

<https://doi.org/10.15407/knit2022.05.056>

УДК 520.86

**В. В. КЛЕЩОНОК**<sup>1</sup>, старш. наук. співроб., канд. фіз.-мат. наук  
ORCID 0000-0002-4832-371X

E-mail: [klev@knu.ua](mailto:klev@knu.ua)

**В. Л. КАРБОВСЬКИЙ**<sup>2</sup>, наук. співроб.

E-mail: [karb1234@ukr.net](mailto:karb1234@ukr.net)

**М. І. БУРОМСЬКИЙ**<sup>1</sup>, пров. інж.

E-mail: [nburomsky@ukr.net](mailto:nburomsky@ukr.net)

**М. В. ЛАШКО**<sup>2</sup>, наук. співроб., канд. пед. наук

E-mail: [mykhaylo.lashko@gmail.com](mailto:mykhaylo.lashko@gmail.com)

**Ю. М. ГОРБАНЬОВ**<sup>3</sup>, старш. наук. співроб., канд. фіз.-мат. наук

E-mail: [skydust@ukr.net](mailto:skydust@ukr.net)

**В. І. КАШУБА**<sup>3</sup>, наук. співроб.

E-mail: [v.kashuba@onu.edu.ua](mailto:v.kashuba@onu.edu.ua)

**С. Р. КІМАКОВСЬКИЙ**<sup>3</sup>, спостерігач-фахівець

E-mail: [keysunai@gmail.com](mailto:keysunai@gmail.com)

**В. І. ШАВЛОВСЬКИЙ**<sup>2</sup>, наук. співроб.

E-mail: [svitaly@mao.kiev.ua](mailto:svitaly@mao.kiev.ua)

**О. В. АНГЕЛЬСЬКИЙ**<sup>4</sup>, спостерігач-фахівець

E-mail: [a.v.angelsky@gmail.com](mailto:a.v.angelsky@gmail.com)

**В. С. ЦЕХМЕЙСТРЕНКО**<sup>5</sup>, спостерігач-фахівець

E-mail: [astronom\\_tvs@ukr.net](mailto:astronom_tvs@ukr.net)

**М. М. МИШЕВСЬКИЙ**<sup>6</sup>, спостерігач-фахівець

E-mail: [nikastro@ukr.net](mailto:nikastro@ukr.net)

**А. В. РЕВУН**<sup>7</sup>, спостерігач-фахівець

E-mail: [lsao@ukr.net](mailto:lsao@ukr.net)

<sup>1</sup>Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка  
вул. Обсерваторна 3, Київ, Україна, 04053

<sup>2</sup>Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України  
вул. Академіка Заболотного 27, Київ, Україна, 03143

<sup>3</sup>Астрономічна обсерваторія Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова  
вул. Маразліївська 1в (парк Т. Г. Шевченко), Одеса, Україна, 65014

<sup>4</sup>Одеське товариство аматорів астрономії «Астродес»  
вул. Маразліївська, 1в (парк Т. Г. Шевченко), Одеса, Україна, 65014

<sup>5</sup>Приватна астрономічна обсерваторія L58 «Небесна Сова»  
вул. Агронавтів 32, смт. Великодолинське, Овідіопільський р-н, Одеська обл., Україна, 67832

<sup>6</sup>Приватна астрономічна обсерваторія L33  
вул. Незалежності 114, Ананьїв, Одеська обл., Україна, 66400

<sup>7</sup>Лозівська шкільна астрономічна обсерваторія  
вул. Грушевського 61, НВК «Лозівська ЗОШ І-III ст.-ДНЗ», с. Лозова, Тернопільський р-н, Тернопільська обл.,  
Україна, 47706

Цитування: Клещенок В. В., Карбовський В. Л., Буромський М. І., Лашко М. В., Горбаньов Ю. М., Кашуба В. І., Кімаковський С. Р., Шавловський В. І., Ангельський О. В., Цехмейстренко В. С., Мишевський М. М., Ревун А. В. Покриття зір малими планетами Сонячної системи: стан спостережних програм в Україні. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 5 (138). С. 56–66. <https://doi.org/10.15407/knit2022.05.056>

## ПОКРИТТЯ ЗІР МАЛИМИ ПЛАНЕТАМИ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ: СТАН СПОСТЕРЕЖНИХ ПРОГРАМ В УКРАЇНІ

