних полів пластинок, навіть з невідомими координатами, попередня обробка оцифрованих зображень та ін. Наприклад, наші результати з переопрацювання спостережень астероїдів, описані в розділі 4 цієї роботи, майже неможливо було б отримати без оцифрованих версій зоряних каталогів і сервісів для роботи з ними Страсбурзького центру астрономічних даних. Важливу роль відіграють формати запису даних, які повині бути стандартизованими для успішного обміну інформаційними ресурсами.

Ідея створення віртуальних обсерваторій виникла в 1990-х роках у зв'язку з тим, що впродовж XX ст. у багатьох обсерваторіях світу було накопичено величезний обсяг астрономічної інформації в результаті виконання фотографічних, ПЗЗ- і спектральних спостережень небесних об'єктів у широкому діапазоні електромагнітного спектра за допомогою наземних і космічних телескопів. До того ж, з розвитком досліджень космічних місій обсяги інформації продовжували стрімко збільшуватись. Тому реалізація ідеї віртуальної обсерваторії постала на часі. Наприкінці 1990-х рр. розпочалися підготовка і здійснення міжнародних проєктів зі створення віртуальних обсерваторій: Astrogrid (Велика Британія), Астрофізична віртуальна обсерваторія (Європа) і Національна віртуальна обсерваторія США. Оскільки завдання і вирішувані проблеми виявилися однаковими, постала необхідність виробити спільні шляхи створення віртуальної обсерваторії з глобальними можливостями. Ідея об’єднати зусилля національних проєктів і створити міжнародну астрономічну віртуальну обсерваторію обговорювалась на Генеральній асамблеї Міжнародного астрономічного Союзу в 2000 році. Вже 2002 р. за підтримки на XXIV Генеральній асамблеї Міжнародного

астрономічного союзу було створено Міжнародний альянс віртуальних обсерваторій IVOA (http://www.ivoa.net). На поточний момент в IVOA взяли участь 20 віртуальних обсерваторій, кожна з яких надала у вільний доступ свої архіви, бази даних в єдиних форматах IVOA та розроблене для роботи з ними програмне забезпечення. Основна мета IVOA – координація співпраці для розвитку інфраструктури, потрібної для повноцінного використання інтегрованих астрономічних архівів і сумісності національних віртуальних обсерваторій, як наприклад, відкритість ресурсів, моделі даних, протоколи доступу до них, мережі і мережеві послуги, безпека, семантика, мови запитів, візуалізація даних тощо. Основними принципами є наявність даних спостережень в електронному форматі, їх відкритість і доступність широкому загалу, створення програмних засобів для отримання цієї інформації – інтерфейсів, забезпечень та ін. Створення національних VO та членство в IVOA можливі за наявності у країні-учаснику великих астрономічних центрів даних або національних астрономічних проєктів, які підтримуються на державному рівні.

Україна також долучилася до нового напрямку розвитку науки XXI століття – астроінформатики. Створення віртуальної обсерваторії йшло шляхом об’єднання на базі ГАО НАНУ спостережних ресурсів п’ятьох обсерваторій: Львівського, Одеського, Київського національних університетів, Миколаївської обсерваторії, Симеїзської станції спостережень, які складають понад 200 тис. астронегативів. Для досягнення мети створення УкрВО необхідно було створення гомогенних електронних архівів астроінформаційних ресурсів на основі оцифровки даних і обробки інформації в склотеках установ, що являють цілком розрізнені гетерогенні бази даних; а також створення системи онлайн-доступу до цих інформаційних ресурсів включно з тестуванням її. Оскільки дані спостережень в архівах зберігаються в різних форматах, але відповідно до концепції VO повинні бути описані і надані для користування в загальному, однаковому для всіх форматі, то одним з головних завдань при створенні VO є робота по впорядкуванню даних, яка потребує багато зусиль і часу.

Як записано на сайті УкрВО (Ukrainian Virtual Observatory – archives, UkrVO website, 2023) за адресою http://ukr-vo.org/resources/index.php щодо даних про наявність, загальний стан зберігання архівів спостережень українських обсерваторій і опрацювання інформації з них: «…Спостереження за небесними об'єктами в цих обсерваторіях велися в XX столітті на різних інструментах, у різні роки, як і в рамках широкого спектра наукових програм, у т.ч. космічних місій, і мають на сьогоднішній день різну ступінь готовності надання даних у стандартах IVOA (в т.ч. відсоток паспортизованих від загальної кількості даних), що визначає різноманіття і нинішню гетерогенну структуру інформаційного ресурсу обсерваторій України.

Основна складова цього інформаційного ресурсу - це неоцифровані скляні бібліотеки обсерваторій України, яки становлять собою важкодосяжне сховище великого обсягу астрономічних даних, найчастіше оброблених на кілька відсотків від їх справжнього потенціалу. За підрахунками Цвєткових, головних кураторів WFPDB», «…скляні архіви тільки трьох українських обсерваторій - Кримської, Одеської та Миколаївської - налічують більше 100 тис. негативів, і це тільки ширококутні платівки до яких не входять спектральні та інші спостереження. Дійсно, унікальною колекцією астронегативів є третя в світі склотека Астрономічної обсерваторії Одеського університету, що налічує близько 100 тис. платівок включно з колекцією Симеїзької обсерваторії 1930-1950 років…» (Ukrainian Virtual Observatory – archives, UkrVO website, 2023).

В ГАО НАН України було проведено аналіз складу та систематизацію колекції астропластинок, а з 2002 року розпочато активну роботу з організації зберігання, охорони, каталогізації та оцифрування архівів спостережень, в тому числі астронегативів у склотеці. Була систематизована вся наявна інформація про спостереження: фотографічні, ПЗЗ-, спектральні, які були отримані з 1949 р. в ГАО НАНУ та в експедиціях. Реорганізовано і впорядковано місця зберігання всіх астронегативів і зроблено відповідний електронний перелік їх місцезнаходження. Розпочата робота зі створення електронних картотек спостережень, які включали: попередню обробку даних про дату та час

спостереження і подання цієї інформації в однаковому стандартному вигляді, об'єкт спостереження, розміри пластинок, екваторіальні координати центру і робоче поле пластинок, кількість експозицій, їх тривалість і визначення середніх моментів часу спостережень для кожної з них, типи пластинок за чутливістю їх емульсій, наявність фільтрів, діафрагм та інших пристроїв, корегуючих світловий потік при спостереженнях, наявність рукописних журналів спостережень, дані щодо якості спостережного матеріалу, приблизна гранична зоряна величина та місцезнаходження астронегатива, часовий кут та температурний режим спостережень, інформація про спостерігачів. Такий детальний інформаційний перелік складався для кожного архіва спостережень, виконаних на кожному окремому телескопі або фотографічній трубі телескопа. Кожний архів мав свою назву – ідентифікатор, за яким відбувалась ідентифікація спостережень, їх пошук в базах даних, аналіз даних тощо. Як приклад, на рис. 1.3, праворуч подана інформація про деякі такі ідентифікатори і кількість спостережень, зазначена по кожному з них.

Більшість із перерахованих пунктів вище згаданого переліку входить до складу обов'язкових електронних форматів даних для включення в WFPDB – бази даних Wide-Field Plate Database, яка містить описову інформацію про астрономічні широкопольні (>1°) фотографічні спостереження, що зберігаються в численних архівах по всьому світу. Її розробниками є Tsvetkov M.K.; Stavrev K.Y.; Tsvetkova K.P.; Mutafov A.S.; Semkov E.H.; Kalaglarsky, D. (Болгарія). Вона знаходиться за адресою http://www.skyarchive.org і доступна також через VizieR з ресурсу CDS. Загальна кількість спостережень, інформація про які включена в WFPDB і які отримані були з кінця 19 століття більш ніж 200 приладами (телескопами), становить близько 2 550 000 з 572 архівів (за даними http://www.skyarchive.org на 2017 р.). WFPDB постійно оновлюється, забезпечуючи наразі доступ до інформації, що складає приблизно 30 % від усієї в світі передбачуваної кількості широкоформатних пластинок.

З придбанням сканера Microtek ScanMaker 9800XL ТМА в ГАО НАНУ і одночасно зі створенням і інформаційним наповненням електронних картотек

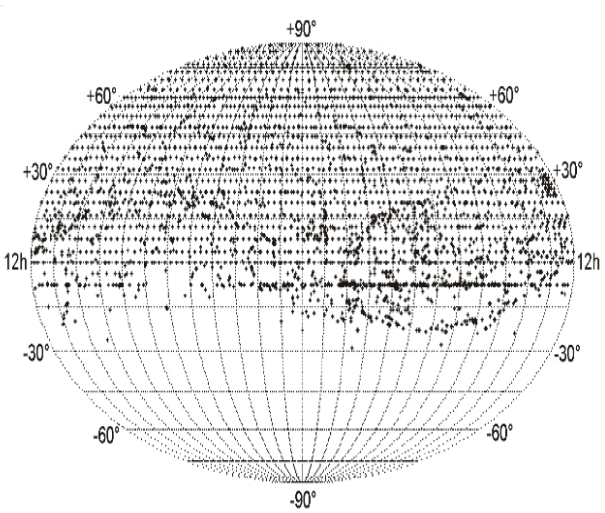
були проведені оцифрування записів рукописних журналів спостережень, виконані попередні превью астронегативів. Розпочалися дослідження інструментальних похибок сканера для виконання подальшої редукційної обробки сканів у разі повномасштабного оцифрування астронегативів з високою роздільною здатністю. Згодом зроблено було висновок, що астрометричні та фотометричні дослідження можна проводити за допомогою таких комерційних сканерів. Планувалось відсканувати архів пластинок за пріоритетністю наукових завдань і їх виконання з огляду на великий обсяг для оцифрування всіх спостережних даних. Першочерговим науковим завданням було створення автоматизованої системи виявлення астрономічних об’єктів і явищ, пошуку оптичних відповідників у напрямках гамма-спалахів, дослідження довгоперіодичних, спалахових та інших змінних зірок, пошуку та повторного відкриття астероїдів, комет і інших тіл Сонячної системи для вдосконалення елементів їх орбіт, інформаційної підтримки ПЗЗ-спостережень, космічних проєктів тощо (Sergeeva et al., 2007).

Електронні картотеки (дані журналів спостережень) більш ніж для 26 500 пластинок колекції ГАО НАНУ, котрі є прямими знімками неба, були створені та розміщені на веб-сторінці ГАО, адаптовані до формату міжнародної бази даних ширококутних спостережень WFPDB та інтегровані в цю світову базу даних (Sergeeva et al., 2006a; Tsvetkova et al., 2009). На рис. 1.3 показані приклади поступового інтегрування архівів в WFPDB, та для одного з найчисельніших GUA040C з них подано схематичний розподіл на небесній сфері всіх спостережень за координатами центрів астронегативів. Поряд із архівами ГАО НАНУ включені до WFPDB також були архіви інших астрономічних обсерваторій.

Колекція астронегативів ГАО НАН України налічує близько 80 тис. пластинок, які були зроблені в різних обсерваторських проєктах протягом 1950–2005 років. З них каталогізовано біля 26.5 тис. пластинок, оцифровано біля 4 %. А також є більше 600 000 пластинок, що містять спектри зоряних, планетних і активних сонячних утворень. За даними УкрВО дві університетські

обсерваторії - Львівського і Київського національних університетів - також налічують близько 30 тис. астропластинок (за даними сайту УкрВО: http://ukr-vo.org/resources).

WFPDB identifier	Plate storage in	Time coverage	Number of plates
CRI017A	Crimean Obs., Simeiz	1948—1965	570
CRI017B	Crimean.Obs., Nauchnyi	1951—1953	49
CRI040A	Crimean Obs., Simeiz	1947—1948	218
CRI040B	Crimean Obs., Nauchnyi	1951—1965	511
GUA010A	Main Astron. Obs.	1957—1961	438
GUA010B	Main Astron. Obs.	1957—1961	277
GUA011A	Main Astron. Obs.	1955—1957	35
GUA011B	Main Astron. Obs.	1955—1957	55
GUA012A	Main Astron. Obs.	1949—1990	2041
GUA012B	Main Astron. Obs.	1949—1978	2150
GUA015	Main Astron. Obs.	1955—1961	162
GUA040C	Main Astron. Obs.	1976—1998	4276
GUA040D	Main Astron. Obs.	1976—1997	1834



All-sky distribution of the GUA040C plate centers

Рис. 1.3 Ліворуч – Частина спостережних архівів, що включена до WFPDB. Праворуч – Схематичний розподіл на небесній сфері всіх фотографічних спостережень одного з найчисельніших архівів ГАО НАНУ GUA040C за координатами центрів астронегативів.

Необхідно додати, що за своєю структурою база даних WFPDB мала декілька недоліків через неповну або приблизну інформацію, особливо щодо даних чисельних експозицій в межах одного астронегатива, часу спостережень з високою для позиційних визначень точністю та ін.

Наступним кроком була адаптація наших каталогів, бази даних і оцифрованих зображень астронегативів до стандартів IVOA. Паралельно з інтеграцією архівів до WFPDB ми складали і створювали в ГАО онлайн-версію бази даних архіву пластинок як VO-сумісних структур відповідно до принципів, розроблених Міжнародним альянсом віртуальних обсерваторій, щоб зробити їх доступними для світової астрономічної спільноти. Онлайн-версія бази даних побудована за допомогою MySQL+PHP (Pakuliak & Sergeeva, 2006; 2007). На основі електронних картотек була створена розширена онлайнова –

доступна через мережу Інтернет – база даних архіву пластинок DBGPA, яка дозволила підключати, перевіряти та коригувати будь-які об’єми нових даних. Пізніше було суттєво розширено функціональні можливості програмного пакету керування базою даних DBGPA, які дозволяють користувачеві не тільки поповнювати базу даних з віддалених комп’ютерів, робити верифікацію та коригування даних, виконувати пошук за різними наборами пошукових параметрів, а й працювати віддалено з відсканованими зображеннями, сканами журналів спостережень тощо. Як наслідок створено нову версію бази даних DBGPA V2.0, програмний пакет якої дозволяє будь-якому віддаленому користувачеві доступ до сукупних даних архіву через пошуковий інтерфейс і механізм формування запитів.

За створення і інформаційне наповнення бази даних DBGPA V2.0 колектив авторів ГАО НАНУ у складі Пакуляк Л.К., Сергеєвой Т.П., Головні В.В., Їжакевич О.М., Шатохіної С.В,. Кізюн Л.М. отримав авторське свідоцтво ДСІВ України: База даних "Електронна база даних фотографічного архіву астрономічних негативів та програмний інформаційно - пошуковий інтерфейс до неї (DBGPA V2.0)", № 41300 від 09.12.2011.

Інтерфейс бази даних дозволяє зробити пошук за номером пластинки, за його ідентифікатором, за окремою ділянкою неба, обмеженою координатами, за іншими ознаками, а також підключати оригінальні журнали спостережень в електронному вигляді, передивлятись превью пластинки, робити вибірки з доступних зоряних каталогів на ділянку поля пластинки та ін. За результатами такого пошуку на рис. 1.4 приведено скріншот окремого запису спостереження з бази даних DBGPA V2.0 на поточний момент часу. За номером № 3333 вибрано всі наявні записи бази даних з такими номерами пластинок, але різними ідентифікаторами (вгорі рисунка). Перегляд записів кожної з них (у даному випадку за ідентифікатором unique ID =16564 або ідентифікатором архіву GUA040C) – внизу рисунка. Переглянути також можна превью пластинок, приклади яких для інших записів у форматі jpg наведено на рис. 2.6 з наступного розділу 2.4.

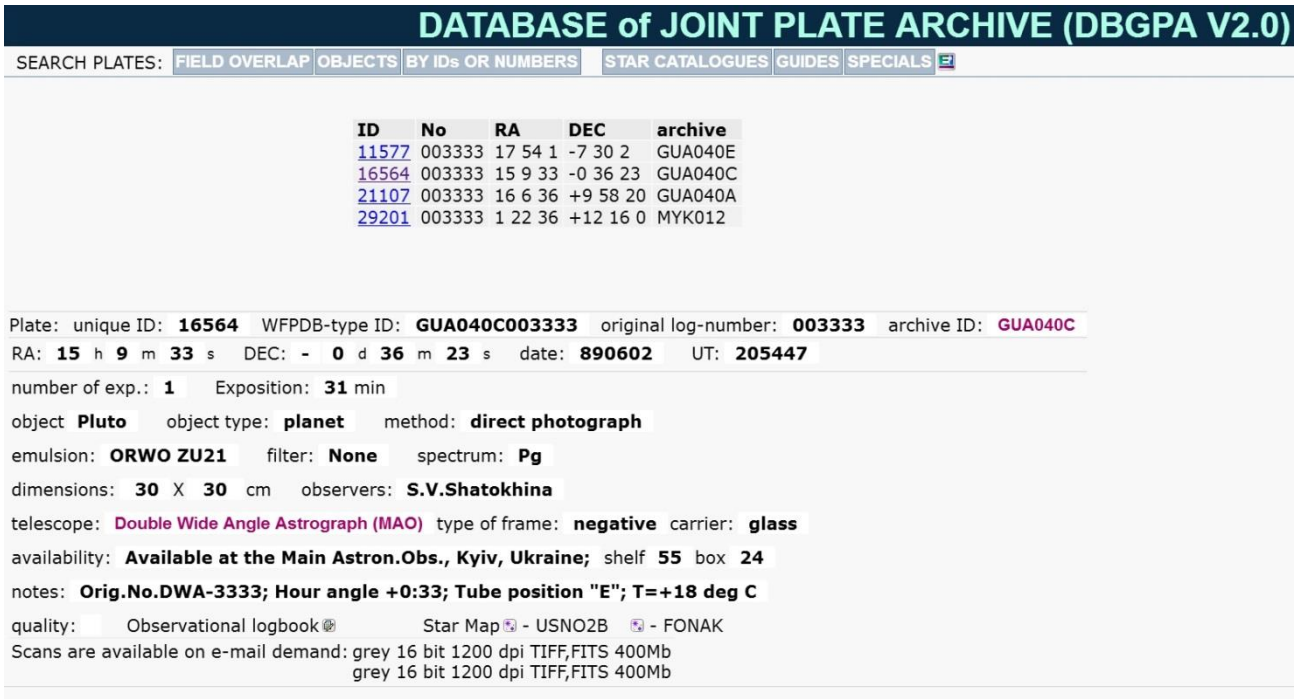


Рис. 1.4. Скріншот окремого запису спостережень за ідентифікатором GUA040C003333 бази даних DBGPA V2.0.

Як наслідок, у 2011 р. Українська Віртуальна Обсерваторія (УкрВО) була зарахована 20-м членом IVOA. До активів IVOA УкрВО надала свої архіви у вільний доступ та користування. Місцем дислокації баз даних, сервісів, інформаційних джерел, документів і інструментів УкрВО є створений сайт УкрВО (http://ukr-vo.org). Основні статутні вимоги участі в IVOA, котрих повинні дотримуватись всі учасники проєкта:

— «…це використання лише тих стандартів, протоколів і форматів подання, зберігання й обміну даними, які розроблені й продовжують удосконалюватися міжнародною спільнотою».

— «…підтримання відкритості даних і вільного обміну як даними, так і програмними продуктами, що розроблені в рамках ВО на некомерційній основі, але з урахуванням пріоритетних прав періоду старту нових проектів…» (Вавилова та Пакуляк, 2012).

Ядром УкрВО є Об’єднаний цифровий архів (ОЦА, JDA) астрономічних даних, що створений на базі електронних архівів спостережень в оптичному, УФ-, радіо- та гамма-діапазонах електромагнітного спектру обсерваторій

України та інформаційна система доступу до цих даних. На сьогочасний момент ОЦА Української віртуальної обсерваторії (http://ukr-vo.org) складено із спостережень, проведених у 1898–2018 рр. на спостережних пунктах 8 українських обсерваторій і 50 інструментах. Архів УкрВО охоплює відомості про близько 40 тис. астропластинок. Окрім колекцій прямих знімків пластинок, він налічує близько 50 000 спектрів, отриманих у 1960–1995 роках, переважно зі змінними зорями (Вавилова та Пакуляк, 2012; Vavilova et al., 2010; 2011; 2017; Pakuliak et al., 2014).

Окрім даних оригінальних спостережень в УкрВО представлена будь-яка астрономічна інформація (у вигляді каталогів, таблиць, рисунків, публікацій та ін.) стосовно використання даних архіву з метою наукових досліджень небесних об’єктів Всесвіту.

Розвиток окремих віртуальних обсерваторій в різних астрономічних установах України відбувається в різних напрямах. Створення УкрВО як національного проєкту збереження астрономічних даних було розпочато в 2000-х рр. в ГАО НАН України та НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія», а потім набуло розвитку в усіх астрономічних установах України. Поступово відбулося розширення бази даних DBGPA V2.0 в напрямку долучення даних кількох українських обсерваторій – Львівської, Одеської та Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Створено різноманітні сервіси для первинної обробки інформації (прев’ю пластинок, карти неба, дані з архівів та ін.). Було розроблено і впроваджено інформаційну технологію оцифрування пластинок за допомогою комерційних сканерів у форматі, прийнятому в IVOA. З 2009 р. в ГАО НАНУ розпочато масову оцифровку астропластинок на сканерах Microtek ScanMaker 9800XL TMA та Epson Expression 10000XL. Оцифровка астронегативів продовжується і зараз, однак повільніше внаслідок проблем із збереженням великих терабайтних масивів інформації. В обсерваторіях-учасниках проєкту теж налагоджено процес оцифрування скляних негативів, дані якого підключаються до ОЦА і накопичуються на загальних ресурсах.

Коротку інформацію про кількість і наповнення архівів фотографічних, спектральних і ПЗЗ-спостережень наведено на рис. 1.5, запозиченому з роботи (Вавилова та Пакуляк, 2012).

Астроінформаційний ресурс архівів спостережень УкрВО

Організація – член УкрВО	Астроінформація (тип, кількість)	Роки спостережень	Небесні об'єкти спостережень	Ступінь готовності архіву для УкрВО
ГАО НАНУ	Платівки ~85 000	1949–1999	Галактики, квазари, змінні зорі, розсіяні зоряні скупчення, фундаментальні зорі, комети, малі планети, ШСЗ; програми ФОН, МЕГА	Каталогізовано, створено базу даних, онлайн-доступ
	ПЗЗ 16 000	2001–2003	Зоряні поля з ICRF-об'єктами	Не каталогізовано, не систематизовано
	Платівки (спектри) 1 440	1976–1981, 1984, 1985, 1989, 1990	Сонце (активні утворення)	Систематизовано, 60% оцифровано
Миколаївська АО	Платівки ~200	1929–1931	Зоряні поля, малі тіла Сонячної системи	Каталогізовано, база даних, онлайн-доступ
	Платівки 8405	1961–1999	Зоряні скупчення, зодіакальні зорі, малі планети, комети	Каталогізовано, база даних, онлайн-доступ до частини архіву
	ПЗЗ 23 300	1986–2009	Зоряні поля, фундаментальні зорі, малі тіла Сонячної системи	Каталогізовано; систематизовано, онлайн-доступ до частини архіву
КрАО	Платівки 23 500 Тел. кадри 98 000 Спектри 13 260	1909–1999	Тіла Сонячної системи, змінні зорі, дифузні туманності, зоряні поля, подвійні зорі, галактики, квазари	Систематизовано, частково каталогізовано, онлайн-доступ до частини архіву
АО КНУ	Платівки 200	1898–1916	Фундаментальні зорі, Нова 1916 р., Місяць, Сонце	Каталогізовано, база даних, локальний доступ
	Платівки >20 000	1945–1996	Фундаментальні зорі, розсіяні зоряні скупчення, квазари, Місяць, Сонце	Систематизовано близько 4 500 платівок
АО ЛНУ	Платівки ~160	1939–1945	Змінні зорі, малі тіла Сонячної системи	Каталогізовано, база даних, онлайн-доступ
	Платівки ~8 000	1946–1976	Нові та змінні зорі, покриття зір Місяцем, комети, малі планети, змінні зорі	Каталогізовано, база даних, онлайн-доступ
АО ОНУ	Платівки ~10 000 «Сімеїська колекція»	1909–1953	Малі планети	Систематизовано, каталогізовано
	Платівки старої колекції 10 000	1945–1956	Змінні зорі, комети, малі планети, ШСЗ, квазари	Систематизовано
	Колекція платівок 7-камерного астрографа 84 000	1957–1998	Змінні зорі, комети, малі планети, ШСЗ, квазари	10% каталогізовано, онлайн-доступ
ОНМУ	ПЗЗ (отримані на 6 закордонних телескопах)	2004, 2007–2011	Змінні зорі	Систематизовано, онлайн-доступ
РІ НАНУ	Радіоспектри		Позагалактичні джерела північного неба в декаметровому діапазоні	Каталогізовано, систематизовано, онлайн-доступ
УжНУ	Платівки	1970–1995	Геостаціонарні ШСЗ	Каталогізовано
	ПЗЗ	1971–2010	Криві блиску для 170 ШСЗ	Каталогізовано, доступна електронна версія

Рис. 1.5 Архіви спостережень астрономічних установ-учасників УкрВО.

Вільний доступ до багатьох оцифрованих даних IVOA надає широкі можливості щодо їх використання для вирішення багатьох наукових завдань. В Україні найкращим прикладом спільного використання оцифрованих даних архівів УкрВО та IVOA є робота щодо визначення власних рухів зір у зоряних скупченнях за результатами співпроцесингу фотографічних і ПЗЗ-спостережень, отриманих із цифрових архівів IVOA (Protsyuk et al., 2017; 2020).

Проведено низку наукових досліджень на основі оцифрованих зображень астронегативів з використанням спеціально розроблених методик оцифрування та програмного забезпечення для обробки сканованих даних. Зокрема проводилися пошук, оцифрування та редукційна обробка сканів вибраних астероїдів та супутників далеких планет, оптичних аналогів в напрямку гамма-спалахів та ін. В ГАО НАНУ з оцифрованих астронегативів УкрВО і у співпраці з колегами інших астрономічних установ отримано 7 каталогів координат та зоряних величин зір і тіл Сонячної системи (Andruk et al., 2017a; Yizhakevych et al., 2018; 2019; Yuldoshev et al., 2018; Shatokhina et al., 2019a; 2021b; Eglitis et al., 2019a), які представлені в міжнародному Страсбурзькому центрі астрономічних даних (CDS). У Додатку В вони представлені скріншотами першопочаткових записів з CDS.

За допомогою доступних через IVOA оцифрованих архівних астронегативів Паломарських оглядів неба 1950-х років в різних спектральних діапазонах сьогодні активно вирішуються не тільки дослідницькі задачі традиційного спрямування як, наприклад в цьому викладенні – виявлення зображень слабких астероїдів, які були відкриті 50 років пізніше чи інші, але й пошук і ототожнення транзієнтних об’єктів Всесвіту, природу яких досі не встановлено і пояснення цих перехідних процесів залишається незрозумілим (Villarroel et al., 2020).

1.5. Оцифрування астронегативів, похибки сканерів

В деяких країнах Європи і світу сканування астронегативів відбувається за допомогою спеціально розроблених оцифрувальних машин. Приклад тому –

машина SuperCosmos в Единбурзі (Велика Британія), Tautenburg Plate Scanner TPS (Німеччина), високоточні оцифрувальні машини у Франції, Китаї та ін. Досвід опрацювання таких сканів астронегативів є і в УкрВО. Астронегативи, отримані з 2-м телескопом Шмідта в Таутенбурзі і оцифровані за допомогою сканера TPS, були оброблені в ГАО НАНУ програмним забезпеченням, спеціально розробленим для опрацювання оцифрованих спостережень програми ФОН. Було одержано позитивні висновки щодо точностей отриманих екваторіальних координат і зоряних величин зір (Akhmetov et al., 2019; Andruk et al., 2021). Також є результати пошуку зображень астероїдів за даними цих оцифрованих негативів, які підтверджують достатньо високу точність координат отриманих положень (Yizhakevych et al., 2023).

Декілька астронегативів із фотографічними спостереженнями малих планет і Плутона з архівів НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія» були оцифровані за допомогою високоточної оцифрувальної машини Шанхайської астрономічної обсерваторії Китайської академії наук з роздільною здатністю 2540 dpi. Середня внутрішня точність отриманих положень астероїдів становила 0.01 arcsec за обома координатами. Висловлене припущення, що повторне переопрацювання всіх фотографічних спостережень на основі каталога Gaia DR2 і оцифрованих даних вимірювальної машини Шанхайської астрономічної обсерваторії може підвищити точність минулих фотографічних спостережень до рівня сучасних наземних ПЗЗ-спостережень (Protsyuk & Maigurova, 2020a).

Планшетні комерційні сканери, які нині задіяні в оцифруванні астронегативів УкрВО, раніше передбачалося використовувати в архівах тільки для попередніх оцінок координат і блиску небесних об’єктів та отримання прев'ю негативів. Даних щодо визначення високоточних положень небесних об’єктів при їх використанні практично не було.

Спеціально для вимірювань великих масивів зір на астронегативах в ГАО НАНУ було створено автоматичний вимірювальний комплекс PARSEK. Проте внаслідок неможливості виміряти завуальовані темні астронегативи за

допомогою комплексу PARSEK, у 2005 р. колективом авторів було досліджено можливість використання планшетного сканера Microtek для визначення астрометричних і фотометричних характеристик зір на астронегативах проєкту ФОН-Київ. Було отримано результат, згідно якого випадкові похибки визначення положень зір після виключення похибок сканера дорівнювали 0.1–0.3 arcsec, а зоряної величини 0.15–0.20^{m}. Тоді було зроблено висновок – якщо використовувати цей сканер і врахувати всі його інструментальні похибки, то програму ФОН можна реалізувати у повному обсязі, тобто відсканувати всі астронегативи на однотипних сканерах і різних обсерваторіях і виконати їх обробку за однаковою методикою та одним програмним забезпеченням. При цьому можна використовувати поле астронегативу площею не 4x4 градуси, як раніше, а 8x8 градусів повністю (Andruk et al., 2005). Це було реалізовано згодом.

З появою в 2011 р. сканера Epson Expression 10000XL були проведені дослідження похибок обох сканерів (Microtek, Epson) та точності положень і зоряних величин небесних об’єктів. За даними роботи (Андрук та ін., 2012) зроблено висновок, що астрометричні і фотометричні характеристики зір, отримані з оцифрувань на сканері Epson будуть мати більш високу точність, ніж у випадку використання сканера Microtek. А з порівнянь пятьох режимів сканування з різною просторовою здатністю було зазначено, що найбільш оптимальним є режим сканування пластинок з просторовою здатністю 1200 dpi, який прийнятий був за основу для оцифрування спостережень програми ФОН.

У табл. 1.1 (Andruk et al., 2013) для трьох режимів сканування на двох сканерах наведено середні квадратичні похибки визначення координат і зоряних величин зір за даними оцифрованих астронегативів програми ФОН. Результат їх порівняння вказує на дещо кращу точність для сканера Epson Expression 10000XL проти Microtek ScanMaker 9800XL TMA. В цій роботі було підтверджено висновок, що внутрішні інструментальні похибки, що виникають переважно за рахунок нерівномірності руху каретки сканера вздовж напрямку сканування, для Epson Expression 10000XL можна виключити з піксельних

координат точніше, ніж для Microtek без застосування будь-яких спеціальних приладів, а лише за допомогою оцифрованих даних самого астронегатива.

Таблиця 1.1

Порівняння точності для двох моделей сканерів, що використовуються для оцифрування астронегативів програми ФОН

Resolution	900 dpi	1200 dpi	1600dpi
Epson Expression 10000XL			
N of stars	6056	8235	6134
$\sigma_{RA,arcsec}$	±0.62	±0.49	±0.41
$\sigma_{DE,arcsec}$	±0.63	±0.54	±0.46
$\sigma_{m,mag}$	±0.24	±0.22	±0.22
Microtek ScanMaker 9800 TMA			
N of stars	10421	9717	6473
$\sigma_{RA,arcsec}$	±0.90	±0.78	±0.63
$\sigma_{DE,arcsec}$	±1.18	±1.07	±0.98
$\sigma_{m,\ mag}$	±0.40	±0.35	±0.36

Приклади таких інструментальних похибок для обох сканерів Epson і Microtek наведені на рис. 1.6. Ліворуч – для кожного із сканерів індивідуальні відхилення координат X, У зір від своїх середніх значень вздовж координати У – напряму руху каретки сканера. Праворуч такі самі значення після врахування інструментальних похибок кожного із сканерів.

У результаті виконання досліджень інструментальних похибок обох сканерів, їх порівняльного аналізу та способів врахування цих похибок у редукційних обчисленнях, усі астронегативи програми ФОН були оцифровані за однаковою методикою з використанням комерційних сканерів Microtek™ та Epson™ з просторовою здатністю 1200 dpi, 16-bit gray levels у TIFF-форматі. З 2010 р. усі негативи ГАО НАНУ були скановані виключно за допомогою широкоформатного сканера Epson™.