Наведено опис завдань, які можна вирішувати за допомогою спостережень покриттів зірок малими тілами Сонячної системи. Для спостереження покриттів зірок в Головній астрономічній обсерваторії Національної академії наук України (ГАО НАН України) спільно з Астрономічною обсерваторією Київського національного університету імені Тараса Шевченка створений програмно-апаратний комплекс для роботи на довгофокусних телескопах. Комплекс використовує високочутливу ПЗЗ-камеру Arogee Alta U47 в режимі синхронного переносу заряду. До складу комплексу входить також редуктор фокуса з блоком світлофільтрів. Комплекс може використовуватися на телескопах АЗТ-2 ГАО НАН України і АЗТ-14 спостережної станції Лісники. Виготовлений також мобільний комплекс на основі телескопа системи Ньютона ( $D = 203$  мм,  $F = 1200$  мм) і комп'ютеризованого монтування Sky-Watcher EQ-5 з системою GOTO для організації виїзних спостережень.

Цінність спостережень покриттів істотно збільшується при використанні декількох пунктів спостережень. Для цього розпочато створення групи спостерігачів покриттів в Україні. До її складу входять спостерігачі Астрономічної обсерваторії Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова, які використовують телескоп Річі — Кретьєна ОМТ-800 ( $D = 800$  мм,  $F = 2134$  мм) з ПЗЗ-камерою QHY174M GPS станції Маяки і телескоп системи Шмідта ( $D = 271.25$  мм,  $F = 440$  мм) з камерою «ВІДЕОСКАН-415-2001» станції Крижанівка. До групи входять також кілька аматорських обсерваторій. Серед них станції в смт. Петрівка Одеської обл., Лозівська шкільна астрономічна обсерваторія в Тернопільській обл., Приватна астрономічна обсерваторія L33 м. Ананіїв Одеської обл. та Приватна обсерваторія L58 «Небесна Сова» в смт. Великодолинське Одеської обл. Наведено опис апаратури, яка використовується в цих пунктах спостережень, та кілька прикладів результативних спостережень покриттів даною групою.

**Ключові слова:** покриття зір, апаратура для спостережень покриттів.

### ВСТУП

Для розуміння походження та еволюції Сонячної системи необхідно знати точні параметри всіх тіл та їхній розподіл за розмірами. Спостереження покриттів зір астероїдами є незалежним прямим методом отримання інформації про форму та розміри астероїдів [12]. Такі спостереження в даній смузі покриття зорі даним об'єктом дають змогу встановити з високою точністю елементи орбіти малої планети [11]. Іноді за допомогою цього ж методу можна виявити кратність астероїдів та кілець навколо астероїдів [3]. Головна перевага методу покриттів полягає в тому, що він дає змогу наземними методами з використанням невеликих і аматорських телескопів отримати з високою кутовою роздільною здатністю інформацію про розміри об'єктів Сонячної системи та параметри зір, які покриваються. Для зір, які покриваються, можна встановити кратність або за умови реєстрації дифракційної картини визначити їх кутовий розмір [10]. Другий клас об'єктів, які покривають зорі, — це комети. Для комет, крім стандартних задач визначення форми і розмірів ядра, є також задача дослідження розподілу речовини у внутрішній комі комети. При цьому

можна отримати інформацію про структурні особливості у навколоядерній області (джети, оболонки, опахала), про активні ділянки на поверхні ядра комети та визначення альbedo пилових частинок у кометній комі [7, 9]. Для всього комплексу подібних задач в Головній астрономічній обсерваторії Національної академії наук України (ГАО НАН України) спільно з Астрономічною обсерваторією Київського національного університету імені Тараса Шевченка (АО КНУ) було створено комплекс для спостереження покриттів зір тілами Сонячної системи [1].

Синхронні спостереження покриття зорі з декількох пунктів мають більшу інформативність і достовірність результатів. Тому спочатку було проведено роботу щодо виявлення можливості і перспективності подібних досліджень. Щоб збільшити кількість пунктів, було запропоновано іншим астрономічним установам і аматорам приєднатися до спостережень покриттів для створення української мережі спостерігачів. В результаті було створено групу спостерігачів покриттів, які виявили бажання брати участь в спостереженнях. Нижче описано пункти, які приєдналися до групи спостерігачів покриттів, та апа-