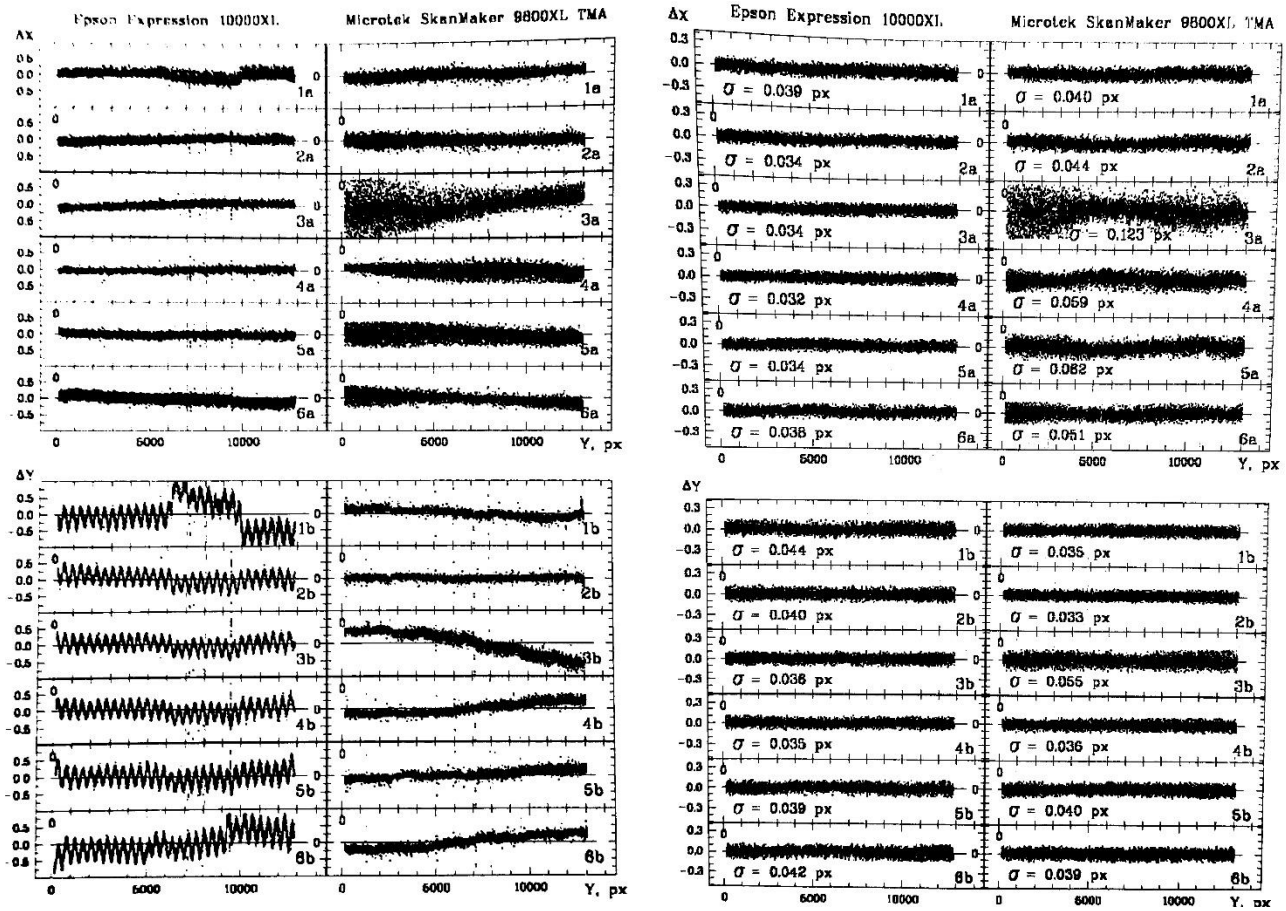


Рис. 1.6. Хід індивідуальних різниць прямокутних координат зір від середніх значень до врахування (ліворуч) і після врахування (праворуч) інструментальних похибок для двох моделей сканерів.

1.6. Програмні забезпечення обробки оцифрованих зображень зоряних полів: розроблене в ГАО НАН України для астронегативів ФОН у порівнянні з «Astrometrica» та CoLiTec

Оцифровані зображення астронегативів опрацьовано за однаковою методикою і програмним забезпеченням, яке було розроблене і впроваджене в ГАО НАНУ спеціально для редукційної обробки сканів за програмою ФОН. Авторами його є Андрук В.М. та Процюк Ю.І. (авторські свідоцтва ДСІВ України: «Комп'ютерна програма "Астрометрическая редукция звезднообразных объектов на изображениях фотопластинок после первичной обработки"» та «Збірка комп'ютерних програм "Пакет программ для первичной

обработки сканированных изображений фотографических пластинок из архивов виртуальных обсерваторий"» за №№ 62434 та 62435 від 09.11.2015).

Всі етапи опрацювання оцифрованих астронегативів описано в багатьох роботах (Andruk et al., 2014; Protsyuk et al., 2014; Pakuliak &Andruk, 2020), проте найбільш повно і по-кроково процедуру обробки викладено в (Andruk et al., 2019; Yuldoshev et al., 2019). Ці етапи включають: процес сканування, перетворення форматів сканів з 16-бітного TIFF-формату на 8-бітний FITS-формат, визначення в MIDAS/ROMAFOT прямокутних координат X, У в пікселях і фотометричних інструментальних величин для всіх зареєстрованих об’єктів на астронегативах, розділення на експозиції (за необхідності), вибір і ототожнення опорних зір, астрометрична редукцію в систему екваторіальних координат каталога, вибраного як опорний, на епоху експонування негативів. Останнім кроком є фотометрична редукція інструментальних величин в систему фотоелектричних зоряних стандартів, яка відбувається шляхом побудови індивідуальних характеристичних кривих для кожної пластинки (Relke et al., 2015; Andruk et al., 2017).

На перших стадіях опрацювання даних оцифровані на сканерах зображення астронегативів після перетворень форматів сканувань і перед подальшим опрацюванням в програмному середовищі MIDAS/ROMAFOT повинні пройти попередню обробку. Процедура попередньої обробки оцифрованого зображення включає фотометричне вирівнювання оцифрованого зоряного поля, яке виконується за допомогою програмних модулів MIDAS для підготовки вхідних даних для ROMAFOT. Вирівнювання виконується лише за даними пластинки без залучення допоміжних кадрів зображень плоского поля. Проводиться добудова вершин перетриманих яскравих зображень об’єктів на сканах. Визначається плоске поле після видалення всіх зафіксованих об’єктів з оцифрованого негатива.

Перетворення прямокутних координат об’єктів X,Y до тангенціальних координат ξ, η з подальшим обчисленням екваторіальних координат RA, Dec в

системі каталогу Tycho-2 розраховано методом найменших квадратів за допомогою рівняння:

$$\xi_i = a_1 + a_2 X_i f_i + a_3 Y_i f_i + a_4 R_i m_i + a_5 f_i + \sum b_{lm} X_i^l Y_i^m$$
$$\eta_i = c_1 + c_2 X_i f_i + c_3 Y_i f_i + c_4 R_i m_i + c_5 f_i + \sum d_{lm} X_i^l Y_i^m$$

де i = 1,2,… n – кількість опорних зір з каталогу Tycho-2 на пластинці ; X_i, Y_i, R_i — координати та відстані зображень зір відносно центру пластинки; m_i – інструментальні величини об'єктів; f_i – значення FWHM зображень зір; a_2, a_3, a_4 і c_2, c_3, c_4 – коефіцієнти, що відповідають за кому; a_5 і c_5 – коефіцієнти, що враховують вплив рівняння яскравості (розраховується окремо); b_{lm} і d_{lm} – коефіцієнти повного полінома шести ступенів (27 членів, де $l = 0 \div 6$, $m = 0 \div 6$, $l+m=n$, $n=1 \div 6$), що описує аберації оптики телескопа, обтяжені систематичними похибками сканера (Yuldoshev et al., 2019).

Пакет ROMAFOT (fttp://www.eso.org/sci/so), який у вільному онлайновому доступі, попередньо розрахований на обробку ПЗЗ-зображень в маленькому робочому полі, але згодом його було застосовано для обробки й широких робочих полів сканів (Andruk et al., 2008). Зазвичай, плоске поле на ПЗЗ-кадрах знаходиться шляхом окремого експонування ділянки зоряного неба на окремому кадрі, знаходження середнього значення фону і врахування його при обчисленнях. Спосіб визначення плоского поля з видаленням зображень зір, який запропоновано до цього забезпечення, пройшов випробування і дав позитивні результати.

В роботі (Butenko et al., 2015) було виконано порівняння результатів, отриманих програмним забезпеченням, розробленим в ГАО НАНУ для астронегативів ФОН, і пакетом «Astrometrica», який є в вільному доступі за адресою fttp://www.astrometrica.at. При цьому також були обговорені шляхи знаходження плоского поля в цих програмних забезпеченнях.

Спостереження навколоземних астероїдів, отримані з телескопом АЗТ-8 спостережної станції Лісники́ Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка та за допомогою телескопа

Цейс-600 міжнародної астрономічної Обсерваторії Пік Терскол (Кабардино-Балкарія, Росія), були оброблені двома програмними забезпеченнями і отримані результати порівняні. Для обробки в пакеті «Astrometrica» використовувались окремо експоновані кадри плоского поля. Для обробки програмним забезпеченням ГАО НАНУ допоміжні кадри не отримувались, а плоске поле було знайдено описаним вище шляхом. Як висновок цієї роботи було зазначено, що метод обробки ПЗЗ-зображень без використання спеціально експонованих кадрів плоского поля можна успішно застосовувати для отримання положень і зоряних величин об’єктів. Величина різниць у визначеннях координат астероїдів двома методами складала 0.8–1.0 arcsec по координаті прямого сходження та 0.1–1.2 arcsec по схиленню. Автори приводять значення похибок спостережень, які досить великі, і пояснюють їх наслідком високої швидкості спостережуваних астероїдів.

Для обробки оцифрованих даних астронегативів можна використати також програмне забезпечення CoLiTec (Collection Light Technology), розроблене колективом українських авторів, очоленим В. Є. Саваневичем. Забезпечення було розроблено спеціально для пошуку щвидкорухомих об’єктів – комет, астероїдів на кількох серіях ПЗЗ-кадрів. За його допомогою були відкриті комети, отримано кілька тисяч положень астероїдів, які поповнили базу даних MPC. Згодом цей пакет було вдосконалено і розширено на спостереження штучних супутників Землі.

Детальних порівнянь щодо двох варіантів програмних забезпечень, створеного Андруком В.М. в ГАО НАНУ для обробки спостережень ФОН і пакету CoLiTec під керівництвом Саваневича В.Є., не було проведено. Проте є дані щодо порівнянь результатів визначення координат астероїдів, отриманих пакетом CoLiTec і пакетом “Astrometrica”. У роботі (Саваневич та ін., 2015) описано результати порівняльного аналізу двох варіантів обробок, за даними яких в табл. 1.2 наведено середні відхилення координат нумерованих астероїдів та їх середні квадратичні похибки.

Таблиця 1.2

Основні параметри відхилень позиційних ПЗЗ-вимірювань нумерованих астероїдів програмним забезпеченням “Astrometrica” і CoLiTec

Кількість оброблених ПЗЗ-вимірів	Частка відбракованих вимірів	Середнє відхилення, RA, сд	Середнє відхилення, Dec, сд	Середнє квадратичне відхилення, RA, сд	Середнє квадратичне відхилення, Dec, сд
ПЗ “Astrometrica”					
2002	0 %	0.11	–0.04	0.77	0.67
1902	5 %	0.10	–0.03	0.40	0.31
1802	10 %	0.09	–0.02	0.35	0.27
ПЗ CoLiTec					
2002	0 %	0.11	–0.03	0.50	0.39
1902	5 %	0.10	–0.03	0.39	0.32
1802	10 %	0.09	–0.03	0.34	0.29

Відповідно до цього автори стверджують, що в процесі визначення координат астероїдів програмним забезпеченням CoLiTec отримано кращі оцінки точності ніж пакетом “Astrometrica”.

Висновки до розділу 1.

В першому розділі коротко викладено основні астрометричні і фізичні характеристики астероїдів, їх просторовий розподіл за динамічними класами у Сонячній системі, класифікація, дані спостережень у світі. Такий різний за складом огляд має на меті сприяти формуванню вибірок або сукупностей астероїдів, які мають схожі фізичні характеристики або параметри просторового руху, для подальшого використання отриманих даних, з огляду на їх чисельність і водночас дискретність, з оцифрованих негативів УкрВО.

Подано огляд щодо етапів створення Української віртуальної обсерваторії, її мети, задач, цілей, досягнень та наповнення архівів

спостережень ГАО НАН України, НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія», Астрономічної обсерваторії Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова, Астрономічної обсерваторії Львівського національного університету ім. Івана Франка, Лабораторії космічних досліджень Ужгородського національного університету, Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Підкреслено, що основним ядром УкрВО є Об’єднаний цифровий архів, в який увійшли результати оцифрування спостережень різних обсерваторій і який функціонує, наповнюється під керівництвом бази даних DBGPA V2.0.

Також подана інформація про сканери, які були застосовані в процесі оцифрування астронегативів УкрВО, та дослідження їх інструментальних похибок. Значна увага приділена програмному забезпеченню для обробки сканованих астронегативів, використання якого поряд з методикою оцифрування є тими важелями, які повинні покращити точність минулих спостережень.

РОЗДІЛ 2
ДАНІ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА ЇХ ОБРОБКА

2.1. Вступ: програма ФОН і деякі етапи її реалізації

Наприкінці XX століття в реалізації проекту «Фотографічний огляд північного неба» (ФОН) брали участь шість обсерваторій, а саме: Головна астрономічна обсерваторія України, Звенігородська обсерваторія Росії, Зеленчукська обсерваторія Росії, Абастуманська обсерваторія Грузії, Гісарська обсерваторія Таджикистану та Китабська обсерваторія Узбекистану. Засновниками цього проекту були Колчинський І.Г. та Онєгіна А.Б. (Колчинський і Онєгіна, 1977). План фотографування зоряних полів складався таким чином, щоб відбувалось їх чотирикратне перекриття з метою подальшого усереднення результатів обробки пластинок і зменшення похибок визначення координат зір. Щоб врахувати вплив рівняння блиску на координати зір, спостереження проводилися з двома експозиціями різної тривалості, а саме 18–22 секунди для першої короткої, а 16–24 хвилин для другої довгої. Основні спостереження були проведені в 1981–1991 рр. за допомогою однотипних астрографів Цейса. Але після розпаду СРСР була порушена координація роботи і деякі обсерваторії не змогли завершити свої спостереження. Найбільш сучасне бачення етапів реалізації проєкту представлено в статті (Pakuliak et al., 2016).

Для подальшої обробки спостережень в ГАО НАНУ було створено програмний автоматичний вимірювальний комплекс PARSEC, призначений для вимірювання великих масивів зір. В результаті редукційної обробки вимірювань отримані перші каталоги екваторіальних координат зір (Kislyuk et al., 2000; Yatsenko, 2016). Однак повна обробка спостережних даних в глобальному масштабі виявилася нереальною внаслідок різних об'єктивних і суб'єктивних причин. Однією з них був величезний обсяг даних і значні витрати часу на обчислення. І лише з розвитком цифрових технологій у сфері

обробки зображень і, головне, програмного забезпечення для науково-орієнтованої обробки таких оцифрованих даних, це нереалістичне завдання стало здійсненим (Vavilova et al. 2010; 2011; 2017). В результаті виконання повної оцифровки всіх астронегативів, розробки програмного забезпечення для подальшої редукційної обробки сканів стало можливим отримати координатні і фотометричні дані для всіх об'єктів, які зафіксовані на негативах під час експозиції.

2.2. Оцифровані дані спостережень ФОН і їх обробка

За програмою ФОН всі спостереження ГАО НАНУ, Кітабської обсерваторії і Гіссарської обсерваторії, як найбільш численні і неперервні, були оцифровані однаковим чином комерційними сканерами з роздільною здатністю 1200 dpi. ФОН-Київ спостереження оцифровані за допомогою сканерів Microtek™ і Epson™ в режимі 1200 dpi в Києві, ФОН-Кітаб і ФОН-Душанбе спостереження оцифровані в Узбекистані і Таджикистані за допомогою сканерів Epson™ і Microtek™ відповідно в межах співпраці з обсерваторіями. Первинна обробка сканів оцифрованих астронегативів виконана на базі стандартного програмного забезпечення MIDAS/ROMAFOT для обробки ПЗЗ-зображень, а також створених додаткових програмних модулів для адаптації забезпечення до наявних оцифрованих даних. Для подальшої редукційнї обробки оцифрованих даних до отримання кінцевого продукту у вигляді каталогу положень та зоряних величин всіх зафіксованих об'єктів на астронегативах було розроблено програмне забезпечення та впроваджено в ГАО НАН України спеціально для обробки оцифрованих зображень ФОН. Координати зір і галактик отримані в системі зоряного каталогу Tycho-2, а зоряні B-величини визначені в системі фотоелектричних стандартів.

У результаті для кожного з трьох спостережних пунктів (або частин проекту ФОН-Київ, ФОН-Кітаб, ФОН-Душанбе відповідно) було створено три зоряних каталоги координат і B-величин зір і галактик (Andruk et al., 2016; Yuldoshev et al., 2017; Kokhirova et al., 2021). Разом вони складають дані

приблизно для 45 млн зір до 16–17^m зоряної величини. Отримання такої величезної кількості даних і, головне, поширення їх на область слабких зір, було б неможливим в рамках попередніх реалізацій програми ФОН.

Каталог ФОН-Київ налічує 19 451 751 зір та галактик зоряними величинами $B \leq 16.5^m$ на середню епоху спостережень 1988.1. З аналізу взаємних ототожнень зір в ділянках з перекриттями астронегативів були отримані середні внутрішні похибки визначення координат і зоряних величин, які подані в публікації зоряного каталогу (Andruk et al., 2016). Вони становлять $\sigma_{RA,Dec}$=0.23 arcsec і $\sigma_B=0.14^m$ для всіх зір зоряної величини $B<16.5^m$ або $\sigma_{RA,Dec}$=0.10 arcsec і $\sigma_B=0.07^m$ для зір з $B<14^m$ відповідно. Також автори приводять таблицю, як значення оцінок точності варіюється в інтервалах зоряних величин, яку в графічному вигляді представлено на рис. 2.1. Необхідно додати, що конвергенція між визначеними і опорними положеннями зір каталогу Tycho-2 становить $\sigma_{RA,Dec}$=± 60 mas, а конвергенція з фотоелектричними зоряними B-величинами становить σ_B=± 0.15^m. Зовнішня точність, отримана за результатами ідентифікування і порівняння 96,36 % обсягу даних каталогу ФОН-Київ з відповідними даними каталогу UCAC-4, становить $\sigma_{RA,Dec}$ = ± 300 mas.

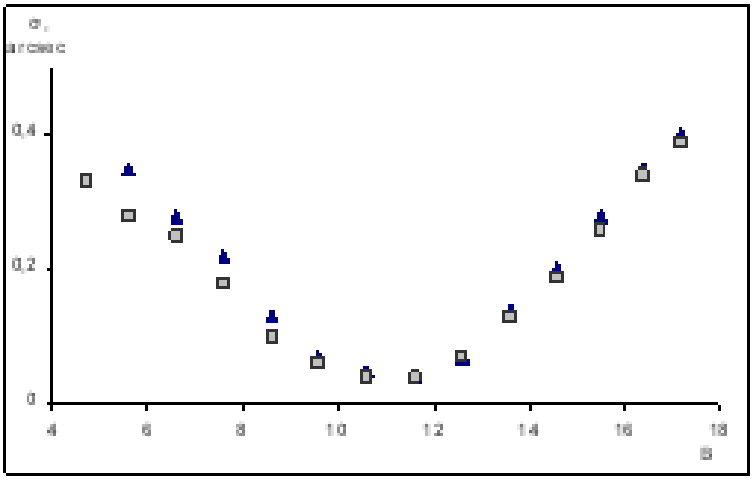


Рис. 2.1. Внутрішні похибки σ визначення координат зір каталогу ФОН-Київ, розподілені в інтервалах зоряних B-величин (трикутники – за прямим сходженням, квадрати – за схиленням).

На наш погляд, зазначене в рисунку швидке зростання похибок координат від 12^m зоряної величини обумовлене, з одного боку, обмеженням зір каталогу Tycho-2 до 13.5–14^m зоряної величини, які виступали в якості опорних при редукції астронегативів. Результати обробок декількох пластинок ФОН-Київ з каталогом Tycho-2 і Gaia DR2, а також аналіз отриманих різниць типу O–C (між визначеними і каталожними Gaia DR2 координатами) для всіх ототожнених зір вказують на деякі відмінності. Змін зазнають як середні значення O–C зір, пораховані в інтервалах зоряних B-величин, так і їх середні квадратичні відхилення, значення яких залишаються мінімальними на більш широкому діапазоні зоряних величин від 9^m до 14^m для випадку використання Gaia DR2 (Shatokhina et al., 2019c).

Аналогічні похибки отримано для каталогів зір ФОН-Кітаб і ФОН-Душанбе. Каталог зір та галактик ФОН-Кітаб налічує близько 13.4 млн об'єктів зоряних величин до B = 17.5^m на середню епоху спостереження 1985.0 від +2◦ до −20◦ за схиленням. Були отримані середні внутрішні похибки визначення координат і зоряних величин, які подані в публікації зоряного каталогу (Yuldoshev et al., 2017). Для всіх об'єктів вони складають $\sigma_{RA,Dec}$ = 0. 23″ і σ_B = 0.15^m (для зір у діапазоні B = 5^m −14^m похибки становлять $\sigma_{RA,Dec}$ = 0.085″ і σ_B = 0.054^m) за екваторіальними координатами і B-величинами відповідно. Похибки між визначеними і опорними положеннями зір каталогу Tycho-2 становлять $\sigma_{RA,Dec}$ = ± 0.042″. Конвергенція з фотоелектричними зоряними B-величинами становить σ_B = ± 0.16^m. Зовнішня точність, отримана за результатами ідентифікування і порівняння 73,8 % обсягу даних каталогу ФОН-Київ з відповідними даними каталогу UCAC-4 становить $\sigma_{RA,Dec}$ = ± 0.26″.

Каталог зір та галактик ФОН-Душанбе нараховує біля 30 млн. об'єктів зоряних величин до B≤ 17.2^m на епоху 1988.74 р. Були отримані середні внутрішні похибки визначення координат і зоряних величин, які подані в публікації зоряного каталогу (Kokhirova et al., 2021). Для всіх об'єктів вони складають $\sigma_{RA,Dec}$ = ±0.32" та σ_B = ±0.11^m (для зір в інтервалі B= 8^m-14^m похибки рівні $\sigma_{RA,Dec}$ =±0.19" та σ_B=±0.07^m) за екваторіальними координатами і зоряними

B-величинами відповідно. Сходимість між визначеними і опорними положеннями зір каталогу Tycho-2 становить $\sigma_{RA,Dec}$ = ±0.07", а сходимість з фотоелектричними зоряними B-величинами дорівнює σ_B= ±0.16^m.

Паралельно із завданням створення зоряних каталогів ми вирішували задачу пошуку посеред цих оцифрованих спостережень зображень малих тіл Сонячної системи та виділення їх позиційних даних з усіх результатів редукційної обробки. Перші роботи в ГАО НАНУ з пошуку зображень деяких астероїдів, змінних зір, оптичних аналогів гамма-спалахів на оцифрованих астронегативах УкрВО, а також вивчення можливостей їх редукційної обробки із застосуванням програмного забезпечення, створеного для обробки спостережень ФОН, проводила Головня В.В. у співпраці з колегами.

Оцифровані дані ОЦА УкрВО використано для ідентифікації оптичних відповідників джерел гамма-спалахів GRB110213A та GRB101224A (Protsyuk et al., 2020b). Також були створені каталоги координат і зоряних величин для всіх зафіксованих слабких об’єктів в областях навколо GRB110213A і GRB101224A (Golovnia et al., 2015). Для цих та інших джерел гамма-спалахів результати були опубліковані в GCN Circulars Archive, де з 2003 р. нами постійно публікувалися дані щодо ідентифікації цих об’єктів або відсутності їх на оцифрованих астронегативах УкрВО.

На сканах астронегативів ОЦА УкрВО виявлено зображення деяких цікавих об’єктів, як потенційно небезпечні астероїди (433) Eros, (4179) Toutatis та інші астероїди, координати яких визначено з хорошою точністю (Golovnya, 2012; Golovnya & Andruk, 2013). Проте масштабного характеру робота з пошуку та ідентифікації малих тіл Сонячної системи на оцифрованих негативах ФОН та інших архівів набула згодом – із завершенням оцифрування і обробки оцифрованих спостережень ФОН у Києві, а також наступним аналізом даних редукційної обробки та активним використанням онлайнових інтернет-сервісів для виконання цих задач.

2.3. Обробка оцифрованих спостережень Плутона як тест до масових ідентифікацій астероїдів

Нашу роботу з опрацювання всіх спостережень Плутона з оцифрованих архівів УкрВО ми можемо вважати тестовою для оцінки можливостей отримання високоточних координат і зоряних величин малих тіл Сонячної системи, так і в апробації методик пошуку їхніх зображень, зокрема астероїдів, на оцифрованих астронегативах програми ФОН.

Напередодні очікуваного у 2015 р. здійснення зближення з Плутоном космічного апарату місії NASA "New Horizons" нами були зібрані, оцифровані і оброблені за однаковими методиками всі спостереження Плутона, які були отримані протягом 1961–1990 рр. трьома українськими обсерваторіями – учасниками проекта УкрВО – ГАО НАНУ, Київським національним університетом ім. Тараса Шевченка і Миколаївською астрономічною обсерваторією. Отримано каталог з 59 положень і зоряних B-величин Плутона (Kazantseva et al., 2015). При порівнянні з ефемеридою середні значення різниць (O−C) за всіма 59 положеннями Плутона становили +0.05″ та −0.19″, а їх середні квадратичні відхилення становили 0.68″ і 0.52″ відповідно за координатами RA і Dec. Одержані в результаті обробки оцифрованих спостережень положення та зоряні величини Плутона увійшли до бази даних Центру малих планет (MPC). Була проаналізована точність отриманих позиційних і фотометричних даних планети і виконані порівняння з даними, отриманими раніше для Плутона з використанням класичних методик вимірювань і обробки та з іншими опорними каталогами (Тельнюк-Адамчук та ін., 1989; Shatokhina, 2012). Як результат отримано висновок, що за оцифрованими даними точність визначення координат опорних зір в 2−3 рази вища, що є результатом використання як сучасних опорних каталогів, так і цифрових технологій вимірювань пластинок та їх редукцій. А положення Плутона відрізняються порівняно з класичними обробками по обох координатах більше у систематичному і менше у випадковому відношенні.

Пізніше було виконано ще один етап опрацювання оцифрованих спостережень Плутона, в якому були охоплені обробкою незадіяні раніше окремі спостереження, у тому числі з оцифрованого архіву Астрономічної обсерваторії в Балдоне (Університет Латвії). Крім того, були опрацьовані спостереження Плутона з астронегативів з багаторазовими експозиціями, які раніше були оброблені не в повному обсязі. Наступне вдосконалення програмного забезпечення для цифрової обробки зображень дозволило нам опрацювати ці близько розташовані зображення Плутона з кількома експозиціями. Також додатково з використанням найбільш численних архівів спостережень Об'єднаного цифрового архіву УкрВО, як Голосіївських GUA040A, GUA040B, GUA040C, GUA040D, Миколаївського MYK012 і оцифрованого архіву обсерваторії в Балдоне, виконано програмний пошук всіх вірогідних зображень Плутона за всі періоди спостережень небесних об'єктів, занотовані в цих архівах. Вхідними даними для такого пошуку були ефемеридні положення планети Плутон за період 1955−1995 із кроком 10 діб, згенеровані за допомогою онлайнового сервісу JPL. Зазначені дані були інтерпольовані на кожний момент спостережень. За результатами пошуку були виявлені і опрацьовані додатково ще 8 нових зображень Плутона з різних архівів спостережень оглядів неба ФОН, МЕГА, «Екваторіальний каталог». Як наслідок, заново складений каталог налічує 90 положень і зоряних величин Плутона, в якому приведено 31 нове положення, а решта 59 переопрацьовані. При порівнянні даних каталогу з ефемеридою отримані середні значення різниць (O−C) для всіх положень, які становлять −0.09 та −0.15 arcsec для RA та Dec відповідно. Відповідні стандартні відхилення σ становлять 0.58 і 0.55 arcsec. Каталог даних (Eglitis et al., 2019a) розміщено в CDS (http://cdsweb.u-strasbg.fr) і на сайті УкрВО (http://gua.db.ukr-vo.org/starcatalogs.php?whc=pluto). Опис його подано в статті (Eglitis et al., 2018).

На рис. 2.2 з роботи (Shatokhina et al., 2019b) показано 90 спостережень Плутона, отриманих в період 1961−1996 у порівнянні з усіма спостереженнями планети, вибраними з бази даних MPC для 1910−2015 рр., періода найбільшої

активності спостережень Плутона в світі. Нагадаємо, що період обертання Плутона навколо Сонця дорівнює 249 років, а з моменту відкриття його в 1930 р. і по наш час заповнено спостереженнями тільки частина одного оберту Плутона. Для періоду 1950−1990 рр. спостережень Плутона в світі є небагато порівняно із періодами відкриття планети і початком 21 століття. Наші спостереження отримані були саме в той період.

Як астрометричні положення, так і отримані з оцифрованих астронегативів фотографічні зоряні величини Плутона були нами проаналізовані та протестовані для вирішення питання щодо подальшого використання та визначення фізичних і фотометричних характеристик планети. Наприклад, за фотометричними і поляриметричними спостереженнями Плутона, проведеними в 1988 р. з 1-м телескопом Інститута астрофізики НАН Таджикистана на г. Санглок (Аврамчук та ін., 1992), отримані довгочасове послаблення інтегрального блиску Плутона, (що дорівнює 0.3^m за 30 років в B-смузі), монотонне збільшення показника кольору B−V (що дорівнює 0.004^m/рік) та інші результати. Підтвердження таких висновків ми намагались одержати за нашими даними спостережень проміжком у 30 років.

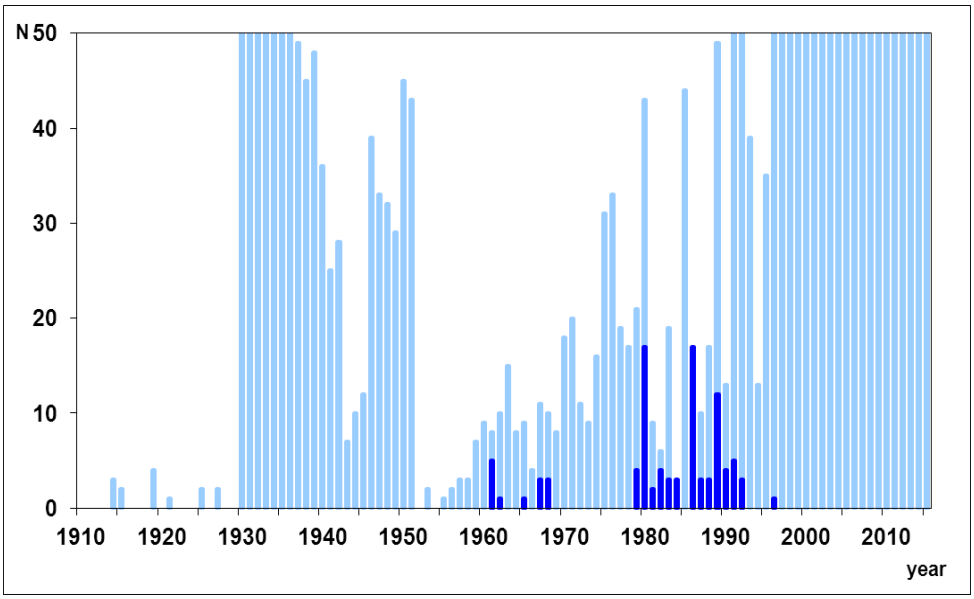


Рис. 2.2. Кількість положень Плутона, які спостерігалися в 1914−2015 рр. в світі (колекція УкрВО – темно-сині, MPC-спостереження (станом на 2016 р.) – світло-сині маркери).

Для виключення впливу змін гео- і геліоцентричних відстаней планети і фазових кутів нами була проведена редукція до середньої опозиції Плутона всіх отриманих зоряних величин планети за формулами:

$$M_{mo} = M_o - 5\lg[\frac{rl}{a(a-1)}] - \Delta m(\alpha)$$

$$\Delta m(\alpha) = \alpha\beta \quad ,$$

де M_{mo} - зоряна величина, віднесена до середньої оппозиції, M_o - спостережувана, r та l - гео- та геліоцентричні відстані, a - велика піввісь орбіти Плутона, $\Delta m(\alpha)$ - фазова функція, α - фазовий кут. Значення лінійного фазового коефіцієнта β =0.041 зор.вел./град. було використано з статті (Аврамчук та ін., 1992).

На рис. 2.3 з публікації (Шатохіна та ін., 2016) показано часовий розподіл редукованих до середньої опозиції (з урахуванням фазової функції) зоряних величин B(T), отриманих із спостережень Плутона на 5 телескопах трьох обсерваторій УкрВО за 30 років. Додатково для порівняння на рисунку представлені візуальні величини Плутона Mv за ефемеридою JPL (DE431) і V величини Плутона, отримані на г. Санглок, які також редуковані до середньої опозиції Плутона для порівняння.

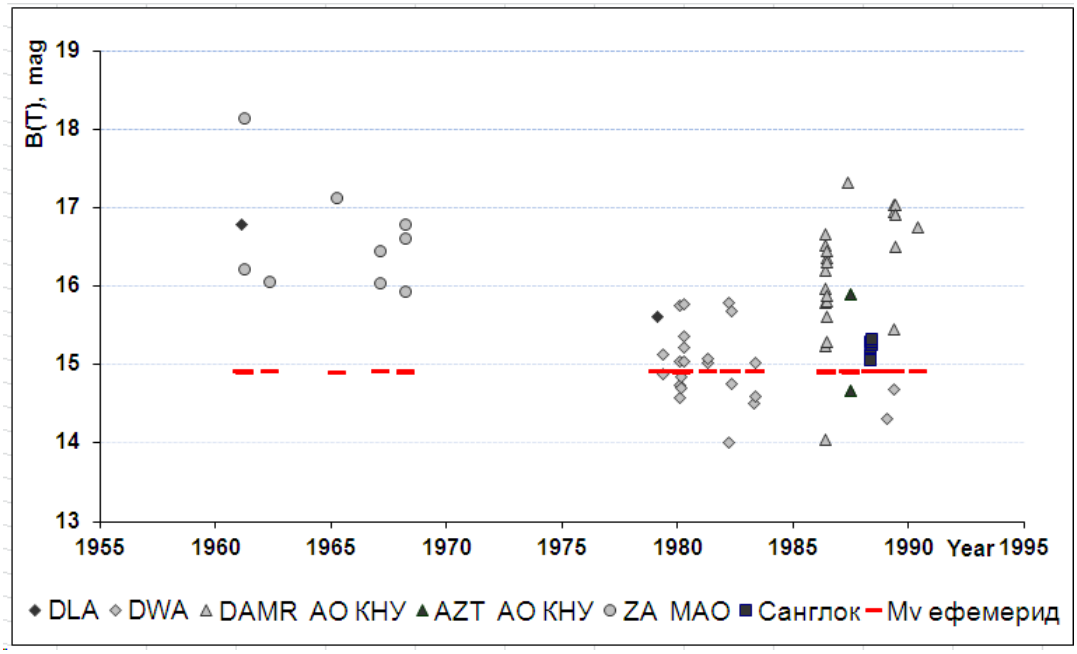


Рис. 2.3. Розподіл зоряних величин B(T) Плутона за часом за даними оцифрованих астронегативів УкрВО (Шатохіна та ін., 2016).

Проте використання одержаних з оцифрованих спостережень 1961–1996 рр. зоряних величин Плутона, приведених до середньої опозиції, не призвели до отримання вагомих результатів з визначення довгочасового (вікового) тренду зоряної величини Плутона, зазначеного в роботі (Аврамчук та ін., 1992).

Розподіл по часовому проміжку наших спостережень не є рівномірним, спостережень 1960–1970 рр. замало, а для 1970–1980 рр. немає зовсім. Отримані зоряні величини мають широкий розкид. Спостерігаються також систематичні зміщення зоряних величин раннього періоду спостережень (1961–1970 рр.) і більш пізніх періодів (або спостережень з різних телескопів), які великі, на наш погляд, і не можуть слугувати підтвердженням вікового тренду зоряної величини Плутона. Зазначимо також, що в роботі (Kazantseva et al., 2015) приведена середня точність визначення зоряної величини B(T) по оцифрованих спостереженнях Плутона, яка становить $\pm 0.32^{m}$, і яка є співрозмірною з шуканою величиною вікового тренду зоряної величини Плутона.

Повторені пізніше переопрацювання астронегативів із більш коректними алгоритмами побудови індивідуальних характеристичних кривих, і наступне калібрування зоряних величин планети згідно фотоелектричних стандартів зір, а також повторне сканування астронегативів та збільшення кількості опрацьованих спостережень до 90, не привели до значимо інших результатів. Як у разі використання даних 59 спостережень, так і з усіма даними 90 спостережень (рис. 2.4), були виявлені деякі систематичні зміщення зоряних величин Плутона, отриманих з різних телескопів. Проте, найголовніше, значне послаблення блиску (ніж прогнозовано) для раннього періоду 1961–1970 рр. спостерігалось за результатами обробки оцифрованих астронегативів в обох випадках. З огляду на невелику наявну кількість з 12 спостережень періоду 1961–1970 рр., причину такого послаблення зоряної величини Плутона для раннього періоду спостережень не було знайдено.

Результати щодо остаточної обробки оцифрованих спостережень УкрВО і Астрономічної обсерваторії в Балдоне були представлені на конференції ASTROPLATE-II в Празі в березні 2016 р. і опубліковані в (Eglitis et al., 2018a).

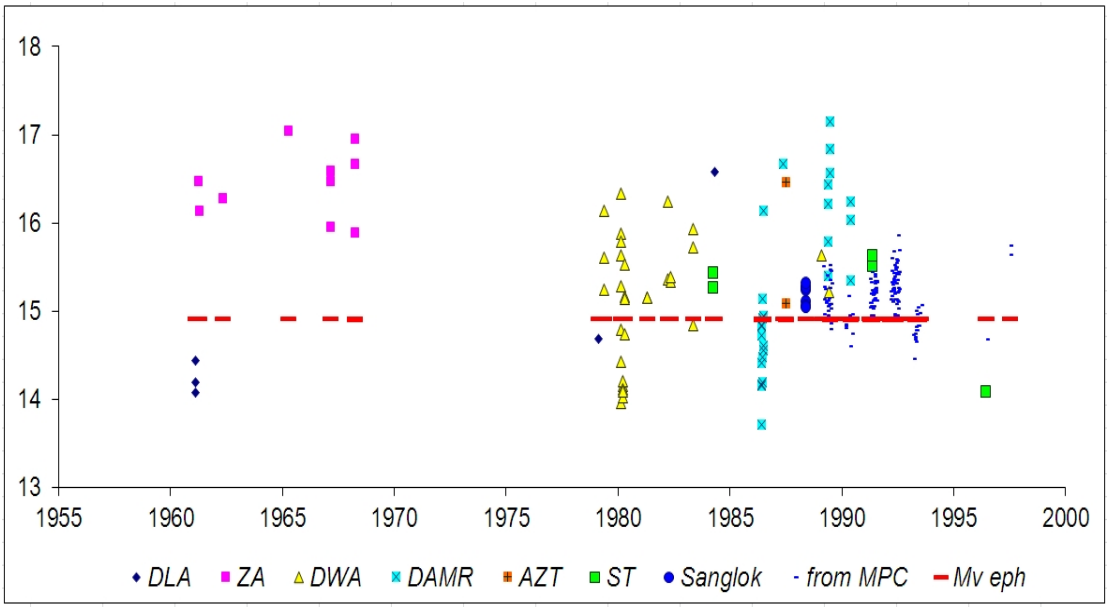


Рис. 2.4 Часовий тренд приведених до середньої опозиції зоряних величин B(T) Плутона за даними оцифрованих 90 астронегативів 6 телескопів (у порівнянні з ефемеридними Mv візуальними величинами, V-величинами, отриманими на г. Санглок, та V-величинами Плутона з бази даних MPC для даного періоду спостережень).

Необхідно додати, що важливим з точки зору відпрацювання методики пошуку зображень малих тіл Сонячної системи, на наш погляд, є те, що на астронегативах архівів спостережень GUA040C, GUA040D поряд із зображенням Плутона були знайдені зображення астероїдів. Є деякі особливості цього пошуку. Завдяки масштабу телескопа DWA на досліджуваних з Плутоном негативах архівів GUA040C, GUA040D були виявлені зображення астероїдів. Їх координати і зоряні величини включені в загальний каталог положень і величин астероїдів з оцифрованих спостережень ФОН у Києві (Shatokhina et al., 2018a).

Навпроти, астероїдів на досліджуваних з Плутоном негативах архівів GUA040A, GUA040B не було знайдено. Однією з обставин є масштаб

телескопа DLA, який майже втричі більший. По-друге, астероїди, на відміну від Плутона, мають з часом більші зміни координат на небесній півкулі внаслідок їх руху по орбіті. Без компенсації цих змін прямі знімки зоряних областей з тривалою експозицією не містимуть зореподібних зображень більшості астероїдів, хоча для яскравих астероїдів достатніми і продуктивними будуть короткі експозиції.

Завдяки великій геоцентричній відстані Плутона його зображення виявляється на всіх астронегативах різних архівів при достатній тривалості експозиції без додаткових компенсувань руху. Фотографічне зображення Плутона, маючи середні кутові розміри близько 0.1″, мало відрізняється від зображень зірок, тільки більш розмите.

Підсумуємо результати обробки оцифрованих спостережень Плутона:

1) отримано положення і зоряні величини Плутона з хорошою астрометричною точністю;

2) на деяких астронегативах одночасно з Плутоном зафіксовані астероїди, положення і зоряні величини яких теж отримано з хорошою точністю;

3) апробація методики пошуку малих тіл Сонячної системи з використанням онлайнових ефемеридних сервісів і результатів редукційної обробки сканів астронегативів проведена і дає надійні результати. А програмне ототожнення астероїдів за їх ефемеридними даними і результатами редукційної обробки всіх зафіксованих на негативах об’єктів можливе і без попередньої візуалізації їх зображень, в переважній більшості випадків. Такий пошук астероїдів матиме позитивний результат по сканах негативів ширококутного астрографа в межах проєкту ФОН або інших телескопів за подібних умов. Аналогічний пошук астероїдів, переважна більшість яких є слабкими, по сканах довгофокусного телескопа DLA не очікується бути продуктивним;

4) спроба використання отриманих з оцифрованих спостережень фотографічних зоряних величин Плутона не призвела до одержання вагомих результатів щодо його фотометричних властивостей. Проте у порівнянні

зоряних величин Плутона на тривалому 35–річному періоді спостережень на шести телескопах чотирьох обсерваторій виявлені деякі невідповідності, які можуть бути усунуті, на наш погляд, коректним калібруванням отриманих зоряних величин фотоелектричними зоряними стандартами, що було потім запроваджено в процесі обробки оцифрованих спостережень програми ФОН.

2.4 Аналітичний підхід до пошуку зображень астероїдів

На противагу класичному методу візуалізації зображень на астронегативах, який зазвичай використовувався при ототожненнях небесних об’єктів, нами було запроваджено інший аналітичний підхід. Для ідентифікацій зображень астероїдів, комет, деяких планет Сонячної системи були використані результати редукційних обробок сканів астронегативів. На рис. 2.5 проілюстровано формат запису звичайного вихідного файла для кожного астронегатива по закінченню редукційних обчислень. У ньому для кожного об’єкта представлені: визначені екваторіальні координати RA, Dec в градусах, прокаліброваа фотоелектричними зоряними стандартами B-величина, кількість експозицій, прямокутні, відкоректовані за інструментальні похибки сканера координати X, Y в пікселях, інструментальна зоряна величина MAG, екваторіальні координати RA, Dec в стандартному вигляді, значення FWHM (full width at half maximum) та інтенсивності cInt зображень на скані астронегатива. На початку файла подані також похибки визначення координат та зоряних величин за опорними зорями астронегатива, масштаб в arcsec/px, координати меж астронегатива та інша додаткова інформація.

З одного боку, аналізовано отримані після редукційних обчислень визначені екваторіальні координати RA, Dec і зоряні B-величини для всіх зафіксованих на астронегативах об’єктів. З другого боку, ефемеридні координати і приблизні візуальні зоряні величини Mv (видимі) для астероїдів і комет на моменти спостереження були згенеровані онлайновими JPL-сервісами (https://ssd.jpl.nasa.gov). За власними програмами порівняння й аналізу

отриманих даних та з урахуванням значень FWHM і інтенсивностей зображень на сканах астронегативів, були ідентифіковані координати і зоряні величини астероїдів.

```
RA= 11.99995171,  DE=  12.0809448,  EPOCH= 1982.2411, SKY= 117.64, Nplate=   56, size(px):X/Y=  12714 12949
rmsRA= 0.1282, rmsDE= 0.0984, rmsMAGBpe=  0.114, %AREA= 100, MASHTAB(||/px)X,Y=  2.1781  2.1779, Kobj= 91492
mnRA=11.7342133, mxRA=12.2656901, mnDE=  8.160448, mxDE= 16.001442, MDT(||/mag)X,Y= 0.6856 0.2148, Ks/S= 7.3
SQUARE= 60.11, mxB(V)= 6.32, mnB(V)=19.47, B(V)lim1ex=15.10, K2/S=  20.8, K1,K2,Kst= 1198 1252  439, STEP= 11
     N  RA2000      DEC2000    B/pe/  Exp   X/px/      Y/px/    MAG    RA(h,m,s.)  DE(o,|,||.)  FWHM   cInt
     1 11.73421331  15.8720333 16.980  1     8.7123 12759.4481  5.644  114403.168  155219.320   4.499   7.892
     2 11.73463620  15.1899162 11.922  1     3.2383 11629.1647  9.742  114404.690  151123.698   9.506  77.043
     3 11.73466479  15.4155989 15.624  1     9.0222 12002.9441  6.891  114404.793  152456.156   5.563  16.283
     4 11.73479162  15.0666241 16.996  1     3.9776 11424.8264  5.596  114405.250  150359.847   5.209   5.633
     5 11.73485693  15.3512982 17.014  1    12.1107 11896.3238  5.590  114405.485  152104.674   4.817   6.547
```

Рис. 2.5 Зразок формату запису вихідного файла після редукційної обробки астронегатива.

Такий підхід дозволив серед мільйонів зафіксованих на астронегативах зображень небесних об’єктів або їх фрагментів вибрати ті зображення астероїдів, які були експоновані під час експозиції в межах робочого поля астронегатива. Метод було перевірено візуальним оглядом зображень на негативах в окремих випадках. Процедура пошуку пройшла апробацію з урахуванням переваг і недоліків і призвела до отримання позитивних результатів. Її було застосовано до подальших масових ідентифікацій зображень астероїдів, комет, деяких планет Сонячної системи серед оцифрованих і опрацьованих даних програми ФОН та інших.

Як приклад, можливу кількість зображень астероїдів та їх розташування по полю сканованих астронегативів телескопу DWA ілюструє рис. 2.6, запозичений із статей (Golovnya & Andruk, 2013) та (Шатохіна та ін., 2017).

Поряд із перевагами, які дозволяють за наявних умов масово ідентифікувати зображення без їх попередньої візуалізації на астронегативах, виявлено також недолік використаного підходу, внаслідок якого можливі помилкові ототожнення зображень і координат астероїдів. У випадках нероздільної близькості зображень астероїдів і зір на астронегативах або, коли такі зображення не розділяються візуально (покриття), отримані координати і

зоряні величини астероїдів не можна вважати ідентифікованими однозначно. Для виключення впливу цього недоліку координати всіх ідентифікованих астероїдів і комет порівнювались з координатами зір каталогу Gaia DR2, і виявлені в процесі порівняльного аналізу неоднозначні положення астероїдів були виключені зі складу каталогу. Радіус порівняння був вибраний 5–10 дугових секунд, для кожного випадку близьких конфігурацій аналізовано було координати і різниці зоряних величин для астероїда і близької за координатами зорі або декількох зір. Експериментально було знайдено, що кількість таких випадків невелика, але збільшується для слабких за видимою зоряною величиною астероїдів, а також за наявності в околі зображень астероїдів скупчень зір, близьких за світністю, наприклад розсіяних зоряних скупчень.

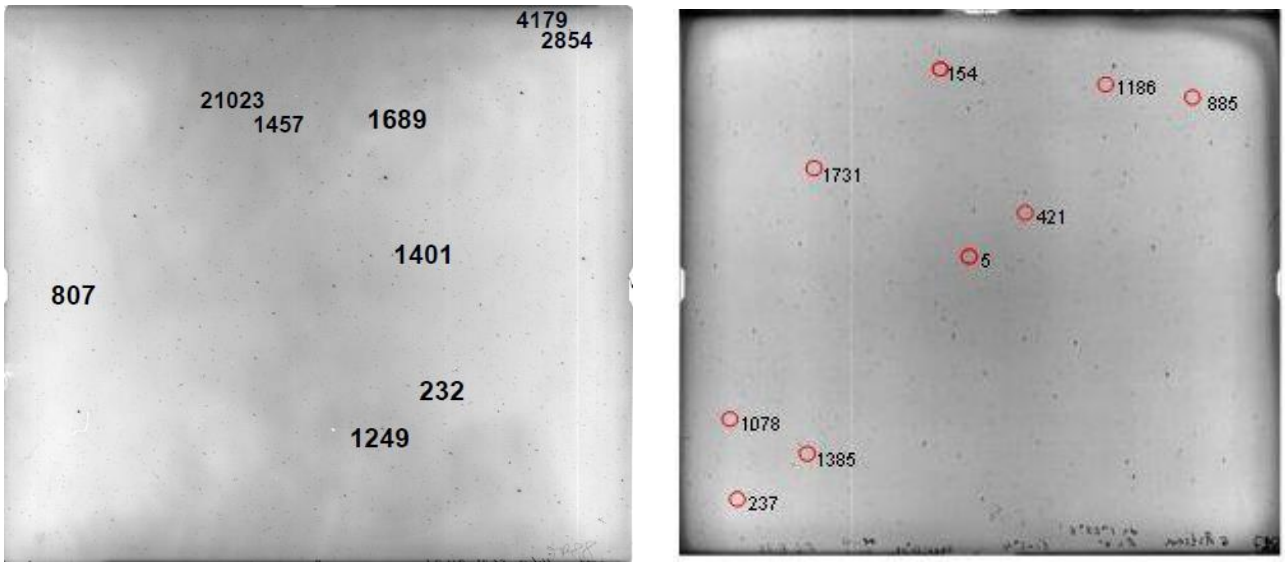


Рис. 2.6 Зображення астероїдів на сканах пластинок GUA040C002088 (експозиція 22 хв, ліворуч) і GUA040C000887B (експозиція 10 хв, праворуч) з архіву JDA УкрВО.

Згодом на підтвердження нашого підходу щодо вибракування положень астероїдів було знайдено дослідження з цієї проблематики. В роботі (Ivantsov et al., 2015) висловлюється припущення про наявність в базі даних MPC положень астероїдів, отриманих зі спостережень, для яких мало місце співпадіння або близьке розташування зображень астероїда і зорі або декількох зір фону, які

майже не розділяються візуально. Такі положення астероїдів можуть містити систематичну похибку. Для підтвердження цього припущення автори виконали порівняння на момент спостереження всіх MPC-положень астероїдів за останні 30 років і координат зір із каталогів PPMXL, UCAC4, NOMAD, USNO-B1.0, SDSS і виявили багато таких проблемних конфігурацій. Автори рекомендують, щоб зображення, які містять фонові джерела, близькі до положення астероїда, отримували меншу вагу в процесі визначення орбіти або були повністю виключені.

Короткий опис аналітичного підходу до пошуку астероїдів приведено в статті (Shatokhina et al., 2018a) зі створення каталогу астероїдів з оцифрованих ФОН-Київ спостережень. А необхідність дослідження випадків візуального співпадіння або близького розташування зображень астероїдів і зір виникла в процесі подальшої ідентифікації більш слабких за видимою зоряною величиною астероїдів і описана пізніше в роботах (Eglitis et al., 2019b; Yizhakevych et al., 2021). Проте всі опубліковані в CDS і на сайті УкрВО каталоги астероїдів пройшли перевірку щодо неоднозначних визначень координат астероїдів на астронегативах. Такі знайдені положення були виключені або зазначені в ремарках, як у випадку каталогу ФОН-Київ.

Висновки до Розділу 2

В розділі 2 описано оцифровані і опрацьовані спостереження за програмою ФОН, отримані каталоги зір і галактик за результатами редукційної обробки цих спостережень, точність визначення екваторіальних координат зір і зоряних B-величин. Результати цієї обробки оцифрованих спостережень були задіяні в пошуку зображень малих тіл Сонячної системи та визначенні координат і зоряних величин останніх.

Описана аналітична процедура пошуку з використанням ефемеридних даних онлайнових інтернет-ресурсів, яка пройшла апробацію з врахуванням переваг і недоліків і призвела до позитивних результатів. Її було застосовано

до подальших масових ідентифікацій зображень астероїдів серед оцифрованих і опрацьованих даних астронегативів програми ФОН та інших.

Наша робота з опрацювання всіх положень Плутона з оцифрованих архівів УкрВО і Астрономічної обсерваторії в Балдоне Латвійського університету сприяла тестуванню цих методик й оцінці можливостей отримання високоточних координат і зоряних величин малих тіл Сонячної системи.

Основні положення та результати Розділу 2 викладені в публікаціях автора: (Kazantseva et al., 2015); (Шатохіна та ін., 2016); (Shatokhina et al., 2018a); (Eglitis et al., 2019a).

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ АНАЛІЗ

3.1. Вступ

Отримані в процесі редукційної обробки сканів екваторіальні координати RA, Dec і фотографічні зоряні B-величини всіх об'єктів на астронегативах (зір, галактик, астероїдів, комет, артефактів) були визначені в системі опорного каталогу Tycho-2 на епоху експозиції кожного негатива. Фотографічні B-величини всіх об'єктів були відкалібровані за допомогою фотоелектричних зоряних стандартів.

Зазначимо, що каталог Tycho-2 містить близько 2,5 млн. зір до 13–14^{m} зоряної величини, для яких наведені положення, власні рухи, зоряні величини в системах, близьких до стандартних систем B і V Джонсона, а також інші відомості. Точність положень для зір 9^{m} величини становить близько 0.05 секунд дуги, власних рухів – 0.002–0.003 секунд дуги на рік. Каталог був опублікований у 2000 році (Hog et al., 2000).

3.2. Створення каталогів положень і зоряних величин астероїдів і комет

За результатами пошуку малих тіл Сонячної системи серед оцифрованих даних спостережень ФОН-Київ, ФОН-Кітаб і ФОН-Душанбе створено три каталоги положень і зоряних величин переважно астероїдів. Перші два з них (Shatokhina et al., 2019a; 2021b) знаходяться в онлайновому доступі на сайтах УкрВО та CDS за адресами: http://gua.db.ukr-vo.org/starcatalogs.php, http://cdsweb.u-strasbg.fr. Третій каталог буде розміщено незабаром. У Додатку B представлені скріншоти першопочаткових записів цих каталогів. Детальний опис і аналіз отриманих даних подано у роботах (Shatokhina et al., 2018a; 2018b; 2020; 2023)

Кожен з них окремо, це – каталог 2292 положень та зоряних B-величин астероїдів і комет із понад 2000 оцифрованих астронегативів ФОН-Київ

спостережень; каталог 2728 положень та зоряних B-величин із понад 2000 оцифрованих астронегативів ФОН-Кітаб спостережень; каталог 2269 положень та зоряних B-величин із понад 1500 оцифрованих астронегативів ФОН-Душанбе.

3.3. Аналіз складових каталогів астероїдів з оцифрованих даних ФОН

Три каталоги малих тіл Сонячної системи загальною кількістю у 7289 положень і зоряних B-величин, серед яких 7273 даних для 3369 астероїдів, 15 – для комет 4P/Faye, 24P/Schaumasse, 29P/Schwassmann-Wachmann, 40P/Vaisala, 65P/Gunn, 74P/Smirnova-Chernykh, 116P/Wild, 192P/Shoemaker-Levy, C/1980 E1 (Bowell) і 1 – для Плутона.

Переважна більшість положень і зоряних величин отримано для астероїдів, які належать Головному поясу (є активні, втрачаючі масу астероїди, як (596) Scheila та ін.). Є окремі невеликі вибірки для 38 астероїдів, орбіти яких перетинають орбіту Марса (Mars-crossers), а також невелика кількість, приналежна до сімейств Hilda, Hungaria, Jupiter Trojan та інших сімейств астероїдів. Каталоги містять дані для двох (3908) і (5751) астероїдів типу 1+km Near-Earth Object, а також для 134 астероїдів, які є подвійними (потрійними) системами із компонентами.

3.3.1. Кількісний аналіз: періоди спостережень, повторюваність, інтервали зоряних величин

Проаналізовані кількісні і якісні складові отриманих каталогів. Спостереженнями ФОН була повністю охоплена ділянка небесної сфери від 0 до 24 годин по прямому сходженню RA і від -4º до + 90º по схиленню Dec. Більшість отриманих астероїдів знайдено в зоні Dec до 30 градусів, а вздовж координати RA вони розподілені нерівномірно. Значно менша кількість астероїдів заповнює зону високих схилень від 30 до 70 градусів. Розподіл

отриманих астероїдів за екваторіальними координатами RA і Dec подано на рис. 3.1.

Для оцінки граничної зоряної величини астероїдів на рис. 3.2 (праворуч) подано кількості отриманих положень астероїдів в інтервалах зоряних величин для спостережень ФОН-Київ, ФОН-Кітаб і ФОН-Душанбе. За даними ФОН-Київ ідентифіковані положення астероїдів до 16^m видимої величини, а за даними ФОН-Кітаб і ФОН-Душанбе виявлені більш слабкі астероїди до 17–17.5^m. Розподіл положень астероїдів за роками спостережень 1980–1995 рр. подано також на рис. 3.2 (ліворуч).

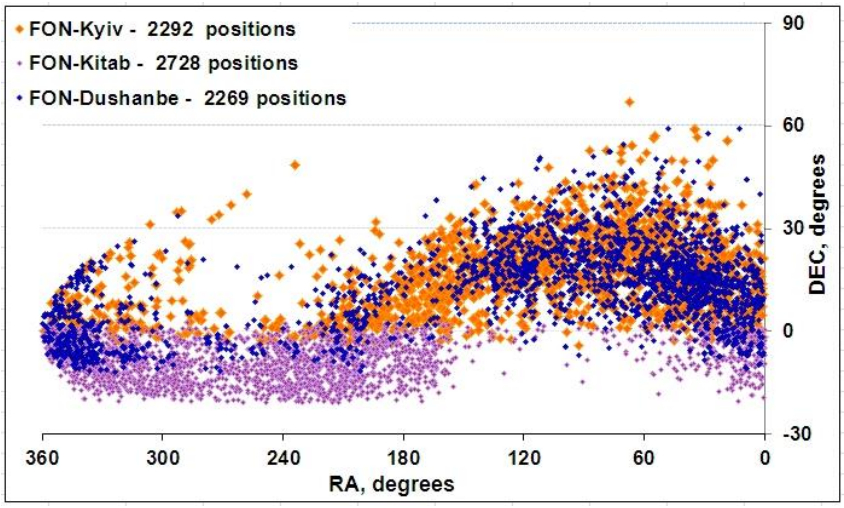


Рис. 3.1. Координатний розподіл положень астероїдів, отриманх відповідно до каталогів трьох частин програми ФОН.

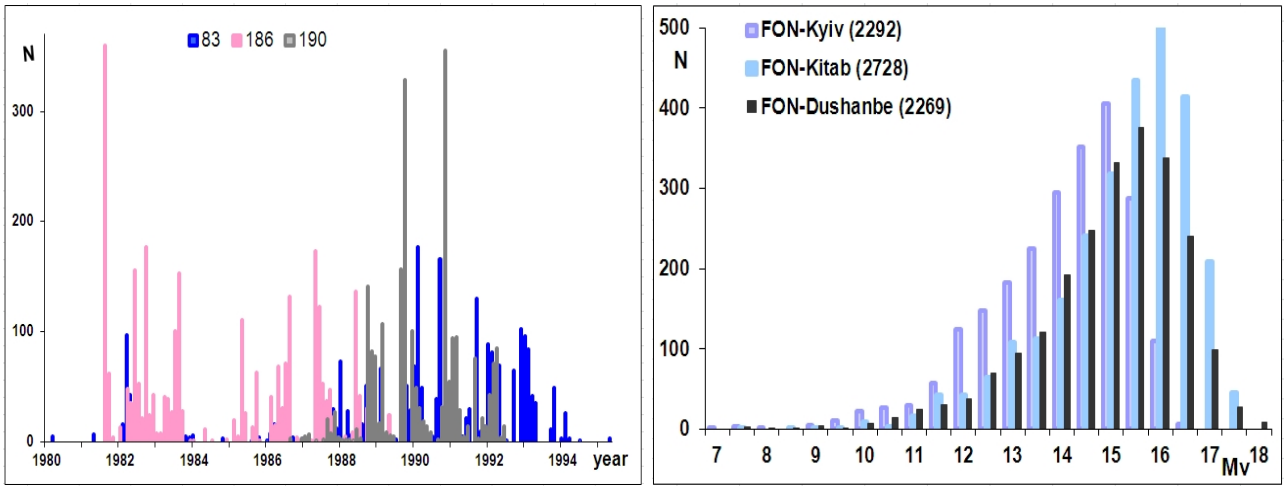


Рис. 3.2. Кількість положень астероїдів, отриманих відповідно до трьох частин програми ФОН і розподілених за часом спостережень (ліворуч) та за інтервалами видимої зоряної величини Mv (праворуч).

Для кожного окремого астероїда пораховано повторюваність його спостережень. З'ясовано, що більшість астероїдів має поодинокі положення, а для інших багатьох є наявні два-три чи більше положень, значно рознесених за часом спостережень. І зовсім невелика кількість астероїдів має частоту спостережень приблизно 10 разів. Повторюваність спостережень астероїдів відображено на рис. 3.3, де наведено всі отримані з ФОН-Київ, ФОН-Кітаб і ФОН-Душанбе дані щодо 7273 положень і В-величин для 3369 астероїдів. На рисунку відмічені астероїди з найчастішими спостереженнями. Як висновок зазначимо, що для будь-яких вибраних астероїдів є мало серій неперервних спостережень із коротким інтервалом часу між ними, що робить дуже незручним використання отриманих зоряних величин цих астероїдів для побудови кривих блиску або дослідження інших фотометричних характеристик.

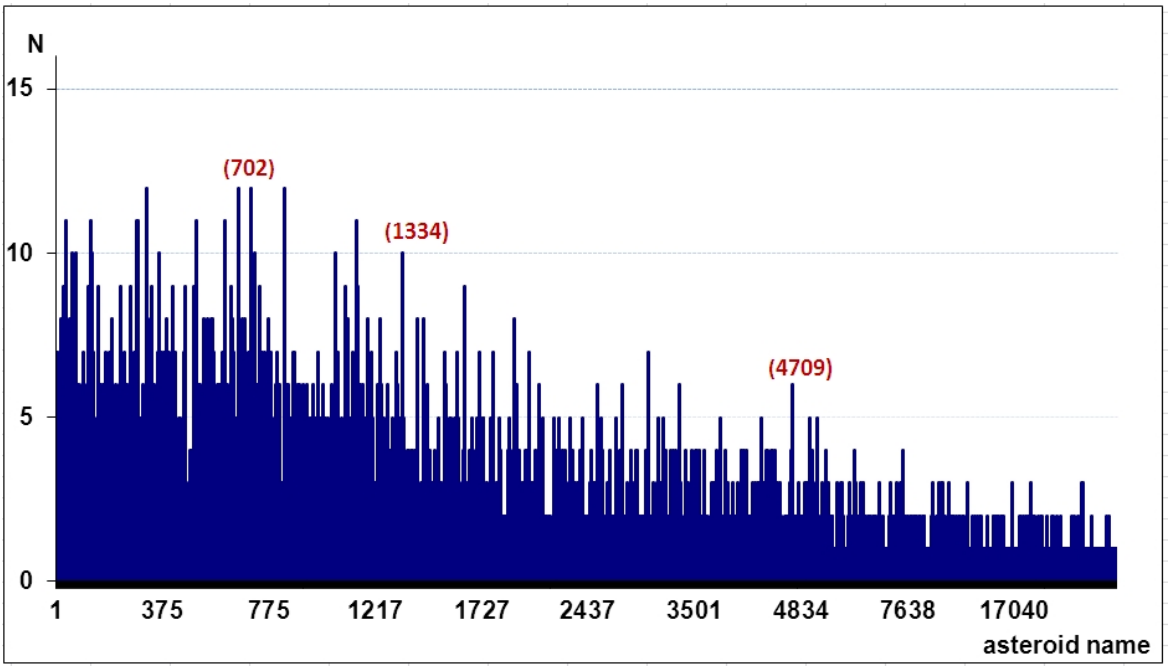


Рис. 3.3. Повторюваність спостережень ідентифікованих астероїдів за даними ФОН-Київ, ФОН-Кітаб і ФОН-Душанбе.