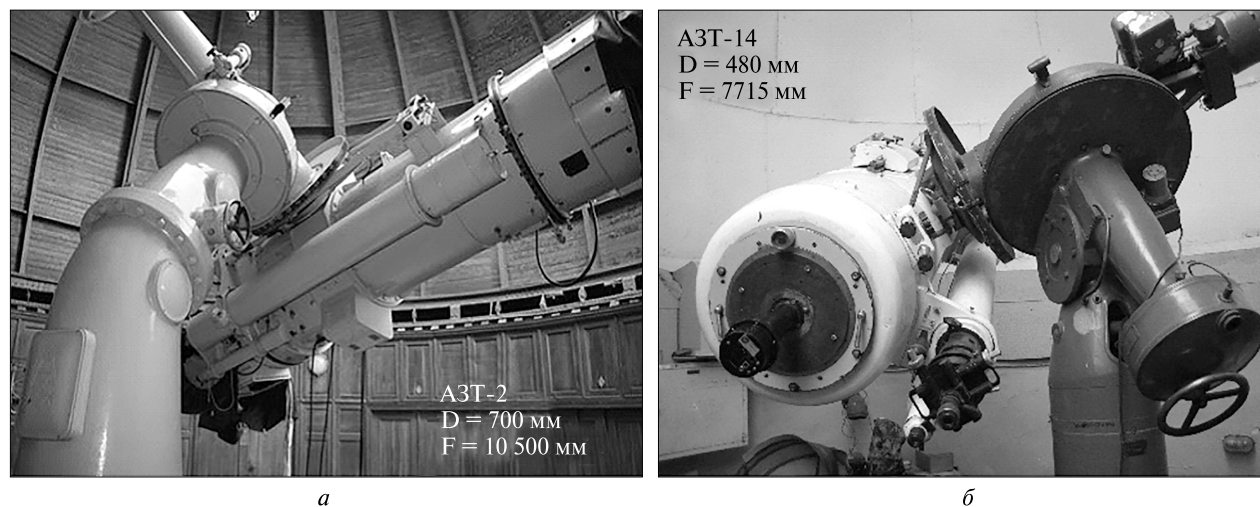


Рис. 1. Телескопи АЗТ-2 ГАО НАН України (а) і АЗТ-14 на станції в с. Лісники (б), на яких використовується комплекс для спостережень покриттів

ратура, яка використовується для спостережень у даних пунктах.

**Київська група.** Київська група представлена співробітниками ГАО НАН України і АО КНУ. Для спостережень покриттів розроблено та створено апаратно-програмний комплекс для телескопів з довгим фокусом [1]. У фокальну площину довгофокусного телескопа поміщається оптичний редуктор з блоком *BVRI*-світлофільтрів. Даний редуктор укорочує фокусну відстань телескопа у 4.5 раз, тим самим значно збільшуючи відносний отвір телескопа. Таке перетворення фокуса значно збільшує чутливість і поле зору комплексу. У ролі приймача зображення використовується ПЗЗ-камера Arroyo Alta U47 (1024 × 1024 пкл, розмір пікселя 13 × 13 мкм). Для запису явищ покриттів в ній використовується режим синхронного переносу заряду (TDI).

Даний апаратний комплекс для спостереження покриттів зір використовується на стаціонарних довгофокусних телескопах АЗТ-2 (ГАО НАНУ, код 083,  $D = 700$  мм,  $F = 10500$  мм) та АЗТ-14 (станція у с. Лісники, код 585,  $D = 480$  мм,  $F = 7715$  мм) (рис. 1).

Без блоку оптичного редуктора апаратно-програмний комплекс використовується для спостережень покриттів зір на телескопі «Mirage 7» системи Шмідта — Касегрена ( $D = 180$  мм,

$F = 1800$  мм), який розташовано на території АО КНУ (код 085) у м. Києві.

**Мобільний астрономічний комплекс.** Для можливості проведення спостережень в найбільш імовірній зоні та отримання додаткових пунктів до стаціонарно встановлених телескопів на базі ГАО НАН України розроблено та виготовлено мобільний астрономічний комплекс для спостережень покриттів зір небесними об'єктами [6]. Структурну схему мобільного комплексу показано на рис. 2. До мобільного комплексу входять:

- короткофокусний телескоп з автоматичною системою наведення на небесні об'єкти та механізмом точного часового ведення;
- блок світлофільтрів;
- CMOS- або ПЗЗ-камера;
- керуючий комп'ютер;
- GPS-приймач;
- система живлення приладів та електронних вузлів комплексу;
- перетворювач DC/AC 12В/220В;
- бортовий автомобільний акумулятор;
- автомобіль.