3.3.2. Якісний аналіз: оцінка випадкових похибок координат і зоряних В-величин астероїдів

За спостереженнями ФОН-Кітаб було визначено середні випадкові похибки координат і зоряних В-величин астероїдів. Кітабські спостереження проводились з обома телескопічними трубами і були організовані таким чином, що кожному астронегативу відповідала його копія, отримана одночасно і на другій фотографічній трубі телескопа. За даними таких парних астронегативів було отримано 2824 положення астероїдів, координати і зоряні величини яких були усереднені в кожних відповідних парах, а отримані середні значення увійшли до каталогу ФОН-Кітаб як відповідні 1412 положень і зоряних В-величин. Решта 1316 положень астероїдів каталогу ФОН-Кітаб отримані за даними одинарних астронегативів. Для парних положень пораховані середні квадратичні похибки σ визначення координат і зоряних величин астероїдів. Похибки σ індивідуальні та усереднені в інтервалах видимої зоряної величини представлено на рис. 3.4 та рис. 3.5.

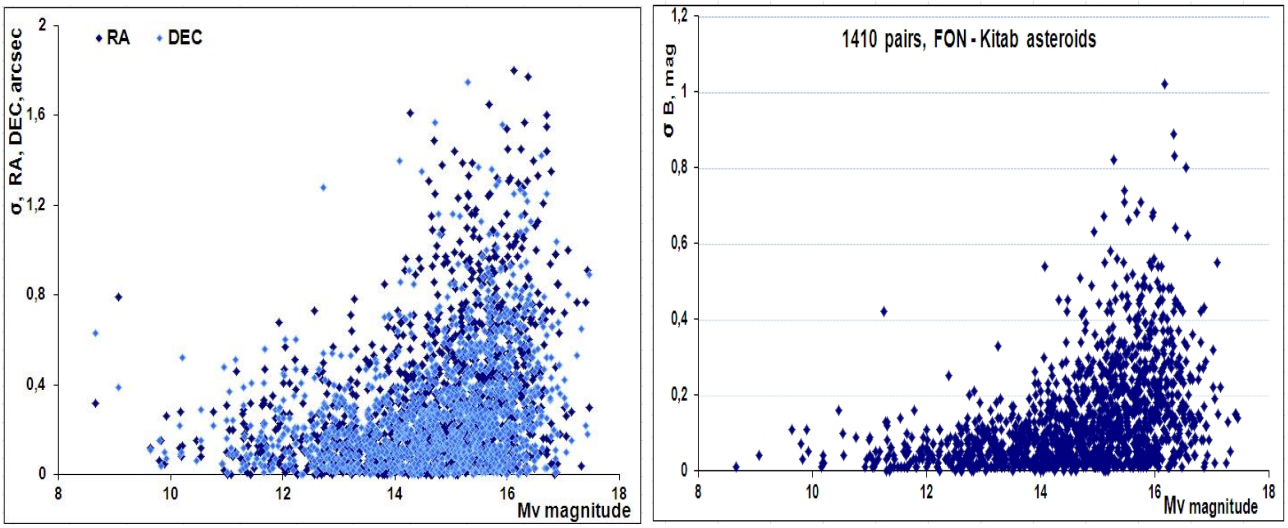


Рис. 3.4. Індивідуальні випадкові похибки координат та зоряних В-величин астероїдів за спостереженнями ФОН-Кітаб.

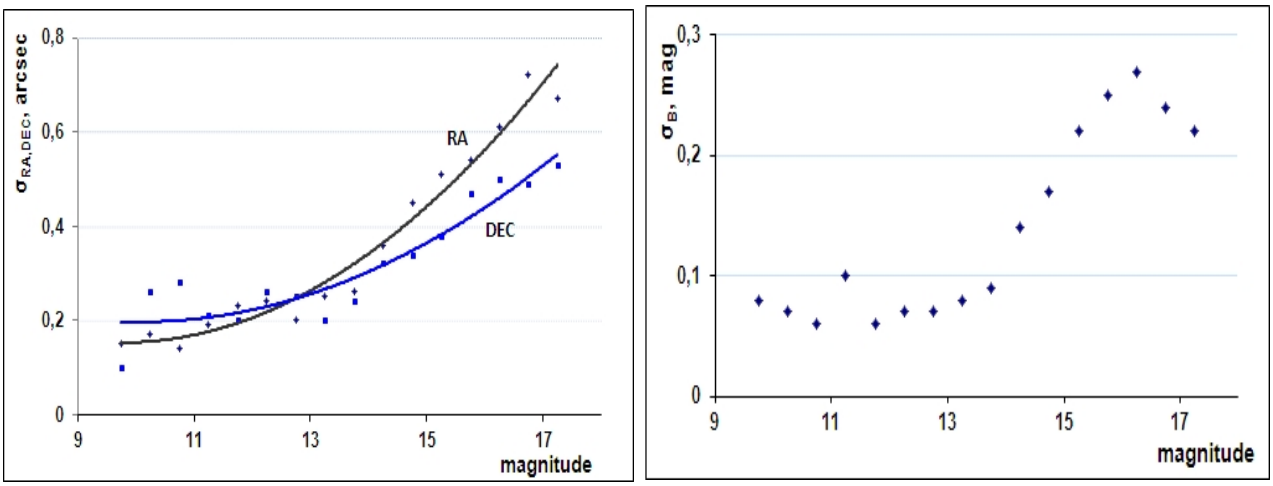


Рис. 3.5. Випадкові похибки координат та зоряних B-величин астероїдів, усереднені в інтервалах видимої зоряної величини Mv.

Середні випадкові похибки визначення екваторіальних координат астероїдів змінюються від 0.2 до 0.7 arcsec за RA та Dec при зміні блиску астероїдів від 10^m до 17^m зоряної величини. Середні випадкові похибки визначення зоряних B-величин становлять до 0.1^m для астероїдів $10–14^m$ видимої зоряної величини, а для більш слабших астероїдів – стрімко збільшуються в кілька разів.

Аналогічні випадкові похибки координат і зоряних B-величин астероїдів із ФОН-Київ і ФОН-Душанбе спостережень не були визначені з відсутності відповідних даних.

3.3.3. Аналіз координатних різниць O–C астероїдів, залежність від швидкості змін координат

Для оцінки точності отриманих координат і зоряних величин астероїдів всі положення астероїдів були порівняні з точною ефемеридою JPL (https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi) і пораховані координатні різниці O–C між спостереженим і ефемеридним положеннями астероїдів. Середні значення O–C за всіма положеннями астероїдів дорівнюють –0.09 і +0.05 arcsec для спостережень ФОН-Київ та –0.13 і +0.04 arcsec для спостережень ФОН-Кітаб,

за координатами RA, Dec відповідно. Середні квадратичні відхилення σ різниць O–C астероїдів дорівнюють 0.74 і 0.66 arcsec в RA, Dec для ФОН-Київ та 0.87 і 0.71 arcsec для ФОН-Кітаб спостережень відповідно. Окремо за інтервалами видимих зоряних величин астероїдів пораховані середні квадратичні похибки різниць O–C, які представлені на рис. 3.6. На рис. 3.7, порівнюючи дані астероїдів з ФОН-Київ і ФОН-Кітаб спостережень, приведено криві розподілу різниць O–C за обома координатами. Як висновок, спостерігається добре узгодження даних астероїдів, отриманих з ФОН-Київ і ФОН-Кітаб спостережень.

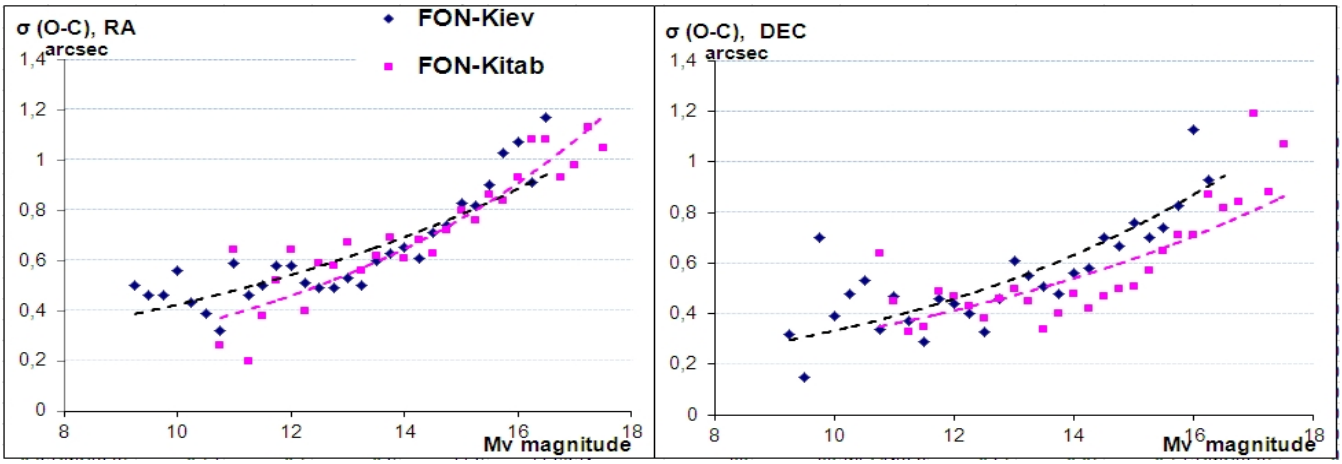


Рис. 3.6. Розподіл середніх квадратичних похибок різниць O–C астероїдів в інтервалах візуальних зоряних величин для ФОН-Київ і ФОН-Кітаб спостережень.

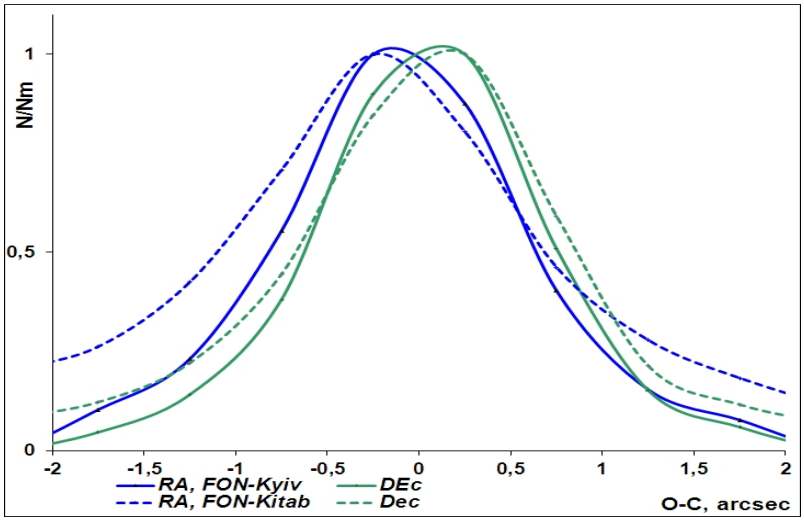


Рис. 3.7. Криві розподілу різниць O–C в координатах RA, Dec для положень астероїдів, отриманих з ФОН-Київ і ФОН-Кітаб спостережень.

У порівнянні отриманих результатів двох частин ФОН з третьою частиною ФОН-Душанбе спостерігаються деякі розбіжності в точності отриманих положень астероїдів (Shatokhina et al., 2020; 2023). За даними рис. 3.8 розкид значень O–C астероїдів більший в обох координатах для спостережень ФОН-Душанбе, ніж для спостережень ФОН-Київ і ФОН-Кітаб. Для всіх положень астероїдів з ФОН-Душанбе також помітний систематичний зсув O–C в координаті RA приблизно на 1 arcsec.

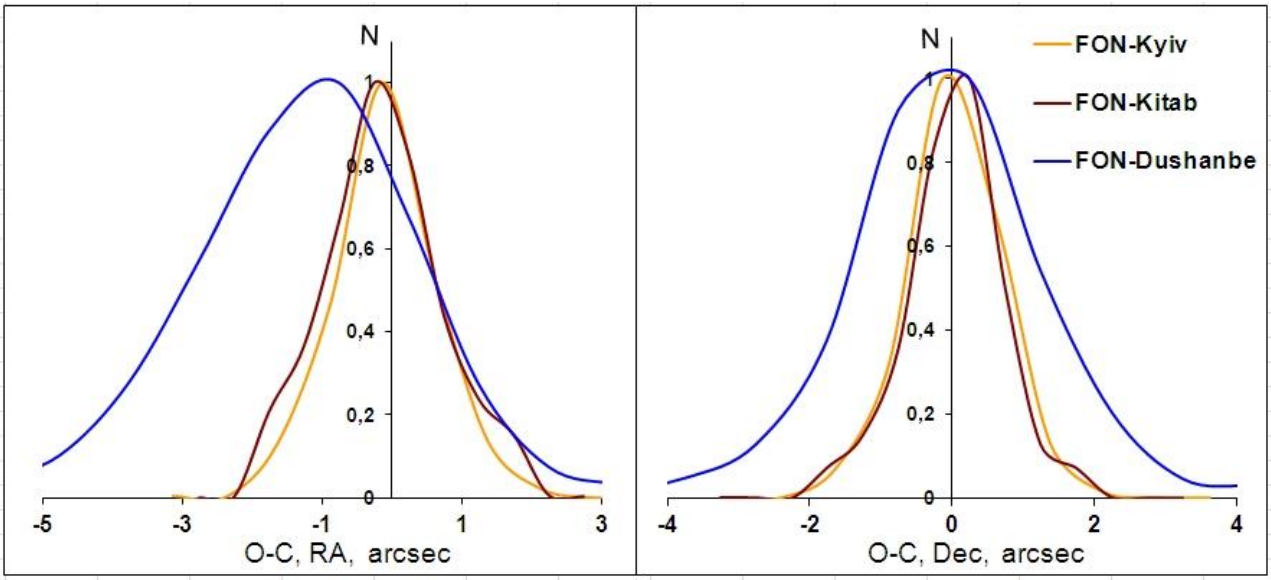


Рис. 3.8. Криві розподілу різниць O–C астероїдів відповідно до трьох частин програми ФОН.

Зазвичай це може відповідати систематичній похибці часу при визначенні середнього моменту кожної експозиції при спостереженнях. Тоді більш «швидким» астероїдам (за змінами їх координат з часом на небесній півкулі) будуть відповідати найбільші значення O–C у порівнянні з менш «швидкими» астероїдами. За попередніми оцінками, похибка часу може становити кількох хвилин, що відповідає зміщенню кривої розподілу O–C приблизно на 1 arcsec по координаті прямого сходження.

Для з’ясування цього питання були змодельовані різниці O–C астероїдів з ФОН-Душанбе спостережень для декількох варіантів обрахунку моментів часу

спостережень – оригінального і зміщених на +1.5 та +3 хвилини. За отриманими даними були побудовані та проаналізовані як розподіли різниць О–С, так і залежності О–С від «швидкостей» – змін координат астероїдів на небесній півкулі внаслідок їх руху по орбіті. Результати показані на рис. 3.9 для двох варіантів обрахунку моментів часу спостережень – оригінального і зміщеного на +3 хвилини. Виявлена не тільки чітка кореляція різниць О–С астероїдів зі значеннями їх «швидкостей», особливо в координаті прямого сходження, але й зміни в О–С астероїдів при зміщенні моментів часу спостережень. Це підтверджує, що внаслідок системного недоврахування часу при спостереженнях, на що також було звернено увагу в попередніх роботах з обробки спостережень ФОН-Душанбе (Yizhakevych et al., 2018; Shatokhina et al., 2020), відбувається зміщення всієї сукупності різниць О–С астероїдів, ідентифікованих на астронегативах ФОН-Душанбе.

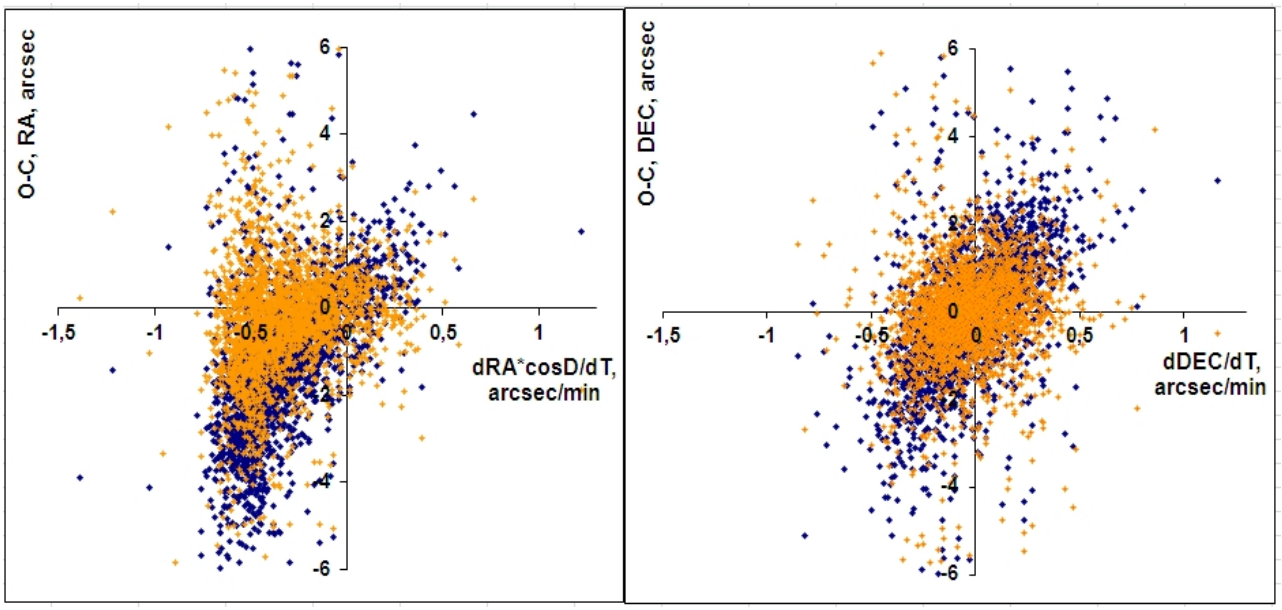


Рис. 3.9. Різниці О–С в залежності від швидкостей зміни координат RA, Dec астероїдів при використанні оригінальних моментів часу спостережень (сині маркери) і зміщених на + 3 хвилини (жовті маркери).

Як відомо, положення рухомих об'єктів характеризується двома координатами і моментом часу спостереження, якому ці координати

відповідають. Якщо коректно визначено екваторіальні координати всіх об’єктів з урахуванням впливів всіх спотворюючих зображення і відстані факторів (а всій сукупності положень астероїдів властиве подібне зміщення O–C), то неточний момент часу спостережень може суттєво змінити положення об’єкта до неможливості його подальшого використання. У випадку, коли похибка через неточні моменти часу має систематичну складову, її можна визначити шляхом аналізу масивів O–C та штучної корекції всіх моментів часу спостережень. Якщо окремі похибки в часі спостереження є випадковими і хаотичними, то поліпшити такі положення астероїдів малореально. Тому для визначення вищезазначеної системної складової в умовах неточного обліку часу було проведено моделювання різниць O-C астероїдів зі зсувом моментів часу на +1.5 та +3 хвилини.

У 2020 р. завдяки спілкуванню зі спостерігачами програми ФОН-Душанбе стало відомо, що знайдено оригінал журналу спостережень, який раніше був втрачений через непереборні надзвичайні обставини. Зазначимо, що для обробки спостережень ми використовували електронну копію опрацьованих даних журналу, яка створена і зберігається в Гісарській астрономічній обсерваторії. Попередній аналіз кількох записів із цього журналу вказав на різницю між оригінальними моментами спостережень з журналу та тими, які ми використовували. Ця різниця була систематичною і становила 1.5 хвилини. Тому саме таке значення було використано нами як можливий варіант систематичного зсуву часу. Але, на наш погляд, саме така поправка не є достатньою, вона повинна бути більшою. З іншого боку, значення корекції часу спостережень в 3 хвилини не підтверджується спостерігачами, котрі вважають найбільш вірогідною похибкою часу +1,5 хвилини. Тому це питання є спірним і залишається невизначеним.

У висновку можна зазначити, що точний час кожної експозиції, як це вимагається при спостереженні рухомих небесних об'єктів, не був суворою необхідною вимогою для спостережень зоряних областей у реалізації проєкту ФОН. Тому використання цих спостережень для визначення точних положень

астероїдів може призвести до деякого збільшення похибок і зниження точності положень. Однак уніфікованість засобів спостереження, методів оцифровки даних та їх обробки закладає основи для отримання однорідних рядів положень астероїдів. Існуючі деякі відмінності в оцінках точності координат астероїдів між каталогами трьох частин проєкту можна пояснити випадковими або іноді систематичними похибками фіксування моментів часу спостережень. Такі похибки, по можливості, можна проаналізувати і взяти до уваги.

3.3.4. Залежність координат від фазового кута, місця розташування в полі астронегатива

Одночасно з координатними і фотометричними даними для ідентифікованих астероїдів сервісами JPL також були згенеровані величини фазових кутів спостережуваних астероїдів. Їх значення змінювались в діапазоні від 0 до 30 градусів (рис. 3.13 з розділу 3.3.5). У загальному випадку, значимих змін координат астероїдів для різних фазових кутів не було виявлено. Проте детальних досліджень позиційних характеристик астероїдів за рахунок впливу фазових кутів не проводилось, як і стосовно місця розташування зображень астероїдів у полі астронегативів. Останнє твердження обґрунтоване тим, що процес редукції сканів ширококутних пластинок із врахуванням впливів більшості спотворюючих факторів передбачає точність при визначенні координат всіх об’єктів, максимально незалежну від їх місця розташування в полі астронегатива.

3.3.5. Аналіз отриманих зоряних B-величин астероїдів.

Всі отримані з оцифрованих фотографічних спостережень каталоги астероїдів містять як екваторіальні координати, так і зоряні величини на відповідний момент спостережень. Для ФОН-спостережень це – зоряні величини в B-смузі системи Джонсона, які на фінішному етапі редукції сканів астронегативів були прокалібровані фотоелектричними зоряними стандартами.

Наприклад, за оцифрованими даними спостережень Астрономічної обсерваторії в Балдоне отримані зоряні величини об’єктів – це зоряні величини в U-, B-, V- і R-смугах системи Джонсона, які були реалізовані відповідними фільтрами при спостереженнях.

У розділі 3.3.2, на основі аналізу одночасних пар спостережень на двох трубах телескопа, приведені оцінки випадкових похибок визначення зоряних B-величин астероїдів для кожного інтервалу зоряних величин, які дорівнюють значенню до 0.1^m для астероїдів $10–14^m$ зоряної величини, а для більш слабших астероїдів стрімко зростають в кілька разів.

Для зір автори публікації зоряного каталогу координат і величин ФОН-Київ (Andruk et al., 2016) приводять внутрішню точність визначення зоряної величини B, яка складає 0.07^m для зір до 14^m зоряної величини та 0.14^m для всіх зір до 16.5^m зоряної величини B. А у порівнянні з каталогом Tycho-2 автори приводять значення точності в 0.15^m.

Проте астероїди не являються самостійним джерелом світла, а тільки відбивають його своєю поверхнею. І точність визначення зоряної величини для них може бути іншою, ніж для зір.

В процесі ідентифікації астероїдів ми також брали до уваги їх візуальні зоряні величини, які разом з координатами на відповідний момент спостережень були згенеровані ефемеридними сервісами JPL. Це приблизні (безповітряні) візуальні зоряні величини астероїдів, обчислені з врахуванням геоцентричних та геліоцентричних відстаней та функції фазових кутів згідно формул, рекомендованих IAU і приведених в описах алгоритмів JPL (Giorgini et al., 1996; Giorgini, 2015; https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/app):

```
APmag = H + 5*log10(delta) + 5*log10(r) - 2.5*log10((1-G)*phi_1 + G*phi_2)
```

В нашому викладенні величина APmag позначена як Mv. Різниці між отриманими B-величинами астероїдів і ефемеридними Mv, за зразком координатних різниць, слугували нам одним із критеріїв (другорядним) при пошуку астероїдів. По-друге, величини Mv використовувались для порівняння

різних типів даних, отриманих з оцифрованих як ФОН спостережень, так і спостережень Астрономічної обсерваторії в Балдоне та інших.

На рис. 3.10 та рис. 3.11 представлено залежності між отриманими нами B-величинами астероїдів і їх візуальними ефемеридними Mv відповідно до трьох частин ФОН, а також утвореними різницями типу B–Mv для астероїдів з ФОН-Київ спостережень (рис. 3.11).

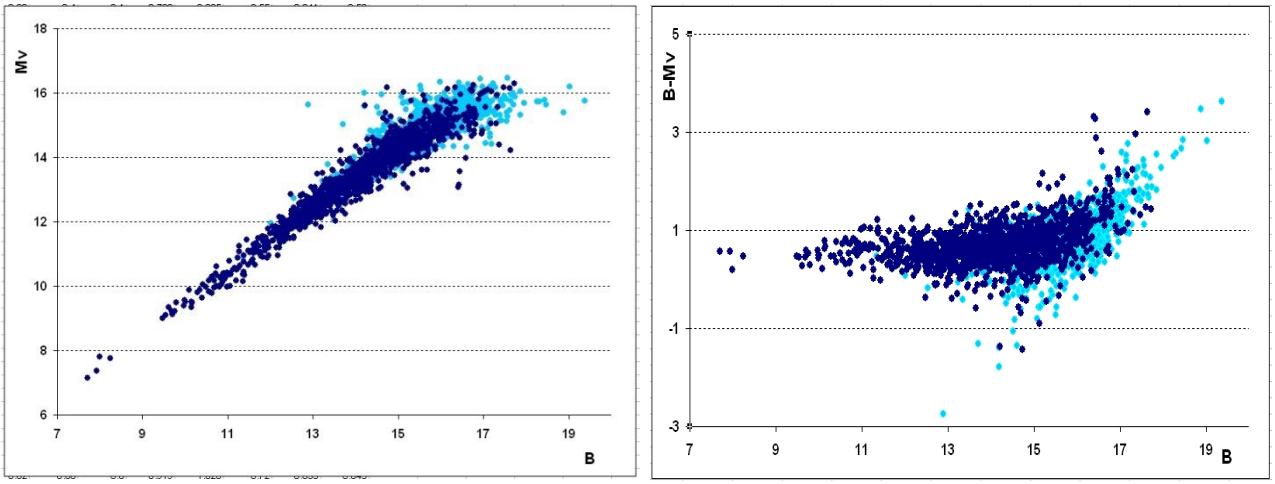


Рис. 3.10. Схематичний розподіл отриманих зоряних B-величин астероїдів за значеннями ефемеридної візуальної величини Mv астероїдів (ліворуч) і різниць B–Mv (праворуч) для ФОН-Київ спостережень.

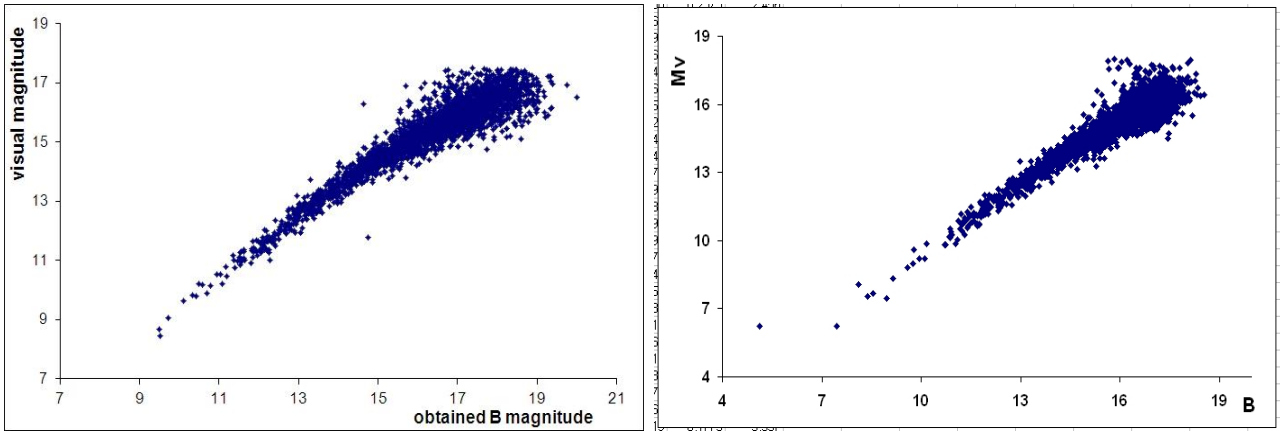


Рис. 3.11. Схематичний розподіл отриманих зоряних B-величин астероїдів за значеннями ефемеридної візуальної величини Mv астероїдів за даними ФОН-Кітаб (ліворуч) і ФОН-Душанбе спостережень (праворуч).

За даними рисунків розкид отриманих B-величин астероїдів стрімко збільшується з ростом Mv. Це може бути як наслідком зростання кількості ідентифікованих слабких астероїдів порівняно з яскравими, так і росту похибок визначення B-величин, які збільшуються для слабких об’єктів.

По-друге, яскравість астероїдів залежить від геоцентричної та геліоцентричної відстаней, кута фази у відповідний момент спостереження. До того ж, переважно у всіх астероїдів спостерігаються короткочасні коливання яскравості внаслідок власного обертання з періодами від декількох годин до однієї доби. Амплітуда короткочасних коливань яскравості для різних астероїдів різна і коливається від кількох сотих зоряної величини (наприклад (1) Ceres) до двох зоряних величин (наприклад (1628) Geographos та (1865) Cerberus). Тому отримані зоряні B-величини астероїдів містять сумарні результати впливу всіх цих факторів.

Якщо для ідентифікованих нами астероїдів вибрати значення колор-індексів B–V з баз даних JPL, то розподіл B-величин ідентифікованих астероїдів за цими значеннями, представлений на рис. 3.12 для астероїдів ФОН-Київ, матиме бімодальний характер. Це свідчить про те, що астероїди розподілилися згідно своїх таксономічних класів на дві сукупності – з переважно низькими значеннями колор-індексів і альбедо і з більш високими значеннями цих параметрів.

Проте не всі ідентифіковані нами астероїди мають значення колор-індексів в базі даних JPL, які визначені з хорошою точністю. Внаслідок відсутності даних для частини астероїдів на рисунку приведено розподіл тільки для більшої половини від усієї кількості астероїдів (яка зазначена на рис. 3.10 темним кольором). Але збільшення розкиду значень для слабких астероїдів після 15^m зоряної величини спостерігається також.

Розподілення даних з ФОН-Київ спостережень за кутом фази подано на рис. 3.13, згідно якого основна кількість ідентифікованих астероїдів спостережена з кутом фази від 0 до 20 градусів. Невелика кількість припадає на фазовий інтервал від 20 до 30 градусів. Корекції отриманих нами

фотометричних даних ідентифікованих астероїдів з врахуванням впливу кута фази не проводились.

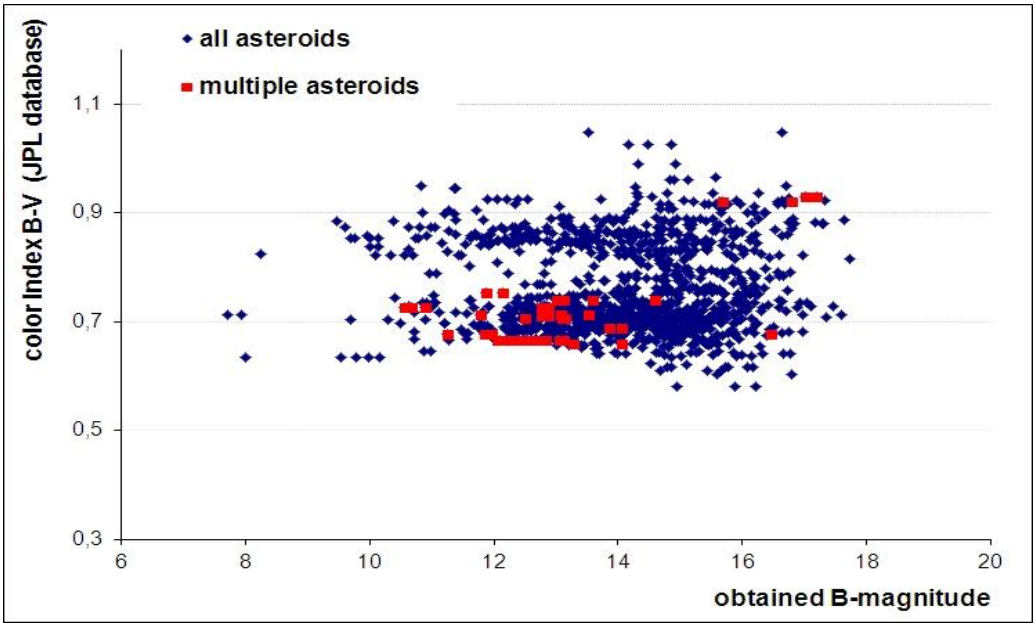


Рис. 3.12. Розподіл B-величин ідентифікованих астероїдів ФОН-Київ за значеннями колор-індексів B–V, вибраними з бази даних JPL.

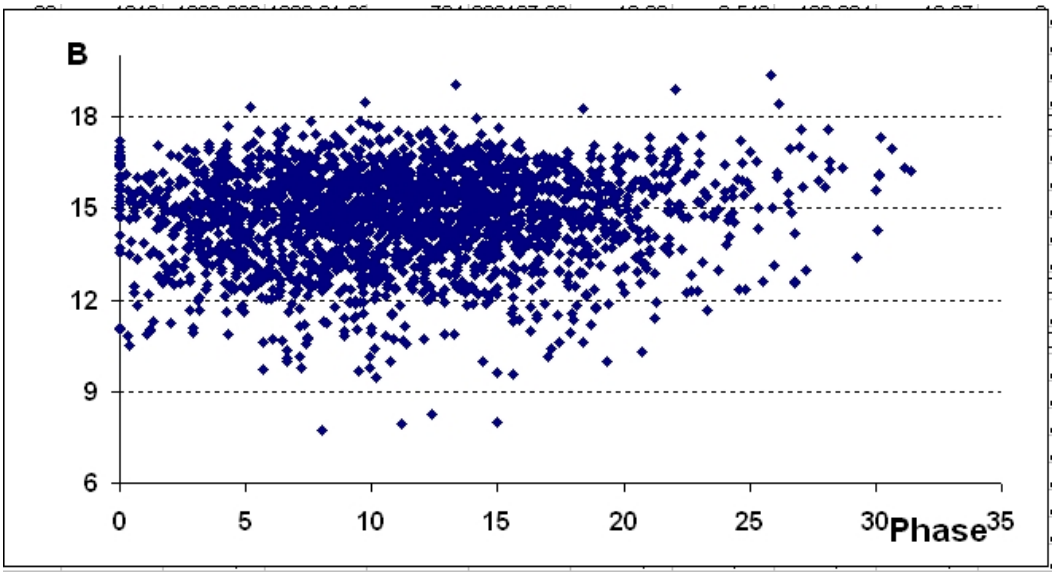


Рис. 3.13. Розподіл зоряних B-величин ідентифікованих астероїдів за кутом фази за даними ФОН-Київ спостережень.

Взагалі ми сподіваємось, що при коректному врахуванні всіх перерахованих вище факторів отримані зоряні B-величини астероїдів за умови

неперервних і достатньо забезпечених спостереженнями вибірок можуть бути використані для побудови кривих блиску деяких астероїдів, фазових залежностей та отримання інших фотометричних характеристик. За нашими даними, з огляду на їх дискретність (рис. 3.3), такі повноцінні вибірки складно створити, але, якщо під'єднати дані з інших оцифрованих архівів, наприклад, обсерваторії в Балдоне, можливо отримати не тільки більшу кількість спостережень конкретних астероїдів, але й зоряні величини для них в різних спектральних смугах UBVR системи Джонсона.

3.4. Подвійні і кратні системи астероїдів, «передвідкриті» астероїди та інші особливі об'єкти

Контент каталогів астероїдів з оцифрованих спостережень трьох частин проєкту ФОН було аналізовано на наявність подвійних та інших кратних систем астероїдів. Було знайдено 134 положення для 45 астероїдів на основі відповідних даних IAU (http://cbat.eps.harvard.edu/minorsats.html) та приватної бази даних Джонстона (Johnston, 2018; 2019) (http://www.johnstonsarchive.net/astro/asteroidmoons.html). Для подвійного (702) Alauda в створених нами каталогах отримана найбільша кількість з 10 положень і зоряних величин. Серед числа всіх ідентифікованих нами астероїдів були виявлені кратні, які є подвійними системами компонентів, а також кілька потрійних систем. Їх розподіл по зоряних величинах і значеннях O–C за координатою RA представлено на рис. 3.14. За зоряною величиною подвійні астероїди належать всьому інтервалу зоряних величин від 10^m до 18^m. Для астероїдів з ФОН-Київ спостережень на рис. 3.12 попереднього підрозділу представлено кількість і місцерозташування подвійних астероїдів (червоним кольором) серед решти всіх ідентифікованих малих тіл. Більшість з них належить до типу астероїдів з низьким колор-індексом і відповідним альбедо. В 2020 р. за результатами пошуку таких об'єктів серед оцифрованих частин проекту ФОН-Київ, ФОН-Кітаб та даних оцифрованого архіву спостережень

Астрономічної обсерваторії в Балдоне (Латвія) було зроблено доповідь на міжнародній конференції ASBD2 в Бюракані (Kazantseva & Shatokhina, 2020).

Вміст каталогів астероїдів також було досліджено на предмет наявності так званих «передвідкритих» («prediscovered») астероїдів, спостереження яких можуть бути знайдені в минулі часи, які значно передують за часом офіційним відкриттям астероїдів. Ще на початкових етапах створення УкрВО наші колеги Сергеєв О.В. і Сергеєва Т.П. прогнозували наявність зображень таких астероїдів серед оцифрованих астронегативів минулих часів (Sergeeva et al., 2005; 2006b).

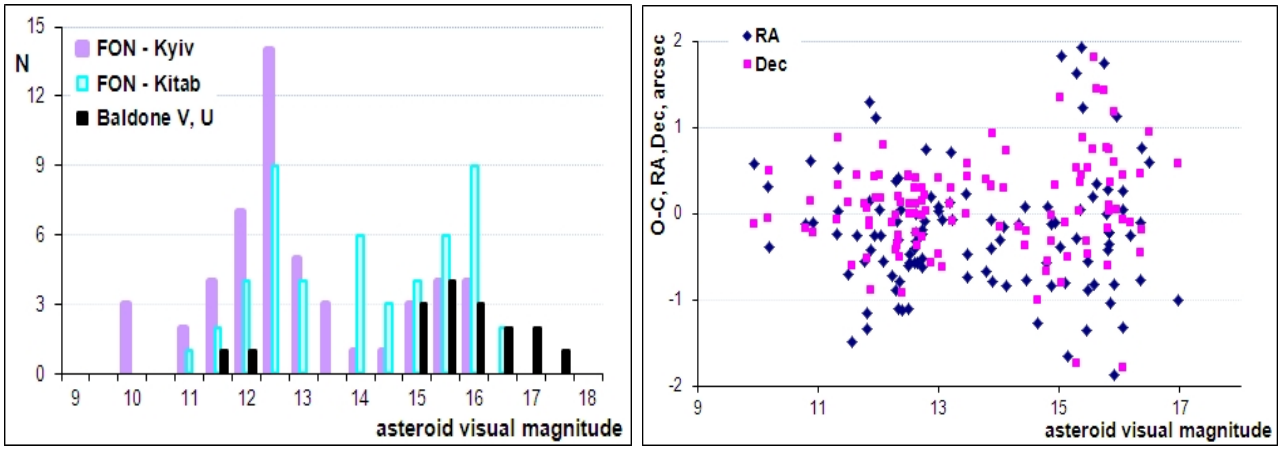


Рис. 3.14. Розподіл подвійних астероїдів за видимою зоряною величиною (ліворуч) і різницями O–C за прямим сходженням (праворуч).

В межах співробітництва з латвійською Астрономічною обсерваторією в Балдоне в частині обробки оцифрованих астронегативів, одержаних в різних спектральних смугах U, B, V, R системи Джонсона на 1.2-м телескопі Шмідта, було проведено аналогічний пошук зображень астероїдів. На його основі отримано 1848 положень і зоряних величин астероїдів і комет в інтервалі зоряних величин від 9^m до 18^m, з яких 170 зоряних U-величин та 1676 зоряних V-величин астероїдів (Eglitis et al., 2018b; 2019b; Eglitis & Andruk, 2021; Yizhakevych et al., 2021). Опрацьовані астронегативи періоду спостережень 1963–1999 рр. в Балдоне містять зображення астероїдів Головного поясу,

спостереження яких зафіксовані на 20–25 років раніше до офіційного відкриття самих астероїдів і є самими ранніми спостереженнями їх в світі (серед всіх опрацьованих за інформацією бази даних MPC). За такими спостереженнями отримано 490 положень слабких астероїдів (до 30 % усієї кількості ідентифікованих). Як приклад, на рис. 3.15 з роботи (Eglitis et al., 2019b) показано розташування опрацьованих спостережень в Балдоне для 40 таких астероїдів (червоним кольором), перших зафіксованих спостережень цих астероїдів в світі (сірим кольором) та моментів їх офіційного відкриття (синім кольором) за даними MPC. Спостережень астероїдів, виконаних до моментів офіційного відкриття астероїдів, є багато в базі даних MPC. Найчастіше вони отримані з хорошою позиційною точністю шляхом опрацювання оцифрованих фотографічних спостережень минулих років, масштабних оглядів неба, як Digitized Sky Survey (DSS) та ін. А згадані вище 490 положень астероїдів в Балдоне відповідають хронологічно найпершим спостереженням цих астероїдів, які опрацьовані і реально підтверджують або обумовлюють коректувати прогнозовані дані ефемерид за відсутності спостережень в минулому.

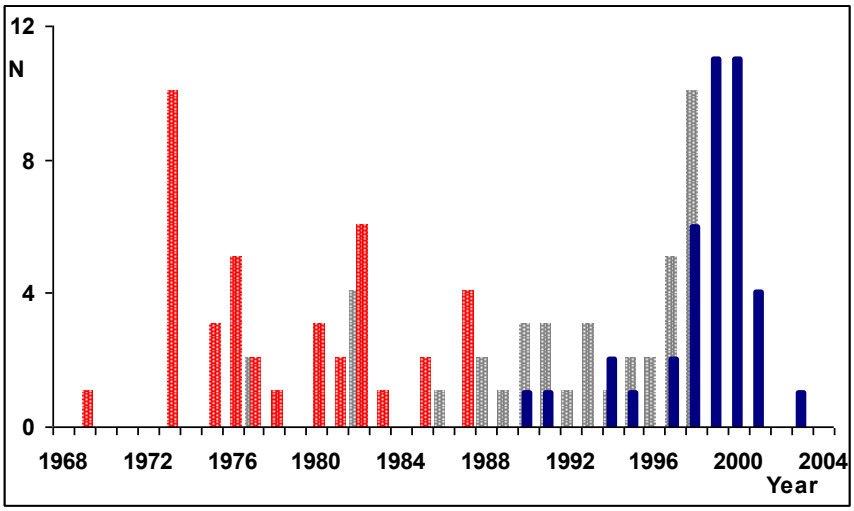


Рис. 3.15. Моменти спостережень 40 «передвідкритих» астероїдів в Балдоне (червоним), перших наявних в базі MPC спостережень (сірим) та моменти офіційного відкриття цих астероїдів (синім кольором).

Дані щодо видимих зоряних величин та отриманих в результаті порівняння з ефемеридою O–C для 490 «передвідкритих» астероїдів подано на рис. 3.16 з роботи (Eglitis & Andruk, 2021, p.20) у порівнянні з рештою положень з оцифрованих архівів обсерваторії в Балдоне.

Внесок спостережень ФОН у цей список значно «скромніший». (За даними ФОН-Київ отримано 4 положення астероїдів, за даними ФОН-Кітаб – 82 положення, які є хронологічно найпершими серед всіх опрацьованих спостережень в світі). Це можна пояснити як наслідком більш пізніх епох спостережень, так і значно меншою досягнутою граничною зоряною величиною. Проте серед даних створених каталогів є інші не менш цікаві об’єкти, зокрема астероїд ненумерований 1988 RH9, який має взагалі лише 21 спостереження, або навколоземні 1+км NEA астероїди (3908) і (5751) та ін.

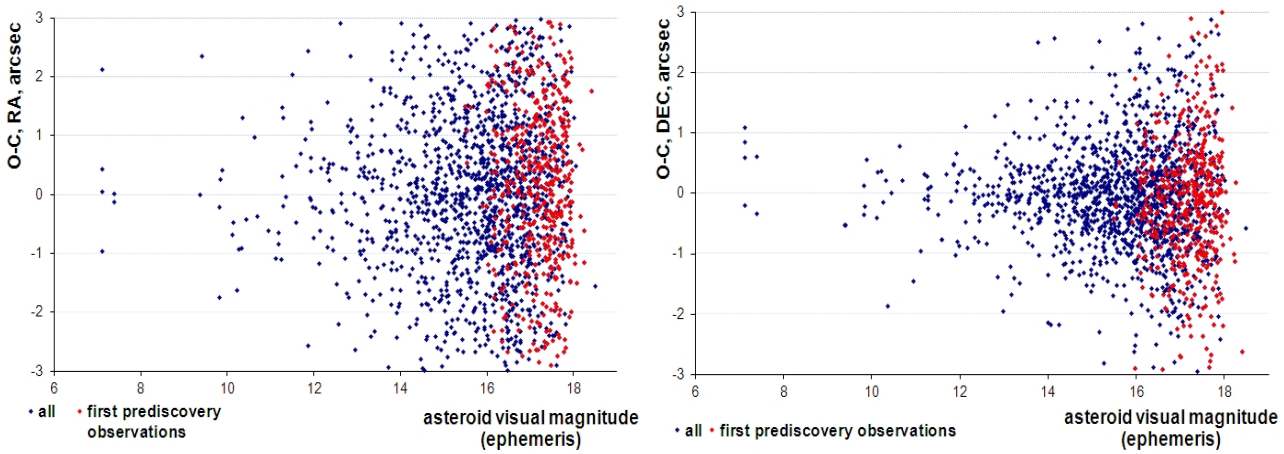


Рис. 3.16. Розподіл різниць O–C по обох координатах для 490 «передвідкритих» (червоні) і решти ідентифікованих астероїдів (сині маркери) з оцифрованих спостережень архіву Балдоне.

Деякі окремі астероїди, чиї характеристики нами визначені, мають особливий інтерес. Наприклад, астероїди, що перетинають орбіту Марса або випадки зближення астероїдів “closed approaches” один з одним або з орбітою Землі не забезпечені достатньою кількістю спостережень і становлять інтерес

для моделювання орбіт, їх динаміки та еволюції особливо в ранні спостережні епохи.

Висновки до Розділу 3.

За результатами пошуку малих тіл Сонячної системи серед оцифрованих спостережень частин ФОН-Київ, ФОН-Кітаю і ФОН-Душанбе створено 3 каталоги положень і зоряних величин астероїдів, які містять 7289 положень і зоряних величин астероїдів. Спостерігається добре узгодження даних астероїдів, отриманих з ФОН-Київ і ФОН-Кітаб спостережень з аналізу позиційної точності положень. Отримані високі оцінки точності координат і зоряних величин астероїдів, які є одними з найкращих високоточних визначень для астронегативів завдяки використанню цифрових технологій для їх обробки. Але такі оцінки точності положень обмежені особливостями фотографічних спостережень і не можуть бути порівняні з точністю сучасних ПЗЗ-спостережень.

Для подальших кінематичних і динамічних досліджень орбіт та їх елементів положення астероїдів повинні мати високу позиційну точність. Проте великі значення О−С астероїдів не завжди є результатом похибок визначення їх координат, особливо для «передвідкритих» чи інших, для яких за відсутністю реальних спостережень у певні проміжки часу обраховуються тільки прогнозовані ефемеридні положення, не підтверджені реальними спостереженнями. Для багатьох астероїдів бази даних MPC також існує проблема використання спостережень попередніх століть у визначеннях орбіт та їх елементів. Як правило, це обумовлене недостатньою точністю таких спостережень, яким надається мінімальна вага при використанні. Отримані нами з високою позиційною точністю, яку можна досягнути з оцифрованих спостережень, реальні положення астероїдів у минулому можуть бути вихідним матеріалом для вирішення таких задач або відстеження динаміки розвитку орбіт астероїдів та моделювання процесів їх змін з часом.

Основні результати розділу 3 викладено в публікаціях автора: Шатохіна та ін., 2017; Shatokhina et al., 2018a; 2018b; 2019a; 2019b; 2020; 2021b; Vavilova et al., 2022.

РОЗДІЛ 4
ПОРІВНЯННЯ ДАНИХ АСТЕРОЇДІВ З ОЦИФРОВАНИХ АСТРОНЕГАТИВІВ З ГОЛОСІЇВСЬКИМИ КАТАЛОГАМИ ПОЛОЖЕНЬ МАЛИХ ПЛАНЕТ МИНУЛИХ ЧАСІВ

4.1. Збір та систематизація даних щодо опублікованих раніше положень малих планет, оцінки їх позиційної точності, опорні системи

За весь період існування в ГАО НАНУ на основі фотографічних спостережень визначено близько 4500 положень астероїдів. Найбільш ранні спостереження вибраних малих планет, переважно яскравих ($6-12^m$) були отримані в межах існуючої в ті часи спостережної програми ОРБІТА, в якій були задіяні багато обсерваторій колишнього СРСР.

В 1976 р. під час Генеральної асамблеї IAU було затверджено програму спостережень 20 вибраних яскравих малих планет. Ця програма була суттєвим розширенням попередніх, запропонованих Д. Брауером і Б. В. Нумеровим (1935 р.), оскільки була спрямована не тільки на визначення параметрів орієнтації зоряних каталогів, а й на виявлення систематичних помилок останніх. Із розширенням списку спостережуваних об’єктів вона була продовжена до 2000 року. Внутрішня точність окремих спостережень за цією програмою мала бути від 0.3" до 0.5". При обробці спостережень малих планет необхідно було використовувати найсучасніші каталоги і намагатися охопити якомога ширшу дугу орбіти, майже від квадратури до квадратури, щоб забезпечити гарне покриття та розділення невідомих (Batrakov et al., 1999). За цією спостережною програмою в ГАО збереглася власна назва «ОРБІТА».

Спостереження малих планет в ГАО НАНУ за цією програмою були проведені за допомогою двох телескопів: довгофокусного астрографа (DLA, 400/5500) у 1952−1986 рр. і ширококутного астрографа (DWA, 400/2000) у 1976−1996 рр. Результати спостережень DLA опрацьовані і опубліковані в багатьох роботах: Гаврилов та ін., 1955; Гаврилов, 1957; 1958; Колчинський,

1956; Онєгина, 1957; 1958; 1960; 1961; 1962; Деменко та ін., 1958; Онєгина та Заславська, 1964; Василенко та Деменко, 1979; Мороз, 1983; Майор та Мороз, 1984; Калтигіна та ін., 1985. Результати спостережень DWA опубліковані в роботах: Головня та ін., 1985; 1986; 1987a; 1987b; 1988a; 1988b; Головня, 1990; 1992; Головня та Їжакевич, 1992. Зауважимо, що більшість друкованих праць є депонованими виданнями, яких немає не тільки в онлайновому доступі, а і взагалі, в широкому доступі.

Загалом по спостереженнях на телескопі DLA отримано 591 положення малих планет, а 1651 положення − із спостережень на телескопі DWA. Отримані позиційні дані переважною більшістю увійшли до бази даних MPC (за виключенням періоду спостережень на телескопі DLA в 1976-1986 рр.). Пізніше з оцифрованих фотографічних спостережень проєкту ФОН у 1981-1995 рр. було визначено ще 2292 положення астероїдів. Це переважно слабкі (до 16^m) астероїди, зображення яких були зафіксовані в межах поля пластинки під час експозиції.

Для обробки спостережень, отриманих на телескопі DLA, в якості опорних були використані наявні в той час зоряні каталоги Yale, SAO та AGK3. Нині усі ці каталоги оцифровані, а їх оновлені версії (Yale University, 1998; SAO Staff, 1995; Dieckvoss & Heckmann, 1998) представлені в онлайновому доступі Страсбурзьким центром астрономічних даних CDS. Переобробка спостережень DLA з сучасними опорними каталогами раніше не проводилась. Отримані зі спостережень на телескопі DWA положення малих планет були перевизначені в системі каталогу PPM (Roeser & Bastian, 1988; 1989), результати яких представлені на сайті УкрВО (http://gua.db.ukr-vo.org/starcatalogs.php?whc=asteroids) і опубліковані в роботах: Головня та Майор, 2001; Golovnya & Major, 2001; 2003; Golovnia et al., 2016. Позиційні дані астероїдів з оцифрованих астронегативів програми ФОН одержані з використанням опорних зір каталогу Tycho-2.

Кількісна інформація щодо положень астероїдів, отриманих за фотографічними спостереженнями в ГАО НАНУ, наведена в табл. 4.1. Можна

порівняти ряди положень астероїдів, визначених раніше в ГАО і одержаних класичними методами, з даними астероїдів, отриманими з оцифрованих астронегативів.

Таблиця 4.1

Загальна кількість положень астероїдів, отриманих в ГАО НАНУ

IAU code	program	Location, telescope	N observations	years	Reference catalog	Publication
083	ORBITA	DLA, MAO	591	1952-1986	Yale, SAO, AGK3 (FK4, B1950)	publications+ MPC database
		DWA, MAO	1651	1976-1996	PPM (FK5, J2000)	publications+ MPC database
	FON-Kyiv	DWA, MAO	2292 +B mag	1980-1995	Tycho-2 (ICRS)	UkrVO + CDS

4.2. Попереднє порівняння трьох рядів спостережень астероїдів

Порівняти спостереження астероїдів можна за чисельністю відповідно до схематичної діаграми (рис. 4.1) із співвідношення кожного ряду до усієї кількості положень, отриманих в ГАО НАНУ, та за періодами спостережень.

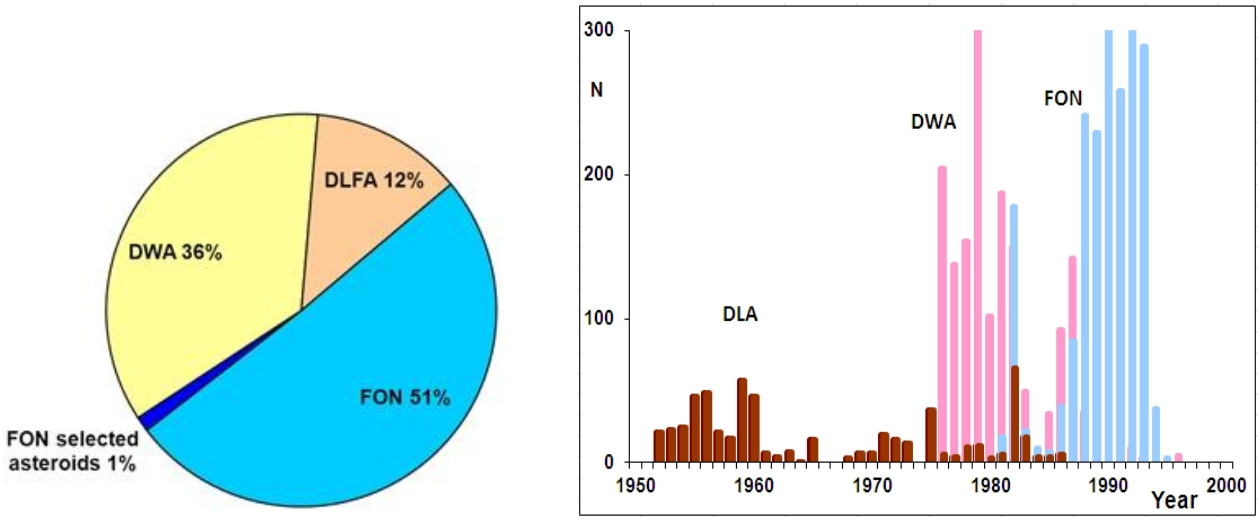


Рис. 4.1. Ліворуч – співвідношення кількості положень астероїдів, отриманих за програмами ФОН-Київ та ОРБІТА. Праворуч – періоди опрацьованих спостережень астероїдів в ГАО НАНУ.

Положення астероїдів з оцифрованих спостережень ФОН-Київ складають повноправну половину від усієї кількості положень, отриманих в ГАО НАНУ, що є достатнім для коректного порівняння всіх рядів спостережень астероїдів.

Щоб оцінити точність положень астероїдів, ми порівняли всі отримані їх координати з відповідними ефемеридами JPL. На рис. 4.2 наведено криві розподілу значень O–C астероїдів для кожного з трьох рядів спостережень в ГАО НАНУ. Побудовані криві вказують на подібну точність координат для перших двох рядів спостережень − проведених за допомогою телескопів DLA та DWA, оцінки якої є типовими для фотографічних спостережень загалом. Проте ми очікували отримати розкид значень O–C астероїдів із спостережень на довгофокусному астрографі DLA значно менший, ніж на ширококутному. Можливо, існують деякі похибки систематичного чи випадкового впливу на координати, які ще не були враховані.

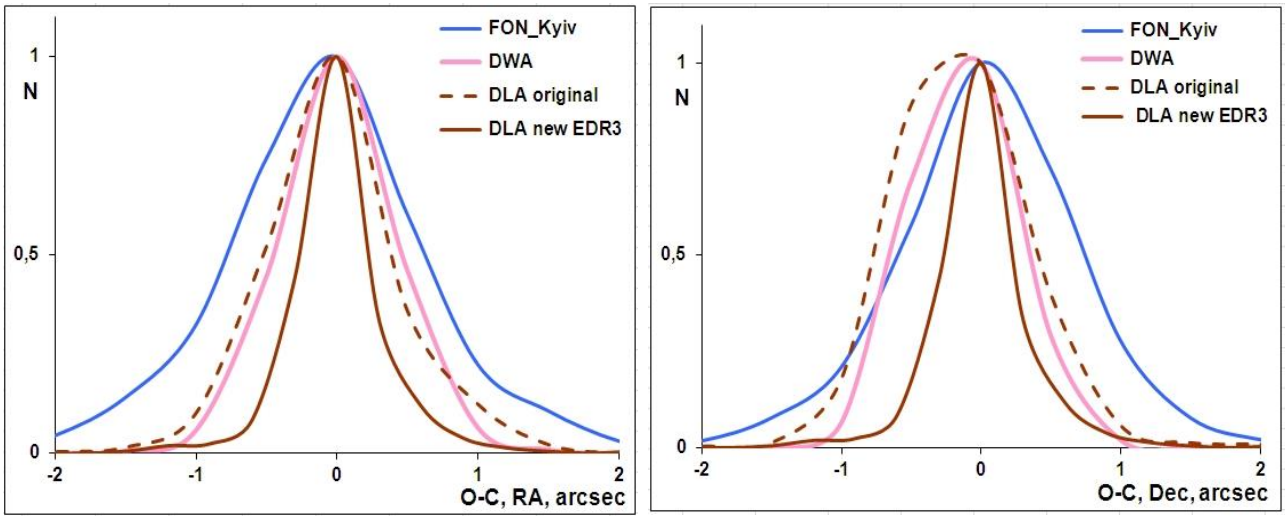


Рис. 4.2. Криві розподілу різниць O–C астероїдів відповідно до трьох рядів спостережень в ГАО НАНУ.

Розподіл O–C астероїдів третього ряду спостережень ФОН-Київ дещо відрізняється від двох інших. Значення середніх квадратичних похибок для астероїдів цих спостережень є більшими, ймовірно через включення до аналізу

великої кількості слабких астероїдів, похибки визначення координат яких більші, ніж у яскравих. Однак такі слабкі астероїди (з видимою зоряною величиною 14–15^m) є переважною частиною всієї кількості астероїдів, отриманих з оцифрованих спостережень.

Роніше в роботі (Shatokhina et al., 2018) з огляду на те, що за програмою ОРБІТА згідно списків спостерігалися тільки яскраві астероїди, а ідентифіковані астероїди програми ФОН переважно слабкі, було створено вибірки астероїдів, близьких за видимою зоряною величиною, для порівняння точності їх координат. Приведені дані, за якими для 472 положень астероїдів до 13^m із спостережень ФОН отримані середні квадратичні похибки О–С, рівні 0.50" за обома координатами α і δ. А для 516 положень астероїдів, отриманих за програмою ОРБІТА, отримані відповідні значення похибок, рівні 0.40". Зроблено висновок, що для астероїдів з зоряною величиною до 13^m середня точність визначення координат по спостереженнях проєкту ФОН-Київ порівняна із відповідним значенням точності спостережень програми ОРБІТА в Києві.

Проте, якщо для кожного ряду спостережень побудувати розподіл кількості положень астероїдів по інтервалах візуальної величини, як приведено на рис. 4.3, то можна стверджувати, що астероїди з оцифрованих спостережень ФОН-Київ, які переважно слабкі, не можуть бути порівняні напряму із яскравими, координатні дані яких визначались за програмою ОРБІТА.

При цьому, вибірки положень, створені із близьких за зоряною величиною астероїдів з двох рядів спостережень для «швидкого» порівняння даних з оцифрованих астронегативів і минулих спостережень малих планет з телескопом DWA, є дещо штучними і мало репрезентативними для коректного порівняння.

Середні значення різниць О–С та стандартних відхилень О–С за всіма положеннями для трьох рядів спостережень астероїдів в ГАО НАНУ наведені в табл. 4.2, які також підтверджують всі наведені вище твердження.

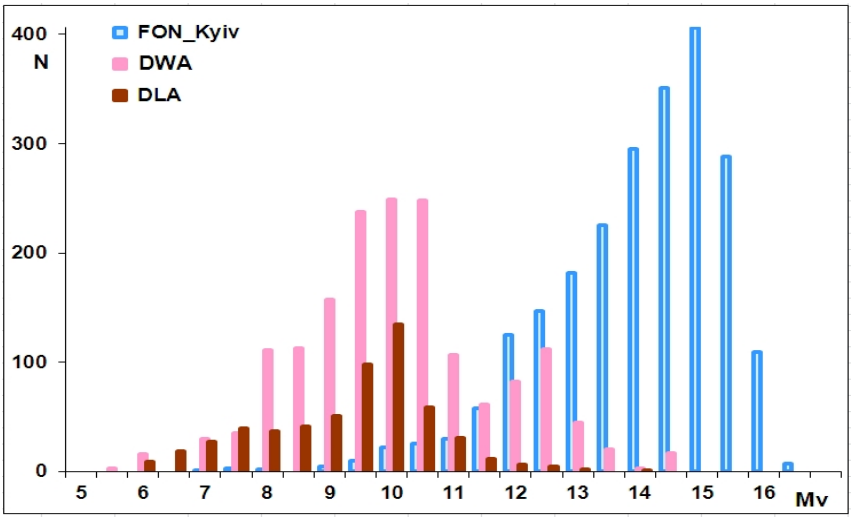


Рис. 4.3. Кількість всіх отриманих положень астероїдів, розподілена за інтервалами видимої зоряної величини Mv.

Таблиця 4.2

Середні значення O–C та середні квадратичні відхилення в arcsec за всіма положеннями кожного ряду спостережень астероїдів в ГАО НАНУ

	DLA	DWA	FON-Kyiv
$\overline{O-C}$, RA	–0.04	0.01	–0.08
$\overline{O-C}$, Dec	–0.14	–0.12	0.05
σ, RA	0.47	0.52	0.70
σ, Dec	0.47	0.46	0.63

Якщо для всіх ФОН-Київ і DWA-положень астероїдів порахувати середні O–C та їх стандартні відхилення σ в інтервалах візуальної зоряної величини Mv, то буде виявлено відмінності систематичного характеру між цими двома рядами спостережень у середніх різницях O–C астероїдів, які є значними по координаті схилення і досягають 0.2 arcsec за даними рис. 4.4. Це ще раз підтверджує вказаний вище висновок про відмінності в позиційній точності для визначень ФОН-Київ і класичних DWA-положень астероїдів.