Телескоп виготовлено за системою Ньютона. Дзеркало телескопа має діаметр 203 мм та фокусну відстань 1200 мм. В мобільному астрономічному комплексі використано комп'ютеризоване екваторіальне монтування Sky-Watcher EQ-5 із

системою GOTO. За допомогою пульта керування з системою SynScan здійснюється наведення телескопа на потрібний небесний об'єкт або на ділянку неба з відповідними координатами. Ручний пульт керування має можливість приєднатися до комп'ютера, що дає змогу керувати монтуванням за допомогою поширених програм-планетаріїв. У передфокальній площині телескопа встановлено блок стандартних BGR-світлофільтрів. Як приймач зображення може використовуватися та сама ПЗЗ-камера Arpocce Alta U47 в режим TDI з GPS-приймачем, описаним в роботах [1, 5]. Крім цієї камери, можуть використовуватися CMOS-камери Atik 16 (752 × 582 пікселів розміром 8.6 × 8.3 мкм) або SXVF-M7 (752 × 582 пікселів розміром 8.3 × 8.3 мкм). Для цих камер використовується інший метод запису явища покриття. Під час спостережень за допомогою CMOS- або ПЗЗ-камер, які не мають TDI-режиму, реєстрація покриття відбувається у вигляді послідовності кадрів у fits- або tiff-форматах.

Система живлення інтегрує в собі адаптери живлення всіх пристроїв мобільного астрономічного комплексу. Вхідною напругою для системи є змінна напруга 220 В, яка виробляється перетворювачем DC/AC 12В/220В. Перетворювач виготовлено на базі блока UPS моделі BNT 600A шляхом доробки і модернізації. Бортовий акумулятор автомобіля Daewoo Lanos 1.5 використовується як джерело живлення перетворювача DC/AC 12В/220В.

Проведено декілька сеансів тестових спостережень з метою визначення основних параметрів мобільного астрономічного комплексу та уточнення методики спостережень. Для цього були проведені спостереження скупчення NGC 6709. Після обробки отримано такі результати: масштаб зображення — 2.1"/пкл, поле зору з ПЗЗ-камерою Arpocce Alta U47 — 37.5'. Якість зображення відповідає розміру зображення зорі 2.3...2.5 пкл. Завдяки своїй мобільності астрономічний комплекс дає можливість проводити спостереження великої кількості явищ покриттів, територіально не прив'язуючись до окремих пунктів, на відміну від стаціонарно встановлених телескопів.

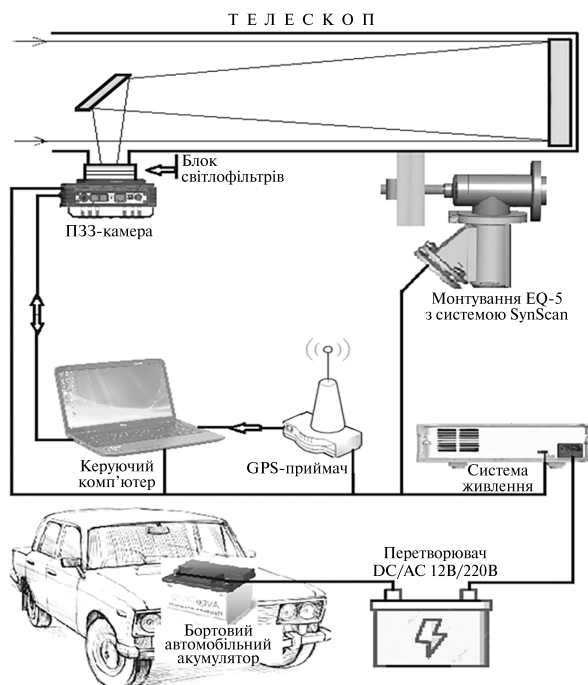


Рис. 2. Структурна схема мобільного астрономічного комплексу

**Пункти спостережень Астрономічної обсерваторії Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова.** До спостережень покриттів зір небесними об'єктами долучилися астрономи Астрономічної обсерваторії Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова. Для цих спостережень використовуються спостережні інструменти станцій Маяки та Крижанівка (рис. 3). На станції Маяки (код 583) використовується телескоп системи Річі — Кретьєна ОМТ-800 ( $D = 800$  мм,  $F = 2134$  мм) з CMOS-камерою QHY174M GPS. Камера має кількість пікселів 1920 × 1200, розмір пікселя 5.86 × 5.86 мкм. Лінійний розмір матриці 11.25 × 7.03 мм, що на даному телескопі забезпечує поле зору 18.1' × 11.3', масштаб 0.56"/пкл. Ця камера добре підходить для організації спостережень покриттів, оскільки має вбудований GPS-приймач, який фіксує моменти початку і тривалості експозиції з точністю до часток мікросекунд.