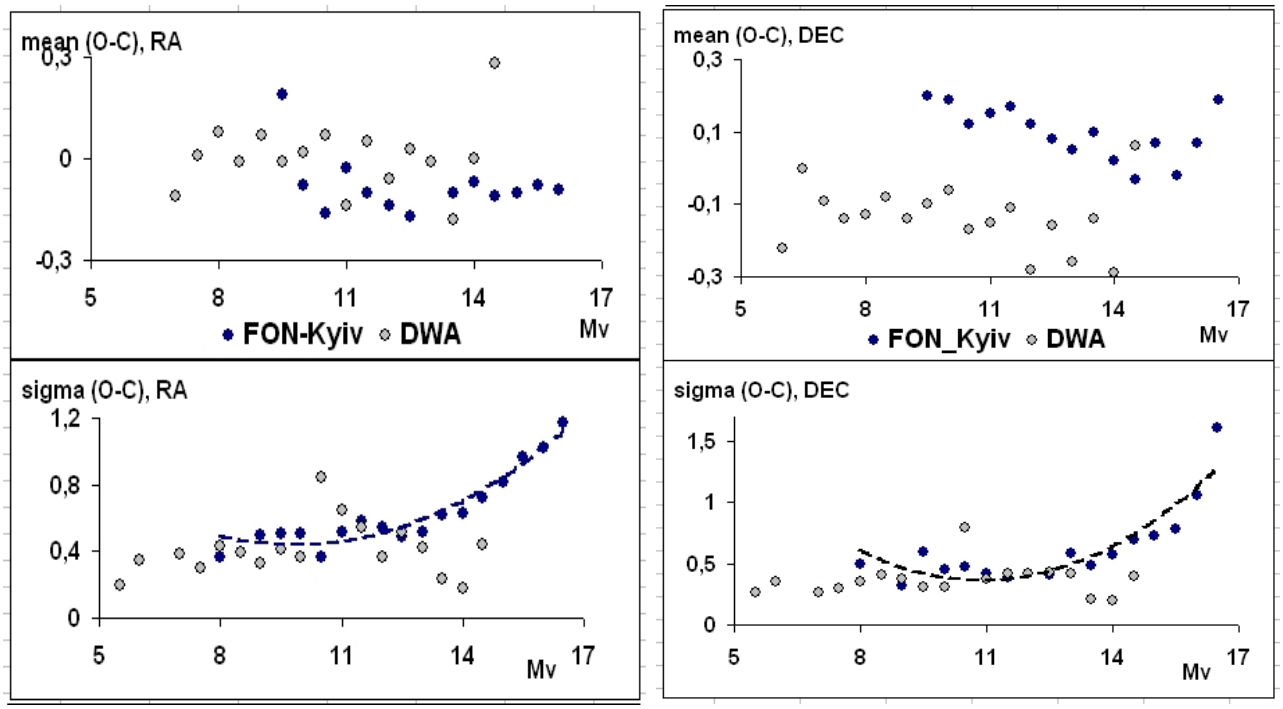


Рис. 4.4. Середні O–C та їх стандартні відхилення σ для інтервалів візуальної зоряної величини Mv астероїдів за даними ФОН-Київ і DWA-спостережень.

4.3. Похибки опорного каталогу як систематичний фактор впливу на точність координат астероїдів

Положення астероїдів із спостережень за програмами ОРБІТА і ФОН отримані в різні періоди спостережень і обробки, які відрізняються майже на 50 років. За цей час змінювалися методи спостережень, вимірювань пластинок, обробки виміряних даних, з'являлись більш точні нові каталоги, які можна вибрати в якості опорних. Як наслідок, значних змін зазнала точність визначення координат небесних об'єктів. Завдяки космічним і наземним ПЗЗ-спостереженням астероїдів точність визначення координат досягла 0.1 дугової секунди, що є недосяжним для минулих фотографічних спостережень. Проте цінність останніх полягає в тому, що сучасні високоточні спостереження неможливо провести в минулому часі і відтворити їх таким чином. Тому залишається тільки можливість зберегти минулі спостереження і отримати з них всю інформацію про небесні об'єкти з максимально можливою точністю характеристик – позиційних, фотометричних, спектральних та ін.

Є декілька шляхів підвищення точності старих спостережень. Один з них – оцифрування старих негативів і нова редукційна обробка сканів у поєднанні з використанням сучасних зоряних каталогів.

Досвід миколаївських колег показує, що оцифрування старих негативів і їх подальша редукційна обробка забезпечують кращу точність визначення координат небесних об’єктів, ніж класичні вимірювання негативів за допомогою вимірювальних машин (Protsyuk et al., 2016). Перші роботи з оцифрованих спостережень малих планет в ГАО (Golovnya & Andruk, 2013) теж підтверджують цей висновок.

Наразі значна кількість фотографічних спостережень астероїдів в ГАО НАНУ оцифрована. Але за 50−60 років частина негативів не збереглася або, внаслідок температурних та інших несприятливих умов, емульсія старих астронегативів зазнала вуалі, що не сприяє значному покращенню точності координат в разі оцифрування і наступної обробки оцифрованих зображень. Деякі більш старі астронегативи, за даними яких отримані положення малих планет, не можуть бути оцифровані за їх відсутності в архівах.

Другий шлях підвищення позиційної точності полягає у визначенні систематичних похибок координат та їх врахуванні. Зазвичай похибки спостережень за рахунок впливу різних ефектів, що спотворюють зображення і відстані, ретельно досліджуються наперед і враховуються. Аналогічно визначають та враховують систематичні похибки вимірів. Невиключеними залишаються похибки за рахунок використання опорного каталогу, координати і власні рухи зір якого з часом можуть досягати значних похибок. Як було зазначено, перші спостереження з DLA- телескопу були оброблені за допомогою зонних каталогів Єльської обсерваторії (Yale), пізніші спостереження з цього телескопу – за допомогою каталогів SAO та AGK3.

Зазначимо, що для каталогу SAO типові значення RMS-похибок становлять 1 кутову секунду в положеннях зір на епоху 1990 р. та 1.5 кутової секунди/століття у їх власних рухах. Відповідні значення для каталогу AGK3 у північній півкулі становлять 0.45 кутової секунди та 0.9 кутової

секунди/століття (Roeser & Bastian, 1988). Внаслідок цього при використанні згаданих каталогів для визначення координат астероїдів виникають значні систематичні похибки (Майор та ін., 1996).

Виявлення систематичних похибок у положеннях астероїдів, пов’язаних із використанням певних опорних каталогів може відбуватись шляхом об’єднання численних даних спостережень астероїдів та їх спільного використання для розрахунків ефемерид. В статті (Chesley et al., 2010) обговорювалося виявлення систематичних зміщень положень зір у каталогах, які виведені із залишків O−C спостережень астероїдів. Автори встановили, що орбіти астероїдів із врахуванням цих зміщень прогнозують пропущені (відсутні) спостереження астероїдів точніше, ніж орбіти без врахування таких зміщень. Крім того, на основі статистичного аналізу численних спостережень астероїдів Vereš et al. (2017) розробили нову схему зважування спостережень, яка буде використовуватися під час визначення орбіти астероїдів.

Пізніше в декількох статтях авторів (Farnocchia et al., 2015) та (Eggl et al., 2020) на основі порівняння координат зір різних каталогів і каталога Gaia, виведена схема, яку можна використовувати для корекції минулих астрометричних спостережень об’єктів Сонячної системи. Автори надають значно покращені таблиці систематичних зміщень для 26 астрометричних каталогів, які широко використовувалися в астрометрії малих планет. Перша версія таблиці поправок є загальнодоступною за адресою ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/ssd/debias/debias_2014.tgz.

Зауважимо, що в цих таблицях немає даних для зоряних каталогів Yale, SAO, AGK3, які використовувалися раніше при обробці спостережень астероїдів в ГАО. А з огляду на той факт, що інформація про опорні каталоги в базі даних MPC повністю відома лише для останніх спостережень астероїдів і лише для 10 % ранніх до 1990 р спостережень (Maigurova et al., 2017), то врахування цих зміщень можливе тільки для спостережень з відомою або вірогідною інформацією про опорні каталоги. Коректне переведення координат астероїдів від системи FK4 до системи координат ICRS, реалізованої в

оптичному діапазоні сучасними зоряними каталогами, за формулами, рекомендованими Міжнародним Астрономічним Союзом, було реалізоване MPC для всіх координат астероїдів бази даних. Проте це не виключає повністю похибок опорних зір, які були задіяні в процесі редукційних обчислень і вплинули на положення астероїдів.

З огляду на існуючі обмеження попередніх шляхів, ми вирішили застосувати ще один для покращення точності отриманих положень астероїдів. Він полягає у переобробці старих вимірювань астронегативів з новим каталогом. З виконанням цього ми можемо досягти переведення всіх спостережень астероїдів з DLA- телескопа до однієї ICRS системи координат не через алгоритмічну процедуру, а через повторну обробку старих вимірювань негативів з сучасним опорним каталогом. При цьому ми отримаємо кращу точність визначення координат астероїдів за рахунок позбавлення похибок «відживших себе» старих опорних каталогів.

4.4. Переобробка 591 ранніх спостережень малих планет з DLA-телескопом

4.4.1. Методика, обчислення

З каталогами зір Gaia DR2, Gaia EDR3 (Gaia Collaboration et al., 2021) та Tycho-2 ми провели нову переобробку 591 положення малих планет, визначених в системах старих опорних каталогів Yale, SAO, AGK3 і отриманих за спостереженнями з телескопом DLA в 1952−1986 рр. Для цього були використані опубліковані дані (переліку посилань п.4.1) щоло положень малих планет, координат відповідних опорних зір, інформації про задіяні в якості опорних каталоги, а також «депенденсів» − коефіцієнтів метода Шлезінгера, які розраховані засобами лінійної апроксимації на основі вимірювань координат астероїдів і опорних зір на кожному астронегативі. Публікація такої інформації була передбачена засновниками програми ОРБІТА з метою

переходу від системи одного каталогу до системи іншого і, таким чином, корекції координат астероїдів.

Ми оцифрували всі ці опубліковані дані для 591 пластинки, виконали перетворення їх в числовий формат для подальших програмних розрахунків. Кросс-ідентифікацію опорних зір і екстракцію їх координат з різних каталогів проводили за допомогою оцифрованих онлайнових версій цих каталогів та пошукових інтерфейсів для роботи з ними Страсбурзького центру астрономічних даних (Genova et al., 2020; Ochsenbein et al., 2000). В використаних нами оновлених онлайн-версіях оцифрованих зоряних каталогів Yale, SAO та AGK3 виправлені всі похибки, виявлені раніше в процесі використання цих каталогів.

Кожне нове положення малих планет $(\boldsymbol{\alpha_{red}}, \boldsymbol{\delta_{red}})$ за формулами, наведеними нижче, було отримане шляхом додавання до координат $(\boldsymbol{\alpha_{or}}, \boldsymbol{\delta_{or}})$ старого оригінального положення величин, отриманих у результаті підсумовування індивідуальних різниць, зважених коефіцієнтами «депенденсами» $\mathbf{D_i}$, між координатами опорних зір з двох каталогів – «нового» і «старого». На кожний момент спостереження малих планет такі індивідуальні різниці $(\Delta\boldsymbol{\alpha_i}, \Delta\boldsymbol{\delta_i})$ були пораховані між координатами опорних зір у двох каталогах – «новому» (Tycho-2, Gaia DR2 або EDR3) і «старому» оригінальному (Yale, SAO або AGK3):

$$\boldsymbol{\alpha_{red}} = \boldsymbol{\alpha_{or}} + \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{n}} \mathbf{D_i}\Delta\boldsymbol{\alpha_i}\ , \qquad \boldsymbol{\delta_{red}} = \boldsymbol{\delta_{or}} + \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{n}} \mathbf{D_i}\,\Delta\boldsymbol{\delta_i}$$

Зауважимо, що, оскільки старі оригінальні положення астероїдів обчислювались відповідно до класичних лінійних алгоритмів редукції координат, то такий підхід до переобробки спостережень з новим каталогом Gaia повністю ідентичний новій редукційній обробці спостережень, використовуючи старі вимірювання.

Раніше таку процедуру технічно складно було виконати. Проте зараз за наявності багатьох даних в електронному форматі та онлайнового доступу до

них через сервіси CDS, в тому числі до всіх старих і нових зоряних каталогів, виконати таку переобробку можна досить реально і швидко.

4.4.2. Результати переобробки та оцінки точності отриманих нових координат астероїдів у противазі оригінальним

Усі визначені координати астероїдів в системах каталогу Tycho-2, Gaia DR2 і Gaia EDR3, а також їх оригінальні координати порівняно з ефемеридними від JPL. За результатами порівнянь отримано координатні різниці O–C, значення яких представлені на рис. 4.5, а гістограми розподілу O–C показані на рис. 4.6, як для заново визначених координат астероїдів так і для оригінальних.

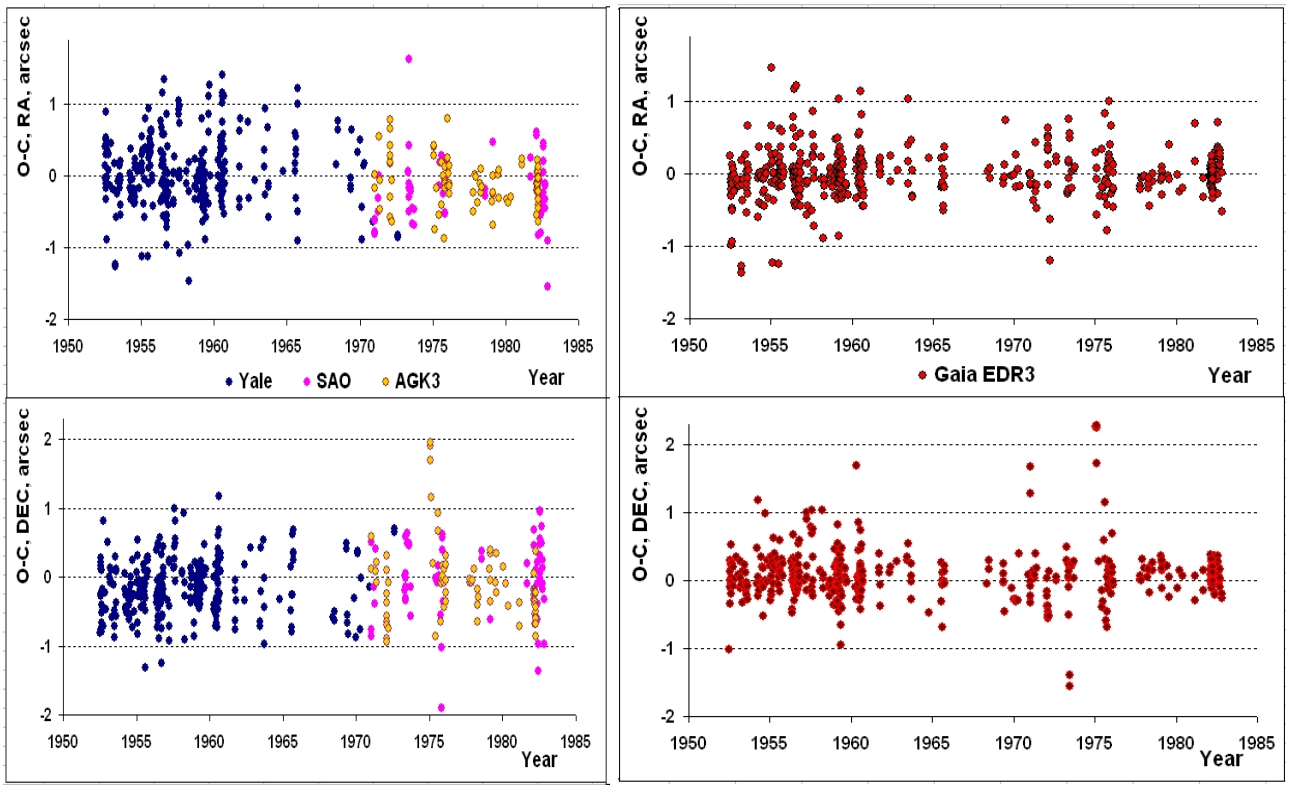


Рис. 4.5. Розподіл індивідуальних різниць O–C астероїдів для оригінальних (ліворуч) і заново визначених з Gaia EDR3 (праворуч) положень астероїдів.

За даними рисунків можна зазначити, що в результаті повторної обробки стандартні відхилення O–C астероїдів по обох координатах зменшилися. Помітне зміщення усієї сукупності різниць O–C астероїдів за координатою Dec

у бік симетричного розподілу O−C, а також зменшення розкиду похибок положень за обома координатами, що свідчить про значне покращення випадкових і систематичних складових оцінки точності для нових положень астероїдів порівняно з попередніми оригінальними.

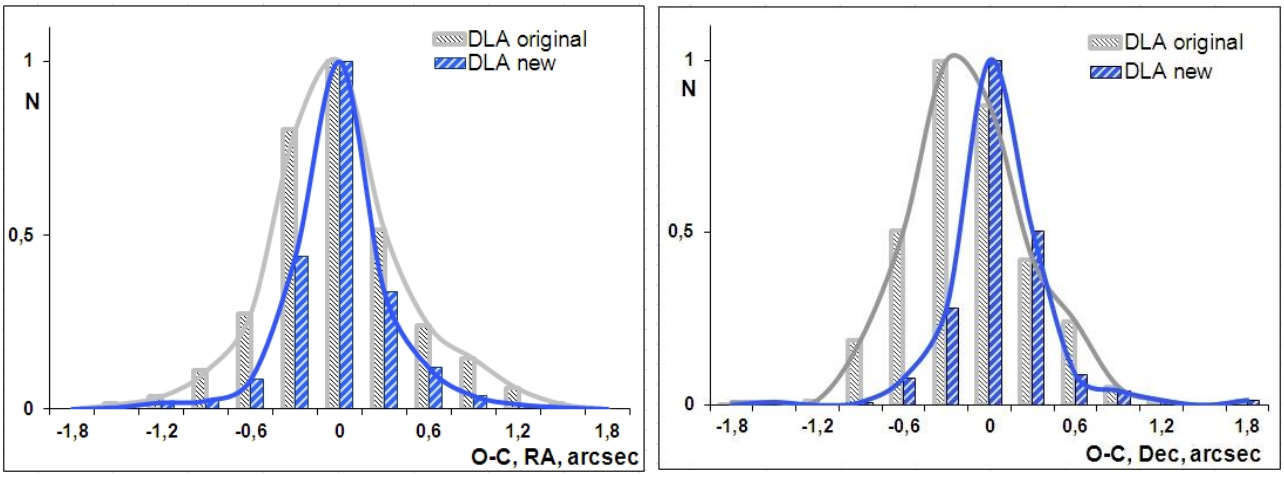


Рис. 4.6. Гістограми різниць O–C астероїдів, отриманих до і після повторної обробки спостережень з DLA-телескопом і каталогом Gaia EDR3.

Проте є кілька зауважень до переобробки спостережень малих планет таким методом. При переобробці пластинок в якості опорних використовувалися зорі 6−11^{m} зоряних величин. Відсутність координат деяких яскравих зір або їх власних рухів у релізах DR2 і EDR3 каталогу Gaia накладає деякі обмеження на переобробку даних в повному обсязі, а використання усереднених різниць ($\Delta\alpha_i$, $\Delta\delta_i$) у формулах замість індивідуальних може призвести до додаткових помилок. По-друге, в процесі виконання космічного астрометричного проєкту Hipparcos було відкрито більш, ніж 8000 змінних і біля 3000 подвійних зір. Наявність у списках опорних подвійних зір, близьких за координатами, додає ще однієї невизначеності у переобробці положень астероїдів таким методом. Достатньо важко встановити, який саме з компонентів подвійної системи вимірювався на астронегативі як опорна зоря.

З огляду на це, більше 15 % спостережень потребували додаткового втручання й аналізу неповних даних. У табл. 4.3 без урахування цих відсотків

представлено результати переобробки спостережень малих планет, виконаних з телескопом DLA. Для подальшого аналізу увійшли тільки напряму визначені 443 нових положення, пораховані виключно за індивідуальними різницями координат $(\Delta\boldsymbol{\alpha}_{\mathbf{i}},\ \Delta\boldsymbol{\delta}_{\mathbf{i}})$ опорних зір. Середні значення різниць O−C та їх стандартні відхилення σ в таблиці представлені як для оригінальних, так і для нових визначень положень малих планет. Якщо порівнювати результати трьох нових обробок спостережень малих планет з каталогами Tycho-2, Gaia DR2 та Gaia EDR3 між собою, то значення середніх O–C астероїдів та їх σ майже не відрізняються, проте всі вони суттєво відрізняються від відповідних значень для оригінальних положень.

Таблиця 4.3

Середні значення O–C та стандартні відхилення σ в arcsec для 443 положень астероїдів до та після переобробки з каталогами Tycho-2, Gaia DR2 та Gaia EDR3

	original	Tycho-2	Gaia DR2	Gaia EDR3
$\overline{O-C}$, RA	–0.02	0.01	0.00	0.00
$\overline{O-C}$, Dec	–0.15	0.06	0.06	0.07
σ, RA	0.44	0.33	0.33	0.34
σ, Dec	0.42	0.28	0.29	0.29

Серед усіх положень, отриманих за спостереженнями з телескопом DLA, переважна більшість відноситься до дев’яти найбільш спостережуваних в ГАО НАНУ малих планет. Це – (1) Ceres, (2) Pallas, (3) Yuno, (4) Vesta, (6) Hebe, (7) Iris, (18) Melpomene, (39) Laetitia, (40) Harmonia. Для них отримано від 27 ((7) Iris) до 64 ((3) Yuno) положень. Щоб визначити, як результати переобробки вплинули на точніть координат окремо по кожній з малих планет, нами було пораховано для них аналогічні значення середніх різниць O−C (рис. 4.7) та їх стандартних відхилень σ (рис. 4.8).

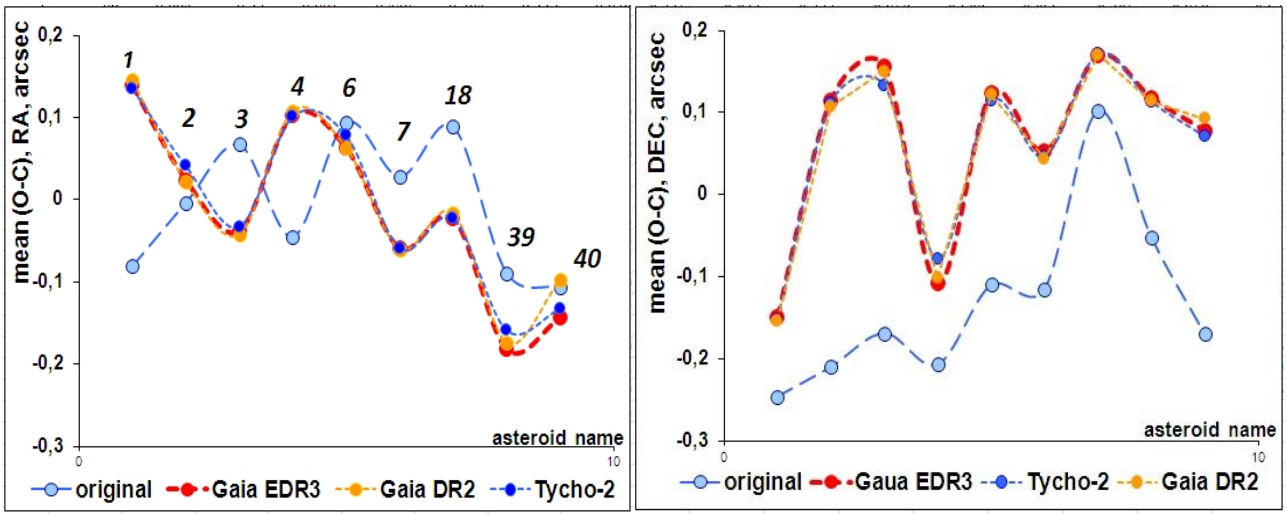


Рис. 4.7. Середні значення O–C, отримані для малих планет: (1) Ceres, (2) Pallas, (3) Yuno, (4) Vesta, (6) Hebe, (7) Iris, (18) Melpomene, (39) Laetitia, (40) Harmonia з використанням різних опорних каталогів: оригінальних, Tycho-2, Gaia DR2 та Gaia EDR3. (Позначення: цифри 1 – (1) Ceres, 2 – (2) Pallas, 3 – (3) Yuno, 4 – (4) Vesta, 6 – (6) Hebe, 7 – (7) Iris, 18 – (18) Melpomene, 39 – (39) Laetitia, 40 – (40) Harmonia).

При порівнянні результатів до і після повторної обробки спостерігається систематичний зсув стандартних відхилень σ в середньому від 0.1 до 0.2 arcsec за обома координатами для кожної з дев’яти малих планет. Систематичний зсув середніх значень O–C спостерігається за координатою схилення і досягає 0.2–0.3 arcsec. Розкид значень для кожної з малих планет достатньо великий. Характерні зміни середніх і середніх квадратичних значень O–C також спостерігаються за даними табл. 4.3, які пораховані для загальної кількості всіх переоброблених спостережень малих планет.

Якщо порівнювати між собою результати трьох нових обробок спостережень кожної з малих планет з використанням каталогів Tycho-2, Gaia DR2 та Gaia EDR3, то значення середніх O–C та їх σ майже не відрізняються як для кожної з дев’яти малих планет, так і для всієї сукупності їх положень загалом. Про це свідчать як наведені рисунки, так і дані табл. 4.3.

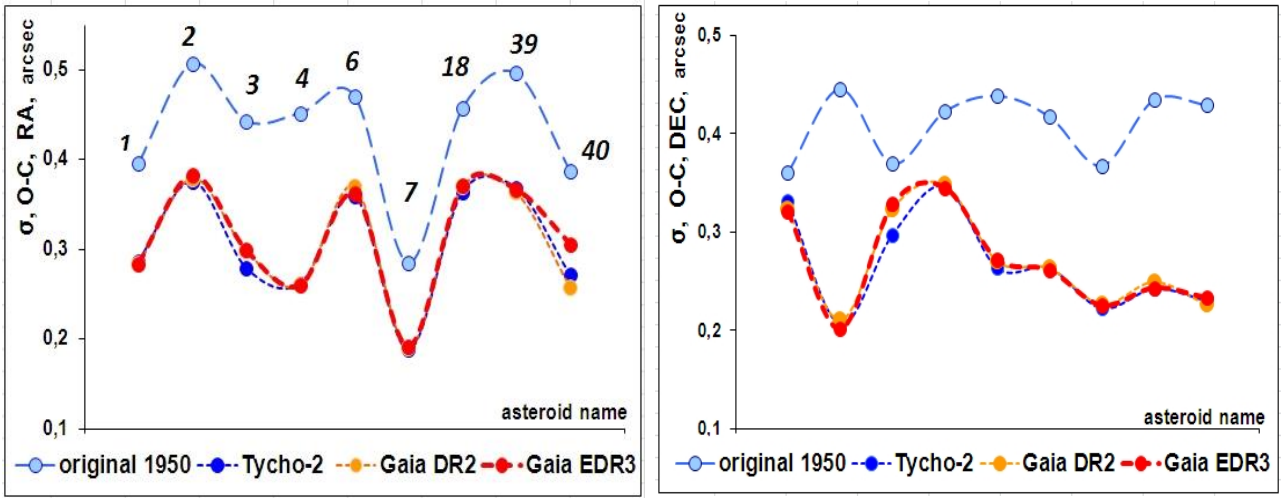


Рис. 4.8. Середні квадратичні відхилення O–C малих планет з використанням різних опорних каталогів: оригінальних, Tycho-2, Gaia DR2 та Gaia EDR3. (Позначення малих планет ідентичні позначенням рис. 4.7).

4.5. Порівняння трьох рядів спостережень астероїдів, отриманих в ГАО НАНУ з використанням результатів переобробки ранніх спостережень малих планет

З огляду на результати переобробки спостережень малих планет з DLA телескопом, до рис. 4.2 добавлено розподіл значень O–C отриманих положень поряд із рештою даних щодо порівнянь трьох рядів спостережень астероїдів в ГАО НАНУ. За оновленою кривою розподілу спостерігаються невелике систематичне зміщення за координатою Dec та зменшення розкиду похибок за обома координатами для всіх переоброблених спостережень з DLA телескопом. Такі отримані оцінки точності спостережень з довгофокусним астрографом DLA є більш достовірними, ніж попередні. А наведені на рис. 4.2 дані відображають відносне розділення оцінок точності для всіх положень астероїдів в ГАО НАНУ і є остаточними.

Для нових положень малих планет, визначених у системі каталогу Gaia EDR3 і отриманих за даними спостережень 1952–1986 рр. з телескопом DLA, середні значення O–C становлять 0.00 та +0.07 arcsec (замість –0.02 і –0.15 arcsec для старих оригінальних), а значення стандартних відхилень σ

становлять 0.34 та 0.29 arcsec (замість 0.44 і 0.42 arcsec) у координатах RA і Dec відповідно.

Для 1651 спостереження малих планет періоду 1976–1996 рр. з телескопом DWA середні значення O–C становлять +0.01 і –0.12 arcsec за координатами RA і Dec, а значення стандартних відхилень σ становлять 0.52 і 0.46 arcsec відповідно.

Для 2292 положень астероїдів, отриманих з оцифрованих спостережень програми ФОН у Києві в 1981–1996 рр., середні значення різниць O–C дорівнюють –0.09 і +0.05 arcsec у координатах RA і Dec, а значення стандартних відхилень σ дорівнюють 0.74 і 0.66 arcsec відповідно.

Виконане порівняння кількох рядів опрацьованих спостережень астероїдів в ГАО НАН України є більш коректним. Разом отримані положення астероїдів з оцифрованих астронегативів і минулих визначень класичними методами можуть скласти основу для банка даних астероїдів, одержаних за спостереженнями в ГАО НАНУ.

Висновки до Розділу 4.

В розділі наведено аналіз позиційної точності положень астероїдів, отриманих за різними періодами спостережень і різними методами вимірювань і обробки. Для найстаріших за датою спостережень малих планет виконана переобробка даних з новими каталогами в якості опорних, внаслідок якої отримане значне покращення випадкових і систематичних складових оцінок точності положень.

Отримані в результаті переобробки дані найстаріших за датою спостережень малих планет в ГАО НАНУ були використані для загального порівняння трьох рядів спостережень астероїдів: з оцифрованих астронегативів і отриманих за класичними методами обробки спостережень. Як наслідок цього порівняння, точність визначення координат ранніх положень астероїдів

покращена за рахунок використання сучасних зоряних каталогів, а отримані значення оцінок точності стали більш достовірними за попередні.

Подібного спрямування роботи з осучаснення старих спостережень астероїдів іншими засобами були виконані Горель Г. К. і Гудковою Л. А. в НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія» на початку 21 століття (Gorel & Gudkova, 2000). Для 12 вибраних малих планет із списку спостережень за програмою ОРБІТА були отримані середні квадратичні похибки одного положення до 0.2 arcsec за обома координатами, що є кращою позиційною точністю, з якою можна вирішувати задачі орієнтації осей каталожних і динамічних систем координат, що було отримано в (Batrakov et al., 1999).

Результати, що увійшли в цей розділ, опубліковано в статтях: (Shatokhina et al., 2019c; 2021a).

ВИСНОВКИ

Серед найбільш важливих результатів дисертаційного дослідження є такі:

1. Для пошуку зображень малих тіл Сонячної системи серед оцифрованих спостережень фотографічних оглядів неба апробовано і застосовано новий аналітичний підхід на основі порівнянь ефемеридних даних і визначених з оцифрованих спостережень даних всіх зафіксованих об’єктів на астронегативах.

2. На основі виконаного пошуку зображень малих тіл Сонячної системи серед оцифрованих астронегативів програми ФОН у частинах ФОН-Київ, ФОН-Кітаб і ФОН-Душанбе вперше створено 3 каталоги загальною кількістю у 7289 положень і зоряних величин астероїдів (переважно), комет і Плутона. Перші два з каталогів знаходяться в онлайновому доступі на веб-сайтах УкрВО і Страсбурзького центру астрономічних даних.

3. Каталог ФОН-Київ, у частині спостережень програми в Голосієві, є суттєвим доповненням до загальної кількості положень астероїдів, отриманих в ГАО НАН України в 1951–1996 рр. Він містить 2292 положення і фотографічні зоряні B-величини астероїдів, що складає повноправну половину всього обсягу позиційних даних астероїдів, отриманих в ГАО НАН України. На відміну від інших, за оцифрованими даними оцінено зоряні величини астероїдів, які є результатом калібрування отриманих фотографічних величин всіх об’єктів фотоелектричними зоряними стандартами. Отримана астрометрична точність положень різна для різних за зоряною величиною астероїдів, але середні значення O−C в координатах RA і Dec становлять −0.09 і +0.05 arcsec, а середні квадратичні відхилення O−C дорівнюють 0.74 і 0.66 arcsec відповідно.

4. На основі минулих публікацій та бази даних MPC зібрано і систематизовано всі дані про положення астероїдів, визначені із спостережень за програмою ОРБІТА в ГАО НАН України. З метою осучаснення найстаріших з них, 591 спостереження з подвійним довгофокусним астрографом DLA було повторно оброблено на основі минулих вимірів, використання коефіцієнтів

методу Шлезінгера і сучасних зоряних каталогів Tycho-2, Gaia DR2 і Gaia EDR3 як опорних. Для нових положень астероїдів у системі каталогу Gaia EDR3 середні значення O−C становлять 0.00 та +0.07 arcsec, значення середніх квадратичних відхилень становлять 0.34 та 0.29 arcsec у координатах RA і Dec відповідно. Отримані результати вказують на значне покращення випадкових і систематичних складових оцінки точності для нових положень астероїдів порівняно з попередніми оригінальними.

5. Виконано більш коректне і достовірне порівняння кількох рядів опрацьованих спостережень астероїдів в ГАО НАН України. Разом положення астероїдів з оцифрованих астронегативів програми ФОН і минулих визначень класичними методами можуть скласти основу для банка всіх даних астероїдів, отриманих в ГАО НАН України.

ПОДЯКИ

Велика подяка моїм Колегам і співавторам – Пакуляк Людмилі Казимирівні, Сергеєвій Тетяні Павлівні, Андруку Віталію Миколайовичу, Головні Валентині Василівні, Сергеєву Олександру Васильовичу, Їжакевич Олені Михайлівні, Кізюн Любові Миколаївні, Вавиловій Ірині Борисівні, – всім, хто довгий час працював над створенням архіву оцифрованих даних спостережень Української віртуальної обсерваторії. Їх величезними зусиллями та постійною кропіткою працею були створені електронні архіви спостережень, база даних, яка забезпечує керування, підтримку даних та взаємодію з іншими віртуальними обсерваторіями, а також програмне забезпечення для обробки оцифрованих зображень. Отриманий статус УкрВО у світі віртуальних обсерваторій закріпив наші здобутки. Організація та здійснення таких задумів були майже неймовірними двадцять років тому.

Автор висловлює щиру подяку науковому керівнику Вавиловій Ірині Борисівні за постійну підтримку, неоціненну допомогу та переконання у завершенні й опису частини досліджень.

Авторка дякує директору ГАО НАН України, академіку НАН України Я.С. Яцківу за підтримку, моральну і матеріальну, та сприяння робіт з УкрВО.

Окрема подяка Олені Михайлівні Їжакевич за постійну підтримку і той невичерпний оптимізм і стійкість, які додають сил і впевненості в досягненні мети і завершенні задумів.

Велика подяка колегам інших астрономічних обсерваторій – Казанцевій Лілії Вікторівні з АО КНУ ім. Т. Шевченка, Рельке Єлені з Обсерваторії Хофмана в Німеччині, Процюку Юрію Івановичу і Майгуровій Надії Василівні з Миколаївської астрономічної обсерваторії, Ілгмарсу Еглітісу з астрономічної обсерваторії в Балдоне (Латвія) за постійне спілкування, обговорення результатів, дискусії та прийняття необхідних рішень.

Дякую вам всім! Спільна робота та спілкування висвітлює нові ідеї та спонукає до подальших наукових досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аврамчук В.В., Рахимов В.Ю., Чернова Г.П., Шавловский В.И. (1992). Фотометрия и поляриметрия Плутона вблизи перигелия. Кинематика и физика неб. тел, 8, 4, 37-45.
2. Андрук В.М., Іванов Г.А., Яценко А.І., Головня В.В., Їжакевич О.М., Пакуляк Л.К., Шатохіна С.В. (2012). Астрометрія платівок ПША, оцифрованих двома типами сканерів. Розділення зображень зір двох експозицій. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія, 48, 11-13.
3. Вавилова І.Б., Пакуляк Л.К. (2012). Українська віртуальна астрономічна обсерваторія – національний представник у Міжнародному альянсі віртуальних обсерваторій. Вісн. НАН України, 9, 64-73.
4. Василенко Н.А., Деменко И.М. (1979). Наблюдения малых планет в ГАО АН УССР. Бюл. ИТА, 14, 8, 499-506.
5. Гаврилов И.В. (1957). Точные положения малых планет Ириды (7) и Летиции (39) по наблюдениям в ГАО АН УССР (Голосеево). Астрономический циркуляр, 186, 9-11.
6. Гаврилов И.В. (1958). Точные положения малой планеты Летиции (39) по наблюдениям в ГАО АН УССР. Астрономический циркуляр, 193, 14-15.
7. Гаврилов И.В., Жданова И.Г., Онегина А.Б., Святоха А.П. (1955). Точные положения малых планет Цереры, Гебы, Летиции, Немаузы, Астрономический циркуляр, 158, 3-5.
8. Головня В.В. (1990). Положения малых планет в 1987 г. по наблюдениям, выполненным в ГАО АН УССР. Деп. в ВИНИТИ, 2647-В90, 6 с.
9. Головня В.В. (1992). Положения малых планет в 1978, 1979 гг. по наблюдениям, выполненным в ГАО АН Украины. Деп. в Укр.ИНТЭИ, N 1716-УК92, 6 с.
10. Головня В.В., Ижакевич Е.М. (1992). Положения избранных малых планет в 1979- 1980 гг. по наблюдениям, выполненным в ГАО АН

Украины с помощью двойного астрографа 400/2000. Деп. в Укр.ИНТЭИ, 1715-Ук92, 24 с.

11. Головня В.В., Ижакевич Е.М., Калтыгина С.В., Ледовская И.В., Середа Е.М., Шатохина С.В. (1988a). Положения малых планет 246 Аспорина, 427 Галена, 850 Альтона и 1064 Этуса на 1979 г. Деп.в ВИНИТИ , 23-В88, 9 с.
12. Головня В.В., Ижакевич Е.М., Майор С.П., Мороз Г.В., Середа Е.М. (1987a). Положения избранных малых планет в 1977-1978 гг. по наблюдениям, выполненным в ГАО АН УССР с помощью двойного астрографа 400/2000. Деп.в ВИНИТИ, 7136-В87, 16 с.
13. Головня В.В., Майор С.П. (2001). Положення вибраних малих планет, отриманих із Голосіївських фотографічних спостережень. In G.Pinigin (Ed.), Extension and Connection of Reference Frames Using Ground Based CCD Technique (p. 124-127). Nikolaev: Atoll.
14. Головня В.В., Майор С.П., Мороз Г.В. (1986). Наблюдения малых планет в ГАО АН УССР в 1976 г. Деп.в ВИНИТИ, 3584-В86, 6 с.
15. Головня В.В., Майор С.П., Мороз Г.В., Середа Е.М. (1987b). Положения малых планет в 1977-1978 гг. по наблюдениям, выполненным в ГАО АН УСССР. Деп. в ВИНИТИ, 7137-В87, 7 с.
16. Головня В.В., Майор С.П., Мороз Г.В., Середа Е.М. (1988b). Положения избранных малых планет в 1978-1979 гг. по наблюдениям, выполненным в ГАО АН УССР с помощью двойного астрографа 400/2000. Деп. в ВИНИТИ, 4712-В88, 14 с.
17. Головня В.В., Житецкий А.А., Ижакевич Е.М., Майор С.П., Мороз Г.В. (1985). Положения избранных малых планет в 1976-1977 гг. по наблюдениям, выполненным в ГАО АН УСССР с помощью двойного астрографа 400/2000. Деп. в ВИНИТИ, 8620-В85, 30 с.
18. Деменко И.М., Лысякова Р.Ф., Яворская Л.Н. (1958). Точные положения малой планеты Гебы. Астрономический циркуляр, 195, 5-6.

19. Калтыгина С.В., Майор С.П., Мороз Г.В., Середа Е.М., Шатохина С.В. (1985). Положения избранных малых планет в 1971-1982 гг. деп. ВИНИТИ, 8619-В85, 1-35.
20. Колчинский И.Г. (1956). Точные положения малой планеты Юнона (3) по фотографическим наблюдениям в 1952 г. Изв.ГАО АН УССР, 1, 2, 37-47.
21. Колчинский И.Г., Онегина А.Б. (1977). План фотографирования неба на широкоугольных астрографах. Астрометрия и астрофизика, 33, 11-16.
22. Лупишко Д.Ф., Бельская И.Н, Киселев Н.Н. (2008). Малые тела Солнечной системы. В кн. 200 лет астрономии в Харьковском университете. Под ред. проф. Ю. Г. Шкуратова. Харьков. 195с. http://www.astron.kharkov.ua/library/books/200_years_p2.pdf
23. Майор С.П., Мороз Г.В. (1984). Положения избранных малых планет по фотографическим наблюдениям в ГАО АН УССР и анализ их точности. Астрометрия и астрофизика, 51, 69-74.
24. Майор С.П., Шатохіна С.В. (1996). Порівняльний аналіз положень вибраних малих планет, визначених в системах різних каталогів. Кінем. і фізика небес. тіл, 12, 4, 83-91.
25. Мороз Г.В. (1983). Наблюдения астероидов в ГАО АН УССР. Кометный циркуляр.- К.: Киев. ун-т, 304, 4.
26. Онегина А.Б. (1957). Точные положения малой планеты Паллады (2), полученные по пластинкам 400 мм астрографа ГАО АН УССР. Астрономический циркуляр Бюро астрономических сообщений АН СССР, 176, 4-7.
27. Онегина А.Б. (1958). Точные положения Паллады (2), полученные на ГАО АН УССР. Астрономический циркуляр , 193, 16-17.
28. Онегина А.Б. (1960). Точные положения Паллады (2). Изв. ГАО АН УССР, 3, 1, 115-118.
29. Онегина А.Б. (1961). Результаты фотографических наблюдений малых планет в Главной астрономической обсерватории АН УССР (Голосеево) в 1952-1959 гг. Изв. ГАО АН УССР, 4, 1, 73-87.

30. Онегина А.Б. (1962). Результаты фотографических наблюдений малых планет. Изв. ГАО АН УССР, 4, 2, 57-62.
31. Онегина А.Б., Заславская С.А. (1964). Положения малых планет. В кн. Вопросы астрометрии, К., Наукова думка, 57-62.
32. Саваневич В.Е., Брюховецкий А.Б., Иващенко Ю.Н., Вавилова И.Б., Безкровный М.М., Диков Е.Н., Власенко В.П., Соковикова Н.С., Мовсесян Я.С., Дихтяр Н.Ю., Еленин Л.В., Погорелов А.В., Хламов С.В. (2015). Сравнительный анализ показателей точности позиционных ПЗС-измерений малых тел Солнечной системы программными обеспечениями CoLiTec и “Astrometrica”. Кинематика и физика небесных тел, 31, 6, 55-69.
33. Тельнюк-Адамчук В.В., Пасечник С.В. (1989). Результаты позиционных астрофотографических наблюдений Плутона. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія , 31, 82-83.
34. Шатохіна С., Головня В., Андрук В. (2017). Ресурс УкрВО для задач пошуку, перевідкриття та уточнення орбіт астероїдів. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія, 55, 6-9.
35. Шатохіна С., Казанцева Л., Андрук В., Процюк Ю. (2016). Система Плутона з оцифрованих зображень фотографічних платівок. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія, 53, 24-29. doi: 10.17721/BTSNUA.2016.53.24-29
36. Akhmetov V. S., Andruk V. M., Protsyuk Yu. I., Relke H., Eglitis I. (2019). New Astrometric Reduction of the Supercosmos Plate Archive: First Results. Odessa Astronomical Publications, 32, 178.
37. Andruk V.N., Butenko G. Z., Vidmachenko A. P., Kulyk, I. V. (2008). Processing of the CCD-Images in Package MIDAS/ROMAFOT. In Book: Near-Earth Astronomy - 2007. Editors: L.V. Rykhlova, V.K. Tarady. Editorial board: E.S. Bakanas, T.V. Kasimenko. Nalchik: Publishing house M. and V. Kotlyarovy. 295-298. ISBN 978-5-93680-195-2

38. Andruk V.N., Ivanov G.A., Pogorel'Tsev M.T., Yatsenko A.I. (2005). On application of a scanner for determination of coordinates and photometric characteristics of stars from the FON program plates. Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel, 21, 5, 396-400.
39. Andruk V. N., Golovnya V. V., Ivanov G. A., Izhakevich E. M., Pakuliak L. K., Protsyuk Yu. I., Shatokhina S. V., Yatsenko A. I., Muminov, M. M. (2014). Compilation of Catalog of Stellar Equatorial Coordinates and B-Magnitudes Using UKRVO Plate Database. Odessa Astron. Publ., 27, 53-54.
40. Andruk V., Pakuliak L. (2013). Flatbed Scanners in GOLOSIIV Plate Archive Digitization. Odessa Astronomical Publications, 26, 2, 222.
41. Andruk V. N., Pakuliak L. K., Golovnya V. V., et al. (2018). Catalogue of star positions and B-magnitudes in 60th declination zone based on UkrVO Joint Digital Archive. In Book: Results of processing of digitized astronomical photographic plates / comp. by V. Andruk. (ISBN-10:6139830346EAN: 9786139830343). Riga: LAMBERT Academic Publish., 1-19.
42. Andruk V. M., Pakuliak L. K., Golovnia V. V., Ivanov G. O., Yatsenko A. I., Shatokhina S. V., Yizhakevych O. M. (2016). Catalog of equatorial coordinates and B-magnitudes of stars of the FON project. Kinem. Phys. Cel. Bodies, 32, 5, 260-263.
43. Andruk V. M., Pakuliak L. K., Golovnia V. V., Ivanov G. O., Yatsenko A. I., Shatokhina S. V., Yizhakevych O. M. (2017a). VizieR Online Data Catalog: FON Astrographic Catalogue, Version 3.0 (Andruk+, 2016). VizieR On-line Data Catalog: I/342.
44. Andruk V. M., Pakuliak L. K., Golovnia V. V., Shatokhina S. V., Yizhakevych O. M., Protsyuk Yu. I., Eglitis I., Eglite M., Kazantseva L. V., Relke H., Yuldoshev Q. K., Muminov M. M. (2017). Star photometry on digitized astronegatives. Scince and Innovation, 13, 17-27.
45. Andruk V., Pakuliak L., Yizhakievych O., Shatokhina S. (2021). First Results of Processing Digitized V-Plates Taken with the Tautenburg 2m Schmidt Telescope. Odessa Astronomical Publications, 34, 100-101.

46. Batrakov Yu.V., Chernetenko Yu.A., Gorel G.K., Gudkova L. (1999). Hipparcos catalogue orientation as obtained from observations of minor planets. Astronomy and Astrophysics, 352, 703-711.
47. Butenko G. Z., Godunova V. G., Andruk V. M. (2015). Processing of CCD images of Near-Earth Asteroids in program shell of MIDAS/ROMAFOT. Near-Earth Astronomy - 2015. Proceedings of the International conference. 31 August - 5 September 2015. Terskol - M: Yanus-K. p. 118-123.
48. Chesley, S.R., Baer, J., Monet, D.G. (2010). Treatment of star catalog biases in asteroid astrometric observations. Icarus, 210, 1, 158-181. doi: 10.1016/j.icarus.2010.06.003
49. Dieckvoss W., Heckmann O. (1998). AGK3 Catalogue (1975). VizieR Online Data Catalog: AGK3 Catalogue: I/61B. https://cdsarc.cds.unistra.fr/viz-bin/cat/I/61B#/article
50. Eggl, S., Farnocchia, D., Chamberlin, A.B., Chesley, S.R. (2020). Star catalog position and proper motion corrections in asteroid astrometry II: The Gaia era. Icarus, 339, article id. 113596. doi:10.1016/j.icarus.2019.113596, 10.48550/arXiv.1909.04558
51. Eglitis I., Andruk V. (2021). Astrometry and photometry of digitized plates of Baldone Schmidt telescope. Open Astronomy, 30, 1, 12-23.
52. Eglitis I., Eglite M., Kazantseva L.V., Shatokhina S.V., Protsyuk Yu.I., Kovylianskaya O.E., Andruk V.M. (2018a). Astrometric and photometric processing of Pluto digitized photographic observations 1961-1996. In Book: Results of processing of digitized astronomical photographic plates / comp. by V.Andruk. (ISBN-10:6139830346EAN: 9786139830343). Riga: LAMBERT Academic Publish., 58 p., pp. 37-40.
53. Eglitis I., Eglite M., Kazantseva L. V., Shatokhina S. V., Protsyuk Yu. I., Kovylianskaya O. E., Andruk V. M. (2019a). VizieR Online Data Catalog: Topocentric positions of Pluto (Eglitis+, 2018). VizieR Online Data Catalog: VI/155.

54. Eglitis I., Eglite M., Shatokhina S.V., Andruk V.M., Protsyuk Yu.I. (2018b). Asteroids from digitized processing of photographic observations in Baldone. In Book: Results of processing of digitized astronomical photographic plates / comp. by V.Andruk. (ISBN-10:6139830346EAN: 9786139830343). Riga: LAMBERT Academic Publish., 58 p. pp. 41-44.

55. Eglitis I., Yizhakevych O., Shatokhina S., Protsyuk Yu., Andruk V. (2019b). Asteroid Search Results for Digitized Astroplates of 1.2m Telescope in Baldone. Odessa Astronomical Publications, 32, 189-191. doi: 10.18524/1810-4215.2019.32.181599

56. Farnocchia, D., Chesley, S.R., Chamberlin, A. B., Tholen, D. J. (2015). Star catalog position and proper motion corrections in asteroid astrometry. Icarus, 245, 94-111. doi:10.1016/j.icarus.2014.07.033, 10.48550/arXiv.1407.8317

57. Gaia Collaboration ; Brown, A. G. A., Vallenari, A. and 423 more (2021). Gaia Early Data Release 3. Summary of the contents and survey properties. Astronomy & Astrophysics, Volume 649, id.A1, 20 pp. doi: 10.1051/0004-6361/202039657, 10.48550/arXiv.2012.01533

58. Genova F., Egret, D., Bienaymé, O., Bonnarel, F., Dubois, P., Fernique, P., Jasniewicz, G., Lesteven, S., Monier, R., Ochsenbein, F., Wenger, M. (2020). The CDS information hub. On-line services and links at the Centre de Données astronomiques de Strasbourg. Astronomy and Astrophysics Supplement, 143, 1-7. doi: 10.1051/aas:2000333

59. Giorgini, J. D. (2015). Status of the JPL Horizons Ephemeris System. IAU General Assembly, Meeting #29, id.2256293

60. Giorgini, J. D.; Yeomans, D. K.; Chamberlin, A. B.; Chodas, P. W.; Jacobson, R. A.; Keesey, M. S.; Lieske, J. H.; Ostro, S. J.; Standish, E. M.; Wimberly, R. N. (1996). JPL's On-Line Solar System Data Service. American Astronomical Society, DPS meeting #28, id.25.04. Bull. Amer. Astron. Soc. 28, 1158.

61. Golovnia V., Andruk V., Baransky A. (2016). Minor Planet Observations [083 Golosseevo- Kiev]. Minor Planet Circular, N 100690.

62. Golovnia V.V., Protsyuk Yu.I., Andruk V.M., Vavilova I.B., Pakuliak L.K., Kulyk I.V., Romanyuk Ya.O., Baransky O.R. (2015). Catalogues of the Faint Objects in the Areas with Gamma-Ray Bursts. Odessa Astron. Publ., 28, 196-197.
63. Golovnya V.V. (2012). Minor Planet Observations [083 Golosseevo-Kiev] Minor Planet Circular, No. 78327, id.4.
64. Golovnya V.V., Major S.P. (2003). Minor Planet Observations [083 Golosseevo-Kiev]. Minor Planet Circular, N. 49426, id.2.
65. Golovnya V., Andruk V. (2013). Digital Archive of UKRVO: The Positional Accuracy of Minor Planets Determinations. Odessa Astron. Publ., 26, 226-228.
66. Golovnya V., Major S. (2001). Positions of selected minor planets, obtained from the Golosiiv. UkrVO website. http://gua.db.ukr-vo.org/starcatalogs.php?whc=asteroids
67. Golovnya V.V., Mayor S.P. (2001). Positions of selected minor planets obtained from the Golosiiv photographic observations. In book: Extension and Connection of Reference Frames Using Ground Based CCD Technique. Proceedings of the International astronomical conference. Nikolaev: Atoll, 352 p., p. 124-127, In Ukrainian.
68. Golovnya V., Pakuliak L., Kiziun L. (2012). γ-ray bursts: the stellar fields survey on the plates from 1976-1998 archive. Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Astronomy, 49, 36-40.
69. Gorel G. K., Gudkova L. A. (2000). Catalogue of 2450 positions of 19 selected minor planets on ICRS system obtained with the zonal astrograph at Nikolaev during 1961-1997. Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel, 16, 5, 463-469.
70. Høg, E., Fabricius, C., Makarov, V. V., Urban, S., Corbin, T., Wycoff, G., Bastian, U., Schwekendiek, P., Wicenec, A. (2000). The Tycho-2 catalogue of the 2.5 million brightest stars. Astronomy and Astrophysics, 355, L27-L30.

71. Ivantsov, A., Eggl, S., Hestroffer, D., Thuillot, W., Assafin, M. (2015). On the degradation of asteroid astrometry due to background objects. IAU General Assembly, Meeting #29, id.2256622.

72. Jet Propulsion Laboratory. Horizons Web Application. JPL website. Retrived from https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/app

73. Johnston, W.R. (2018). Binary Minor Planets Compilation V2.0. NASA Planetary Data System, urn:nasa:pds:ast_binary_parameters_compilation::2.0, doi: 10.26033/ra81-9p81

74. Johnston, W.R. (2019). Binary Minor Planets Compilation V3.0. NASA Planetary Data System, urn:nasa:pds:ast_binary_parameters_compilation::3.0, doi: 10.26033/bb68-pw96

75. Kazantseva L., Shatokhina S. (2020). Multiple asteroid systems from the UkrVO digitized photographic plates. Communications of the Byurakan Astrophysical Observatory (ComBAO), 67, 344-346. doi: 10.52526/25792776-2020.67.2-344

76. Kazantseva L. V., Shatokhina S. V., Protsyuk Yu. I., Kovylianska O. E., Andruk V. M. (2015). Processing results of digitized photographic observations of Pluto from the collections of the Ukrainian Virtual Observatory. Kinematics and Physics of Celestial Bodies, 31, 1, 37-54.

77. Kislyuk V. S., Yatsenko, A. I., Ivanov G. A., Pakuliak L. K., Sergeeva T. P. (2000). Fonac: the astrographic catalogue of the FON project. Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel, 16, 6, 483-496.

78. Kokhirova G., Relke H., Yuldoshev Q., Protsyuk Yu. I., Andruk V.M. (2021). FON Dushanbe Catalogue. Results of Processing in the Tycho-2 System. Odessa Astron. Publ., 34, 106-109.

79. Lang K. R. (2011). The Cambridge Guide to the Solar System. Sec.ed. Cambridge: University Press. p. 374. ISBN 9781139494175.

80. Maigurova N.V.; Chernetenko Yu.A.; Kryuchkovsky V.F. (2017). Effect on the reference catalog system on the asteroid positions in the MPC Database. Science and Innovation, 13(1), 69 -75.

81. Minor Planet Center. Latest Published Data. MPC website. Retrived from https://minorplanetcenter.net/mpc/summary
82. Mishchenko M.I., Dlugach J.M. (1993). Coherent backscatter and the opposition effect for E-type asteroids. Planetary and Space Science, 41, 3, 173-181.
83. Ochsenbein F., Bauer P., Marcout J. (2000). The VizieR database of astronomical catalogues. Astronomy and Astrophysics Supplement, 143, 23-32. doi: 10.1051/aas:2000169, 10.48550/arXiv.astro-ph/0002122
84. Pakuliak L.K., Andruk V.M. (2020). Applications of Big Data in Astronomy and Geosciences: Algorithms for Photographic Images Processing and Error Elimination. In: Knowledge Discovery in Big Data from Astronomy and Earth Observation. 1st ed./ eds. P. Skoda, F. Adam. ISBN: 978-0-128-19154-5 (Elsevier), 325–330. doi: 10.1016/B978-0-12-819154-5.00029-1
85. Pakuliak L.K., Andruk V.M., Golovnia V.V., Shatokhina S. V., Yizhakevych O. M., Ivanov G. A., Yatsenko A. I., Sergeeva T. P. (2016). FON: from start to finish. Odessa Astron. Publ., 29, 132-135. doi: 10.18524/1810-4215.2016.29.85140
86. Pakuliak L., Golovnya V., Andruk V., Shatokhina S., Yizhakevych O., Kazantseva L., Lukianchuk V. (2014). Kyiv UkrVO glass archives: new life. Astroplate 2014, Proceedings of a conference held in March, 2014 in Prague, Czech Republic. Edited by Linda Mišková and Stanislav Vítek. Published by the Institute of Chemical Technology, Prague, 57-60.
87. Pakuliak L.K., Sergeeva T.P. (2006). The MAO NASU Plate Archive Database. Current Status and Perspectives. In: Virtual Observatory: Plate Content Digitization, Archive Mining and Image Sequence Processing, iAstro workshop, Sofia, Bulgaria, 2005 proceedings, ISBN-10 954-580-190-5, p. 129-135.
88. Pakuliak L., Sergeeva T. (2007). The Golosiiv on-line plate archive database, management and maintenance. Highlights of Astronomy, Volume 14 IAU

XXVI General Assembly, 14-25 August 2006 Karel A. van der Hucht, ed., p.631.

89. Protsyuk Yu. I., Andruk V. N., Kazantseva L. V. (2014). Software for Processing of Digitized Astronegatives from Archives and Databases of Virtual Observatory. Odessa Astron. Publ., 27, 59-60.

90. Protsyuk Yu.I., Maigurova N.V. (2020a). Re-Reduction of the Old Photographic Observations of Interamnia (704) Based on Gaia DR2 Reference Catalogue. Odessa Astronomical Publications, 33, 147-149.

91. Protsyuk Yu.I., Maigurova N.V., Protsyuk S.V., Golovnia V.V. (2016). Using of UkrVO data and software for new reductions of photographic observations of selected minor planets. Odessa Astron. Publ. 29, 147-150.

92. Protsyuk Yu. I., Kovalchuk O. M., Mazhaev O. E. (2017). Catalogue of positions and proper motions of stars in the vicinity of open clusters. Science and Innovation, 13, 1, 54-64.

93. Protsyuk Y., Vavilova I., Andruk V. Pakuliak L. Shatokhina S. Yizhakevych O. (2020b). Catalogs of celestial bodies from digitized photographic plates of the Ukrainian Virtual Observatory Archive. Communications of the Byurakan Astrophysical Observatory (ComBAO), 67, 286-292. doi: 10.52526/25792776-2020.67.2-286

94. Relke E., Protsyuk Yu.I., Andruk V.M. (2015). The Compiled Catalogue of Photoelectric UBVR Stellar Magnitudes in the TYCHO2 System. Odessa Astron. Publ., 28, 211-212.

95. Roeser S.; Bastian U. (1988). A New Star Catalogue of SAO Type. Astronomy and Astrophysics, Suppl. Ser., 74, 449-450.

96. Roeser S., Bastian U. (1989). Compilation of the PPM Catalogue. Meeting of IAU Commission 24: Star catalogues: a centennial tribute to A. N. Vyssotsky, p. 31 - 37.

97. Rosenbush V.K., Kiselev N.N., Jockers K., Korokhin V.V., Shakhovskoy N.M., Efimov Yu.S. (2000). Optical polarimetry of the Galilean satellites,

Iapetus, and 64 Angelina near opposition. Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel, Suppl, 3, 227-230.

98. Rosenbush V.K., Kiselev N.N., Shevchenko V.G., Jockers K., Shakhovskoy N.M., Efimov Y.S. (2005). Polarization and brightness opposition effects for the E-type Asteroid 64 Angelina. Icarus, 178, 1, 222-234.

99. SAO Staff. (1995). Smithsonian Astrophysical Observatory Star Catalog J2000 (SAO Staff 1966; USNO, ADC 1990). VizieR On-line Data Catalog: SAO Star Catalog J2000 : I/131A. https://cdsarc.cds.unistra.fr/viz-bin/cat/I/131A#/article

100. Sergeeva T.P., Golovnya V.V., Sergeev A.V. (2005). The MAO NASU Plate Archive: “observations in the past”" of minor planets. Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel, Suppl., 5, 577-579.

101. Sergeeva T.P., Golovnya V.V., Yizhakevych E.M., Kizyun L.N., Pakuliak L.K., Shatokhina S.V., Tsvetkov M.K., Tsvetkova K.P., Sergeev A.V. (2006a). MAO NAS of Ukraine Plate Archives: Towards the WFPDB Integration. In: Virtual Observatory: Plate Content Digitization, Archive Mining and Image Sequence Processing, iAstro workshop, Sofia, Bulgaria, 2005 proceedings, ISBN-10 954-580-190-5, p. 124-128.

102. Sergeeva T. P., Golovnya V.V., Yizhakevych E.M., Shatokhina S.V., Sergeev A. V. (2006b). Observations in the Past of Solar System Bodies with MAO NANU Plate Archives. In: Virtual Observatory: Plate Content Digitization, Archive Mining and Image Sequence Processing. Tsvetkov, M. & Golev, V. & Murtagh, F. & Molina, R. (Eds.), ISBN-10 954-580-190-5, 161-166.

103. Sergeeva T.P., Sergeev A.V., Pakuliak L.K., Yatsenko A.I. (2007). The Golosyiv plate archive digitisation. Highlights of Astronomy, Volume 14 IAU XXVI General Assembly, 14-25 August 2006 Karel A. van der Hucht, ed., p.634.

104. Shatokhina S.V. (2012). Astrometric positions of the external planets and their satellites. www.mao.kiev.ua/ast/unp.php, 04.10.2012, http://gua.db.ukr-vo.org/starcatalogs.php

105. Shatokhina S.V., Kazantseva L.V. (2021a). Early Kyiv observations of asteroids: analysis and new reduction with Tycho-2 and Gaia catalogs. Odessa Astronomical Publications, 34, 114-118.

106. Shatokhina S., Kazantseva L., Yizhakevych O., Andruk V. M. (2018a). Catalogue of Asteroids from Digitized Photographic Plates of the FON Program. Kinem. Phys. Cel. Bodies, 34, 270-276.

107. Shatokhina S. V., Kazantseva L. V., Yizhakevych O. M., Andruk V. M. (2019a). VizieR Online Data Catalog: 2292 astrometric positions of asteroids (Shatokhina+, 2018). VizieR On-line Data Catalog: J/other/KFNT/34.270.

108. Shatokhina S. V., Relke H., Mullo-Abdolov A. Sh., Yizhakevych O. M., Yuldoshev Q. X., Protsyuk Yu. I., Andruk, V. M. (2020). Asteroid Positions Based on the Dushanbe Part of the FON Project Observations. Odessa Astron. Publ., 33, 154-157. doi: 10.18524/1810-4215.2020.33.216421

109. Shatokhina S.V., Relke H., Yizhakevych O.M., Andruk V.M., Mullo-Abdolov A.Sh. (2023). Asteroid positions based on the Dushanbe part of the FON project observations. Space Science and Technology, 29, 5, 79-87.

110. Shatokhina S.V., Relke H., Yuldoshev Q.X., Andruk, V. M., Protsyuk Yu. I., Muminov M. (2018b). Asteroids Search Results in Digitized Observations of the Northern Sky Survey Project (KITAB Part). Odessa Astron. Publ., 31, 235-238.

111. Shatokhina S.V., Relke H., Yuldoshev Q., Andruk V. M., Protsyuk Yu. I., Muminov, M. (2021b). VizieR Online Data Catalog: 2728 asteroid positions (Kitab obs.) (Shatokhina+, 2018). VizieR On-line Data Catalog: J/other/OAP/31.235.

112. Shatokhina S.V., Yizhakevych O.M., Protsyuk Yu.I., Kazantseva L.V., Pakuliak L.K., Eglitis I., Relke H., Yuldoshev Q.X., Mullo-Abdolov A.Sh., Andruk V.M. (2019b). On the “Solar system bodies” astroplate project of the

Ukrainian virtual observatory. Odessa Astron. Publ., 32, 203-207. doi: 10.18524/1810-4215.2019.32.181732.

113. Shatokhina S. V., Kazantseva L.V., Andruk V.M. (2019c). The Re-Processing Results of Photographic Observations of Asteroids with GAIA Catalog at the MAO NAS of Ukraine. Odessa Astron. Publ., 32, 199-201.

114. Tsvetkova K.P., Tsvetkov M.K., Sergeeva T.P., Sergeev A.V. (2009). Wide-field plate archives stored in the Ukrainian observatories. Kinematics and Physics of Celestial Bodies, vol. 25, issue 5, pp. 269-276.

115. Ukrainian Virtual Observatory website. (2023). Ukrainian Virtual Observatory – archives. Retrived from: http://ukr-vo.org/resources/index.php.

116. Vavilova I. B., Pakuliak L. K., Protsyuk, Yu. I. (2010). Ukrainian Virtual Observatory (UkrVO). The Goals, Structure, and Tasks. Kosmichna Nauka i Tekhnologiya. 16, 5, 62-70.

117. Vavilova I. B., Pakuliak L. K., Protsyuk Yu. I., Virun N. V., Kashuba S. G., Pikhun A. I., Andrievsky S. M., Mazhaev A. E., Kazantseva L. V., Shlyapnikov A. A, Shulga A. V., Zolotukhina A. V., Sergeeva T. P., Miroshnichenko A. P., Andronov I. L., Breus V. V., Virnina N. A. (2011). Ukrainian Virtual Observatory: Current Status and Perspectives of Development of Joint Archives of Observations. Kosmichna Nauka i Tekhnologiya, 17, 4, 74-91.

118. Vavilova I. B., Shatokhina S. V., Pakuliak L. K., Yizhakevych O. M., Eglitis I., Andruk V. M., Protsyuk Yu. I. (2022). Astrometry and photometry of asteroids from the UkrVO database of astroplates. Multi-Scale (Time and Mass) Dynamics of Space Objects. Proceedings of the International Astronomical Union, 364, 239-245. doi: 10.1017/S1743921322000047

119. Vavilova I. B., Yatskiv Ya. S., Pakuliak L. K., Andronov I. L., Andruk V. M., Protsyuk Yu. I., Savanevych V. E., Savchenko D. O., Savchenko V. S. (2017). UkrVO Astroinformatics Software and Web-services. Astroinformatics, Proceedings of the International Astronomical Union, 325, 361-366.

120. Vereš P., Farnocchia D., Chesley, S.R., Chamberlin A.B. (2017). Statistical analysis of astrometric errors for the most productive asteroid surveys. Icarus, Vol. 296, p. 139-149. doi: 10.1016/j.icarus.2017.05.021, 10.48550/arXiv.1703.03479

121. Villarroel B., Soodla J., Comerón S., Mattsson L., Pelckmans K., López-Corredoira M., Krisciunas K., Guerras E., Kochukhov O., Bergstedt J., Buelens B., Bär R., Cubo R., Enriquez J. E., Gupta A.C., Imaz I., Karlsson T., Prieto M. A., Shlyapnikov A.A., de Souza R.S., Vavilova I.B., Ward M.J. (2020). The Vanishing and Appearing Sources during a Century of Observations Project. I. USNO Objects Missing in Modern Sky Surveys and Follow-up Observations of a “Missing Star”. The Astronomical Journal, 159, 1, article id. 8, 19 pp.

122. Yale University.(1998). Yale Zone Catalogues Integrated (Yale Univ 1939-1983; ADC 1989). VizieR On-line Data Catalog: Yale Zone Catalogues Integrated: I/141. https://cdsarc.cds.unistra.fr/viz-bin/cat/I/141

123. Yatsenko A.I. (2016). Catalog of the Photographic Survey of the Northern Sky (FON-2.0) built up from the scanning of astroplates: a new version. Kinem. Phys. Cel. Bodies, 32, 3, 153-156.

124. Yizhakevych O. M. Andruk V. M. Pakuliak L. K. (2018). VizieR Online Data Catalog: Topocentric positions of Saturn's moons (Yizhakevych+, 2017). VizieR On-line Data Catalog: J/other/KFNT/33.70.

125. Yizhakevych E.M., Andruk V.M., Pakuliak L.K. (2019). VizieR Online Data Catalog: Uranus & Neptune topocentric positions (Yizhakevych+, 2016). VizieR On-line Data Catalog: J/other/OAP/29.155.

126. Yizhakevych O.M., Eglitis I., Shatokhina S.V., et al. (2021). Catalog of asteroid positions and magnitudes from digitized photographic observations in Baldone (Latvia). UkrVO website. Retrived from: http://gua.db.ukr-vo.org/starcatalogs.php?whc=baldone2021asteroids

127. Yizhakevych O.M., Mullo-Abdolov A. Sh., Relke H.V., Kokhirova G. I., Pakuliak L. K., Andruk V. M. (2018). First Results of the Searching of

Asteroids Based on the Data of FON-Dushanbe Processed Plates. Odessa Astron. Publ., 31, 247-250.

128. Yizhakevych O.M., Shatokhina S.V., Andruk V.M. (2023). Some asteroid positions of the Tautenburg digitized astroplates. 23-th Gamow Intern. Astron. Conf. “Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, Astroparticle Physics, Radio Astronomy, Astrobiology and Genetics”, Odesa, Ukraine, Aug. 21-25, 2023: Program and Abstracts, p.33.

129. Yuldoshev Q.X., Ehgamberdiev Sh.A., Muminov M.M., Protsyuk Yu. I., Relke H., Andruk V.M. (2017). Catalog of equatorial coordinates and B-magnitudes of stars of the Kitab part of the FON project. Kinem. Phys. Cel. Bodies, 33, 5, 250-253.

130. Yuldoshev Q.X., Ehgamberdiev Sh.A., Muminov M.M., Protsyuk Yu.I., Relke H., Andruk V.M. (2018). VizieR Online Data Catalog: FON Astrographic Catalogue Southern Part (FONAC-S) (Yuldoshev+, 2017). VizieR On-line Data Catalog: I/346.

131. Yuldoshev Q., Protsyuk Y., Relke H., et al. (2019). Catalog of equatorial coordinates and B-magnitudes of the Kitab's part of the FON project. Astron. Nachr., 340, 494–509. https://doi.org/10.1002/asna.201913490

ДОДАТОК А

Список опублікованих праць за матеріалами дисертації та відомості про апробацію результатів дисертаційного дослідження

У наукових фахових виданнях:

1. Kazantseva L. V., Shatokhina S. V., Protsyuk Yu. I., Kovylianska O. E., Andruk V. M. (2015). Processing results of digitized photographic observations of Pluto from the collections of the Ukrainian Virtual Observatory. Kinem. Phys. Cel. Bodies, 31, 1, 37-54. https://doi.org/10.3103/S0884591315010031
2. Шатохіна С., Казанцева Л., Андрук В., Процюк Ю. (2016). Система Плутона з оцифрованих зображень фотографічних платівок. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія, 53, 24-29. https://doi.org/10.17721/BTSNUA.2016.53.24-29
3. Шатохіна С., Головня В., Андрук В. (2017). Ресурс УкрВО для задач пошуку, перевідкриття та уточнення орбіт астероїдів. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія, 55, 6-9. https://doi.org/10.17721/BTSNUA.2017.55.3-9
4. Shatokhina S., Kazantseva L., Yizhakevych O., Andruk V. M. (2018a). Catalogue of Asteroids from Digitized Photographic Plates of the FON Program. Kinem. Phys. Cel. Bodies, 34, 270-276. https://doi.org/10.3103/S0884591318050045
5. Shatokhina S.V., Relke H., Yuldoshev Q.X., Andruk, V. M., Protsyuk Yu. I., Muminov M. (2018b). Asteroids Search Results in Digitized Observations of the Northern Sky Survey Project (KITAB Part). Odessa Astron. Publ., 31, 235-238. https://doi.org/10.18524/1810-4215.2018.31.144679
6. Shatokhina S.V., Yizhakevych O.M., Protsyuk Yu.I., Kazantseva L.V., Pakuliak L.K., Eglitis I., Relke H., Yuldoshev Q.X., Mullo-Abdolov A.Sh., Andruk V.M. (2019b). On the “Solar system bodies” astroplate project of the Ukrainian virtual observatory. Odessa Astron. Publ., 32, 203-207. https://doi.org/10.18524/1810-4215.2019.32.181732

7. Shatokhina S. V., Relke H., Mullo-Abdolov A. Sh., Yizhakevych O. M., Yuldoshev Q. X., Protsyuk Yu. I., Andruk, V. M. (2020). Asteroid Positions Based on the Dushanbe Part of the FON Project Observations. Odessa Astron. Publ., 33, 154-157. https://doi.org/10.18524/1810-4215.2020.33.216421
8. Shatokhina S.V., Kazantseva L.V. (2021a). Early Kyiv observations of asteroids: analysis and new reduction with Tycho-2 and Gaia catalogs. Odessa Astron. Publ., 34, 114-118. https://doi.org/10.18524/1810-4215.2021.34.244355

У інших фахових та електронних наукових виданнях:

9. Eglitis I., Eglite M., Kazantseva L. V., Shatokhina S. V., Protsyuk Yu. I., Kovylianskaya O. E., Andruk V. M. (2019a). VizieR Online Data Catalog: Topocentric positions of Pluto (Eglitis+, 2018). VizieR Online Data Catalog: VI/155.
10. Shatokhina S. V., Kazantseva L. V., Yizhakevych O. M., Andruk V. M. (2019a). VizieR Online Data Catalog: 2292 astrometric positions of asteroids (Shatokhina+, 2018). VizieR On-line Data Catalog: J/other/KFNT/34.270.
11. Shatokhina S.V., Relke H., Yuldoshev Q., Andruk V. M., Protsyuk Yu. I., Muminov M. (2021b). VizieR Online Data Catalog: 2728 asteroid positions (Kitab obs.) (Shatokhina+, 2018). VizieR On-line Data Catalog: J/other/OAP/31.235.
12. Vavilova I. B., Shatokhina S. V., Pakuliak L. K., Yizhakevych O. M., Eglitis I., Andruk V. M., Protsyuk Yu. I. (2022). Astrometry and photometry of asteroids from the UkrVO database of astroplates. Multi-Scale (Time and Mass) Dynamics of Space Objects. Proceedings of the International Astronomical Union, 364, 239-245. https://doi.org/10.1017/S1743921322000047

Тези міжнародних конференцій, які засвідчують апробацію:

13. Shatokhina S., Relke H., Yizhakevych O., Andruk V., Mullo-Abdolov A. Asteroid positions based on the Dushanbe part of the FON project observations. Abstracts. XXIII Gamow Intern. Astron. Conference “Astronomy and beyond: Astrophysics, cosmology and gravitation, astroparticle physics, radioastronomy, astrobiology and genetics”, Odesa, Ukraine, August 21–25, 2023. p.33.
14. Shatokhina S., Andruk V., Mullo-Abdolov A., Relke H., Yizhakevych O. FON-Dushanbe catalog of asteroids as the final stage of the small bodies search on digitized Northern Sky Survey negatives. Abstracts. 81st International Scientific Conference of University of Latvia, Riga, Latvia, March 16, 2023, p.9-10.
15. Vavilova I.B., Shatokhina S.V., Pakuliak L.K., Yizhakevych O.M., Eglitis I., Andruk V.M., Protsyuk Yu.I. Astrometry and photometry of asteroids from the UkrVO database of astroplates. Program and Abstracts. Multi-scale (time and mass) Dynamics of Space Objects Proceedings IAU Symposium No. 364, Iasi, Romania, October 18–22, 2021, p.81.
16. Shatokhina S. V., Kazantseva L. V. Analysis and reprocessing of early Kyiv observations of asteroids with modern reference catalogues. Abstracts. 21st Gamow Intern. Astron. Conf.- School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, High Energy Physics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", Odesa, Ukraine, August 15–21,2021, p.15.
17. Vavilova I., Andruk V., Pakuliak L, Shatokhina S., Yizhakevych O. Catalogs of celestial bodies from digitized photographic plates of the Ukrainian Virtual Observatory Archive. Abstracts. International Symposium “Astronomical Surveys and Big Data 2 (ASBD-2)”, Byurakan astrophysical observatory, Armenia, September 14–18, 2020, p.30-31.
18. Їжакевич О.М., Шатохіна С.В., Еглітіс І., Процюк Ю.І., Андрук В.М. Малі тіла Сонячної системи з оцифрованих фотографічних спостережень в Балдоне: результати та попередній аналіз. Book of

Abstracts. International Conference dedicated to the 175th of the Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, May 27–29, 2020, p.60-61.

19. Vavilova I.B., Shatokhina S.V., Yizhakevych O.M., Kazantseva L.V., Protsyuk Yu.I., Pakuliak L.K., Eglitis I., Relke H., Yuldoshev Q.X., Mullo-Abdolov A.Sh., Andruk V.M. On the Solar system small bodies astroplate project of the Ukrainian Virtual Observatory. Abstr. 6th Gamow Intern. Conf. “New Trends in Cosmology, Astrophysics and HEP after Gamow”, Odesa, Ukraine, August 11–19, 2019, p.28-29.
20. Andruk V., Eglitis I., Golovnia V., Ivanov G., Kazantseva L., Kovylianska E., Mullo-Abdolov A., Muminov M., Pakuliak L., Protsyuk Yu., Relke H., Shatokhina S., Yatsenko A., Yizhakevich O., Yuldoshev Q., Vavilova I. The main results of photographic archive's digitization at the Main Astronomical Observatory of the NAS of Ukraine. Program. China–Ukraine–Latvia astrometry workshop, Shanghai Astronomical Observatory, Shanghai, China, June 17–23, 2019.
21. Kazantseva L., Shatokhina S., Andruk V. The results of astrometric reduction for old photographic observations using the Gaia stellar catalogue. Book of Abstracts. International Conference “Astronomy and Space Physics in the Kyiv University”, Kyiv, Ukraine, May 28–31, 2019, p.51-52.

Апробація результатів дисертації

Результати досліджень доповідалися і обговорювалися на 18 міжнародних конференціях, на 9 з яких за останні 2019–2023 роки представлено найбільш важливі результати . А саме:

- Гамовські конференції-школи Gamow International Astronomical Conferences “Astronomy and beyond: Astrophysics, cosmology and gravitation, astroparticle physics, radioastronomy, astrobiology and genetics” (Україна, Одеса, 2019, 2021, 2023 рр.);

- 81st International Scientific Conference of the University of Latvia (Латвія, Рига, 2023 р.);
- IAU Symposium No. 364 “Multi-scale (time and mass) Dynamics of Space Objects” (Румунія, Ясси, 2021 р.);
- International Symposium “Astronomical Surveys and Big Data 2 (ASBD-2)” (Вірменія, Бюракан, 2020 р.);
- International conference “Astronomy and Space Physics in Kyiv University” (Україна, Київ, 2019, 2020 рр.);
- China–Ukraine–Latvia astrometry workshop, Shanghai Astronomical Observatory (Китай, Шанхай, 2019 р.).

Результати роботи також обговорювалися на астрометричних семінарах в ГАО НАН України.

ДОДАТОК В

Скріншоти перших записів каталогів, отриманих з оцифрованих астронегативів УкрВО, які представлені в базі астрономічних даних CDS

1. Shatokhina S.V., Relke H., Yuldoshev Q., Andruk V. M., Protsyuk Yu. I., Muminov, M. (2021). VizieR Online Data Catalog: 2728 asteroid positions (Kitab obs.) (Shatokhina+, 2018). VizieR On-line Data Catalog: J/other/OAP/31.235.

J/other/OAP/31.235/catalog — 2728 asteroid positions (Kitab obs.) (Shatokhina+, 2018)
Post annotation — 2728 topocentric positions of asteroids and comets *(2728 rows)*

start AladinLite — plot the output — query using TAP/SQL

Full	RAJ2000 "h:m:s"	DEJ2000 "d:m:s"	Plate	Tube	Date s	Name	RAJ2000 "h:m:s"	DEJ2000 "d:m:s"	Bphmag mag	FWHM pix	cI	O-CRA arcsec	O-CDE arcsec	O-C(B-V) mag	e_RAJ2000 (...)	e_DEJ2000 arcsec	e_Bphmag mag
1	14 53 07.46400	-09 57 14.0300	229		1982-06-12T17:17:24	1	14 53 07.464	-09 57 14.03	8.94	51.473	81.520	0.78	-0.90	1.28	0.54	0.94	0.24
2	18 17 17.42900	-04 48 10.6200	246	B	1982-06-15T20:02:57	3	18 17 17.429	-04 48 10.62	10.77	41.905	80.887	-0.60	0.28	0.82			
3	18 15 35.48700	-04 47 21.0100	262		1982-06-17T20:05:33	3	18 15 35.487	-04 47 21.01	10.46	42.719	75.129	-0.50	0.50	0.53	0.26	0.07	0.05
4	12 50 57.06400	-02 53 13.9500	719		1985-02-13T22:12:25	3	12 50 57.064	-02 53 13.95	10.71	24.260	143.152	0.27	0.68	0.81	0.05	0.10	0.11
5	16 33 49.02600	-03 32 22.3300	907		1986-06-07T19:06:56	3	16 33 49.026	-03 32 22.33	10.58	17.044	107.107	-0.54	0.56	0.40	0.28	0.09	0.02
6	16 30 31.62300	-03 27 36.9200	912		1986-06-11T18:50:12	3	16 30 31.623	-03 27 36.92	10.49	14.675	106.225	-0.35	0.52	0.28	0.13	0.52	0.02
7	16 16 01.72900	-03 37 47.9800	913		1986-07-02T16:38:46	3	16 16 01.729	-03 37 47.98	11.19	25.910	79.260	-0.30	0.13	0.74	0.15	0.06	0.16
8	00 04 58.63500	-04 55 23.8700	810		1985-09-22T19:40:02	5	00 04 58.635	-04 55 23.87	11.41	12.577	102.271	-1.49	-0.50	0.64	0.28	0.22	0.09

2. Shatokhina S. V., Kazantseva L. V., Yizhakevych O. M., Andruk V. M. (2019). VizieR Online Data Catalog: 2292 astrometric positions of asteroids (Shatokhina+, 2018). VizieR On-line Data Catalog: J/other/KFNT/34.270.

J/other/KFNT/34.270/table — 2292 astrometric positions of asteroids (Shatokhina+, 2018) — 2018KFNT..
Post annotation — Topocentric positions of asteroids and comets *(2292 rows)*

start AladinLite — plot the output — query using TAP/SQL

Full	RAJ2000 "h:m:s"	DEJ2000 "d:m:s"	Code	WFPDBid	Pl	Obs.date s	Id	RAJ2000 "h:m:s"	DEJ2000 "d:m:s"	Bmag mag	FWHM 2.17pix	cI	O-CRA arcsec	O-CDE arcsec	B-V mag	Rem
1	14 12 15.42800	+01 37 24.2400	83	GUA040C001769A	1769	1991-04-03T23:23:51	1	14 12 15.428	+01 37 24.24	7.71	8.917	493.665	0.17	-1.40	0.57	
2	13 40 52.83600	+02 32 39.5700	83	GUA040C001782A	1782	1991-05-11T20:35:44	1	13 40 52.836	+02 32 39.57	7.93	65.186	190.330	-0.37	0.19	0.56	
3	13 32 40.20500	+04 09 47.0400	83	GUA040C000020A	20	1982-03-04T00:30:40	2	13 32 40.205	+04 09 47.04	8.00	35.378	161.763	-0.40	-1.18	0.19	
4	15 46 04.60800	+26 29 25.6700	83	GUA040C001055A	1055	1987-06-04T20:58:30	2	15 46 04.608	+26 29 25.67	9.55	20.488	165.351	-0.16	0.77	0.46	
5	20 26 02.20000	+17 39 51.4500	83	GUA040C001280A	1280	1988-07-19T22:31:16	2	20 26 02.200	+17 39 51.45	9.99	10.528	296.268	0.30	1.34	0.43	

3. Eglitis I., Eglite M., Kazantseva L. V., Shatokhina S. V., Protsyuk Yu. I., Kovylianskaya O. E., Andruk V. M. (2019). VizieR Online Data Catalog: Topocentric positions of Pluto (Eglitis+, 2018). *VizieR Online Data Catalog:* VI/155.

VI/155/pluto — Topocentric positions of Pluto (Eglitis+, 2018)
Post annotation — Topocentric positions of Pluto *(90 rows)*

start AladinLite — plot the output — query using TAP/SQL

Full	RAJ2000 "h:m:s"	DEJ2000 "d:m:s"	WFPDBid	Rem	Pl	Exp min	Tel	Obs.date s	RAICRS "h:m:s"	e arcsec	DEICRS "d:m:s"	e arcsec	Bmag mag	e mag	O-CRA arcsec	O-CDE arcsec	B-V mag
1	10 58 07.13000	+20 47 33.5800	GUA040A001781	n	1781	16	DLA	1961-02-14T23:01:35	10 58 07.130	0.07	+20 47 33.58	0.05	13.39	0.16	0.02	-0.40	-0.83
2	10 58 07.04900	+20 47 34.4700	GUA040A001781	n	1781	44	DLA	1961-02-14T23:31:30	10 58 07.049	0.05	+20 47 34.47	0.05	13.75	0.14	0.53	-0.40	-0.47
3	10 58 06.64500	+20 47 36.8900	GUA040A001782	r	1782	90	DLA	1961-02-15T01:19:20	10 58 06.645	0.03	+20 47 36.89	0.05	13.51	0.18	0.77	-1.21	-0.71
4	10 53 26.38200	+21 13 51.4900	MYK012 000011	r	11	62	ZA	1961-04-06T19:50:40	10 53 26.382	0.04	+21 13 51.49	0.07	15.83	0.37	0.29	-0.46	1.58
5	10 52 48.84500	+21 15 26.7000	MYK012 000025	a	25	60	ZA	1961-04-15T19:52:11	10 52 48.845	0.10	+21 15 26.70	0.08	15.57	0.25	1.02	-1.60	1.30
6	11 00 09.81600	+20 51 56.2500	MYK012 000155	r	155	60	ZA	1962-05-05T18:51:09	11 00 09.816	0.05	+20 51 56.25	0.11	15.64	0.03	-0.09	-0.28	1.38
7	11 27 26.39200	+19 27 04.1000	MYK012 000765	r	765	60	ZA	1965-04-06T20:53:22	11 27 26.392	0.10	+19 27 04.10	0.08	16.27	0.07	-0.37	0.28	2.15
8	11 49 27.57100	+17 50 47.1500	MYK012 001261	r	1261	60	ZA	1967-02-17T23:54:44	11 49 27.571	0.04	+17 50 47.15	0.04	15.10	0.02	0.11	0.41	1.04

4. Yizhakevych E.M., Andruk V.M., Pakuliak L.K. (2019). VizieR Online Data Catalog: Uranus & Neptune topocentric positions (Yizhakevych+, 2016). VizieR On-line Data Catalog: J/other/OAP/29.155.

J/other/OAP/29.155/neptun Uranus & Neptune topocentric positions (Yizhakevych+, 2016) 2016OAP...29..155Y Rea
Post annotation Topocentric positions of Neptun and Triton *(62 rows)*

start AladinLite plot the output query using TAP/SQL

Full	RAJ2000 "h:m:s"	DEJ2000 "d:m:s"	Obs.date s	Obj	RAJ2000 "h:m:s"	DEJ2000 "d:m:s"	O-Cra arcsec	O-Cde arcsec	ExpTime s	Em	Bmag mag	e_ mag	e_RAJ2000 (...)	e_DEJ2000 arcsec	Nz	Tel	WFPDBid
1	14 56 40.64700	-14 55 53.1960	1963-03-05T01:53:47	N1	14 56 40.647	-14 55 53.196	0.94	0.00	300	2	14.1	0.22	0.035	0.037	104	DL	GUA040A000363B
2	18 24 36.06500	-22 20 00.4500	1987-10-19T14:36:31	N1	18 24 36.065	-22 20 00.450	0.73	1.08	1080	1	9.9	0.37	0.115	0.105	28	Z6	MAJ060 000223
3	18 24 50.20700	-22 19 36.0450	1987-10-22T14:45:54	N1	18 24 50.207	-22 19 36.045	1.39	0.75	240	1	9.6	0.27	0.186	0.142	23	Z6	MAJ060 000232
4	18 55 43.58600	-21 57 02.5780	1990-07-20T17:55:20	N1	18 55 43.586	-21 57 02.578	-0.23	-0.28	390	3	8.8	0.57	0.057	0.034	11	Z6	MAJ060 000518

J/other/OAP/29.155/uranus Uranus & Neptune topocentric positions (Yizhakevych+, 2016) 2016OAP...29..155Y Rea
Post annotation Topocentric positions of Uranus and its moons *(145 rows)*

start AladinLite plot the output query using TAP/SQL

Full	RAJ2000 "h:m:s"	DEJ2000 "d:m:s"	Obs.date s	Obj	RAJ2000 "h:m:s"	DEJ2000 "d:m:s"	O-Cra arcsec	O-Cde arcsec	ExpTime s	Em	Bmag mag	e_ mag	e_RAJ2000 (...)	e_DEJ2000 arcsec	Nz	Tel	WFPDBid
1	18 29 28.55200	-23 35 52.7090	1990-07-24T17:47:38	U1	18 29 28.552	-23 35 52.709	-1.26	-0.05	60	1	13.0	0.20	0.030	0.053	14	Z6	MAJ060 000550
2	18 29 17.79400	-23 35 59.2680	1990-07-25T17:08:54	U1	18 29 17.794	-23 35 59.268	-0.65	1.33	900	1	11.7	0.71	0.174	0.173	17	Z6	MAJ060 000558B
3	10 16 08.94500	+11 35 28.7960	1963-04-25T21:56:41	U2	10 16 08.945	+11 35 28.796	-0.22	0.12	1200	2	16.1	0.21	0.043	0.042	97	DL	GUA040A000407B

5. Yizhakevych O. M. Andruk V. M. Pakuliak L. K. (2018).VizieR Online Data Catalog: Topocentric positions of Saturn's moons (Yizhakevych+, 2017). VizieR On-line Data Catalog: J/other/KFNT/33.70.

J/other/KFNT/33.70/satdata Topocentric positions of Saturn's moons (Yizhakevych+, 2017) 2017KFNT...33...7
Post annotation Topocentric positions of Saturn's moons *(1399 rows)*

start AladinLite plot the output query using TAP/SQL

Full	RAJ2000 "h:m:s"	DEJ2000 "d:m:s"	Obs.Date s	No	RAJ2000 "h:m:s"	DEJ2000 "d:m:s"	Bmag mag	ExpTime s	Nz	e_Bmag mag	e_RAJ2000 (...)	e_DEJ2000 arcsec	emID	Tel	WFPDBid
1	10 45 17.99100	+10 06 54.4720	1979-03-26T20:38:41	2	10 45 17.991	+10 06 54.472	11.0	61	60	0.18	0.076	0.084	1	DL	GUA040A005990
2	11 52 46.61900	+03 14 40.4900	1980-01-23T02:21:46	2	11 52 46.619	+03 14 40.490	11.3	125	106	0.23	0.054	0.051	2	DL	GUA040A006061
3	11 52 46.60100	+03 14 40.6080	1980-01-23T02:26:36	2	11 52 46.601	+03 14 40.608	11.5	60	93	0.25	0.072	0.061	2	DL	GUA040A006061
4	11 52 46.61300	+03 14 41.6290	1980-01-23T02:45:39	2	11 52 46.613	+03 14 41.629	11.3	60	99	0.27	0.068	0.076	2	DL	GUA040A006062
5	11 49 11.58500	+03 43 30.5870	1980-02-14T00:52:18	2	11 49 11.585	+03 43 30.587	10.6	120	82	0.26	0.054	0.082	2	DL	GUA040A006075

6. Yuldoshev Q.X., Ehgamberdiev Sh.A., Muminov M.M., Protsyuk Yu.I., Relke H., Andruk V.M. (2018). VizieR Online Data Catalog: FON Astrographic Catalogue Southern Part (FONAC-S) (Yuldoshev+, 2017). VizieR On-line Data Catalog: I/346.

I/346/fs — FON Astrographic Catalogue Southern Part (FONAC-S) (Yuldoshev+, 2017) — 2017KPCB...33..25

Post annotation — Star data (from +02.0 to -20.9 degrees) *(13413268 rows)*

start AladinLite — plot the output — query using TAP/SQL

Full	RAJ2000 "h:m:s"	DEJ2000 "d:m:s"	ID	k	RAJ2000 deg	e_ arcsec	DEJ2000 deg	e_ arcsec	Bmag mag	e_ mag	Epoch yr	FWHM 1.46pix	cI	f.mag mag	pmRA mas/yr	pmDE mas/yr	B4mag mag	Vmag mag	rmag mag	imag mag
1	09 33 13.361417	+02 04 20.71574	938564	2	143.3057286	0.662	+02.0724593	0.089	16.83	0.20	1983.202	4.74	5.73	15.743	-12.0	-8.2	16.524	15.686	15.595	
2	09 33 13.652168	-01 51 07.84378	938565	5	143.3069905	0.124	-01.8522038	0.197	15.95	0.05	1984.228	5.34	15.64	15.269	-24.3	5.7	15.880	15.533	15.474	15.294
3	09 33 13.857124	-01 14 16.69203	938566	4	143.3077804	0.082	-01.2379891	0.210	16.99	0.10	1984.727	4.96	5.92	15.784	-10.0	4.5	16.821	16.123	15.974	15.523
4	09 33 13.936844	+01 19 47.01375	938567	2	143.3080762	0.070	+01.3297895	0.008	14.62	0.02	1983.202	5.62	48.34	13.654	-1.3	-13.6	14.519	13.819	13.597	13.397
5	09 33 14.004787	-01 51 31.47664	938568	5	143.3084032	0.156	-01.8587273	0.065	15.62	0.04	1984.228	5.50	20.44	14.679	-11.4	-3.7	15.547	14.924	14.851	14.624

7. Andruk V. M., Pakuliak L. K., Golovnia V. V., Ivanov G. O., Yatsenko A. I., Shatokhina S. V., Yizhakevych O. M. (2017). VizieR Online Data Catalog: FON Astrographic Catalogue, Version 3.0 (Andruk+, 2016). VizieR On-line Data Catalog: I/342.

I/342/f3 — FON Astrographic Catalogue, Version 3.0 (Andruk+, 2016) — 2016KPCB...32..26

Post annotation — Star data file *(24752709 rows)*

start AladinLite — plot the output — query using TAP/SQL

Full	RAJ2000 "h:m:s"	DEJ2000 "d:m:s"	ID	k	RAJ2000 deg	e_ arcsec	DEJ2000 deg	e_ arcsec	Bmag mag	e_ mag	Epoch yr	FWHM 2.17pix	cI	f.mag mag	pmRA mas/yr	pmDE mas/yr	B4mag mag	Vmag mag	rmag mag	imag mag
1	19 33 47.246772	+01 20 02.26141	225585	4	293.4468486	0.311	+01.3339535	0.330	15.65	0.18	1991.526	4.93	32.12	14.819	5.5	3.4	15.417	14.445	14.378	14.136
2	19 33 47.270489	+01 18 04.64351	225586	1	293.4469583	0.000	+01.3012901	0.000	16.97	0.00	1991.526	5.18	20.74	15.147	0.9	-0.1				
3	19 33 47.272430	+01 33 14.42470	225587	1	293.4469772	0.000	+01.5540024	0.000	16.34	0.00	1991.548	4.13	14.08	16.079	-3.7	1.9				
4	19 33 47.277648	+01 25 04.59372	225588	4	293.4469902	0.187	+01.4179427	0.123	15.88	0.17	1991.526	4.85	27.70							
5	19 33 47.309018	+01 05 58.42336	225589	4	293.4471162	0.216	+01.0995571	0.313	16.06	0.19	1991.526	4.85	23.57	14.946	2.0	2.1	15.932	15.106		14.181
6	19 33 47.442230	+01 56 14.39637	225590	4	293.4476484	0.478	+01.9373295	0.062	16.13	0.24	1991.526	5.09	21.13	14.919	11.7	1.2	15.986	14.775	14.438	14.091
7	19 33 47.668419	+01 43 47.39498	225591	4	293.4486227	0.217	+01.7298543	0.448	15.89	0.18	1991.526	4.86	27.82	14.867	-1.8	-9.5	15.842	14.779	14.619	14.199

8. Kokhirova G., Relke H., Yuldoshev Q., Protsyuk Yu.I., Andruk V.M. (2021). FON-Dushanbe 29.7 million star catalog. VizieR On-line Data Catalog: J/other/OAP/34.106.

Portal Simbad VizieR Aladin X-Match Other Help

FON-DUSHANBE 29.7 million star catalog : J/other/OAP/34.106

Access to VizieR FTP ReadMe TAP

Authors : Kokhirova G. , Relke H., Yuldoshev Q., Protsyuk Yu.I., Andruk V.M. (hide)

Bibcode : 2021OAP....34..106K (ADS) Cite

UAT : Catalogs, Optical astronomy, Photographic photometry, Photometry, Astrometry

Observation (OC)
Inserted into VizieR : 03-Jul-2023

Article Origin Description See also History Prov FTP

Fon Dushanbe Catalogue. Results of Processing in the Tycho-2 System. (2021)

Keywords : scanning - processing of digitized plates - FON project - astrometry - photometry - data analysis - stellar data - catalogs

Abstract: The processing of 1529 photographic plates of the FON Dushanbe project from the collection of the Institute of Astrophysics of the National Academy of Sciences of Tajikistan was accomplished in the Tycho-2 reference system. The photographic plates with the size of 8x8deg (30x30cm) were exposed in the zones from -8deg to +84deg in the period of 1985-1992 years. In the years 2017-2020, these plates were digitized using a Microtek ScanMaker 1000XL Plus scanner with a resolution of 1200 dpi, so the size of the digitized images is near 13000x13000pix. Based on the results of the processing of digitized images, a catalogue of equatorial coordinates RA, DEC and B-magnitudes of stars of the northern hemisphere was created. The catalog contains ...(more)