Технічне забезпечення станції Крижанівка (код А85) для спостереження покриттів вклю-



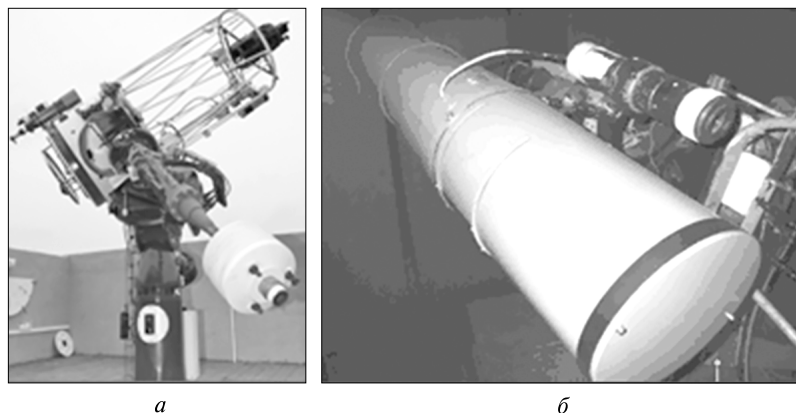


Рис. 3. Інструменти, що використовуються в Одеській обсерваторії для спостережень покриттів: а — телескоп ОМТ-800 станції Маяки, б — телескоп системи Шмідта станції Крижанівка

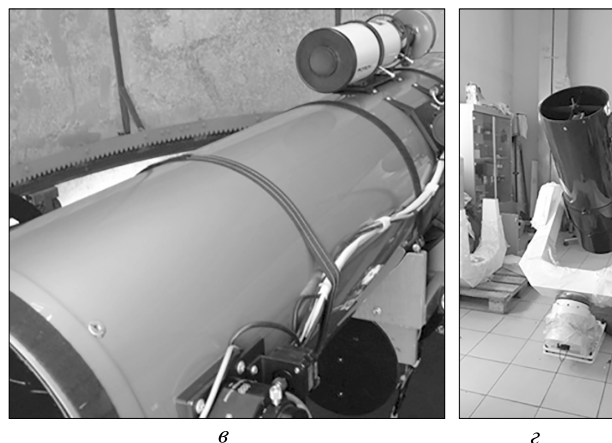
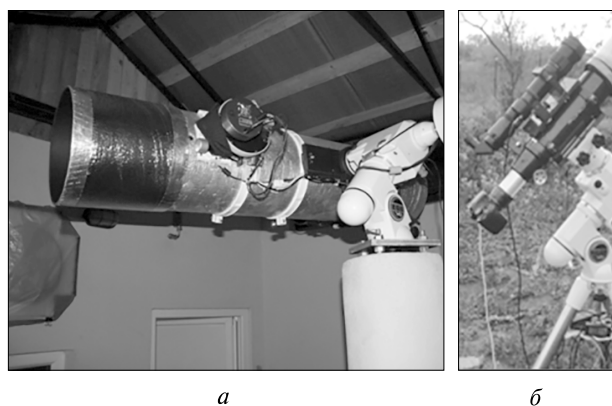


Рис. 4. Зовнішній вигляд аматорських телескопів, що використовують для спостереження покриттів: а — приватна астрономічна обсерваторія L33, б — станція смт. Петрівка, в — приватна астрономічна обсерваторія L58, з — Лозівська шкільна астрономічна обсерваторія

чає телескоп системи Шмідта ( $D = 271.25$  мм,  $F = 440$  мм), GPS-приймач і камеру «ВІДЕО-СКАН-415-2001». Камера має  $580 \times 768$  пікселів, масштаб  $3.87''/\text{пкл}$  і поле зору  $37' \times 50'$ .

До спостережень покриттів зір астероїдами залучено також певні групи аматорів астрономії з відповідним технічним забезпеченням.

#### Приватна астрономічна обсерваторія L33.

Обсерваторія розташована у м. Ананьїв Одеська обл. ( $\lambda = 29^{\circ}57'16''$ ,  $\phi = 47^{\circ}44'01''$ ). Вона брала участь в астрономічних спостереженнях, і їй присвоєно код L33. Для спостережень використовується телескоп системи Ньютона  $D = 250$  мм,  $F = 1200$  мм з монтуванням EQ-6 і ПЗЗ-камерою Atik 314L+ (рис. 4, а). Камера має  $1392 \times 1040$  пікселів розміром  $6.45 \times 6.45$  мкм, що забезпечує з даним телескопом масштаб  $1.11''/\text{пкл}$  і поле зору  $25.7' \times 19.2'$ .

**Станція смт. Петрівка** ( $\lambda = 30^{\circ}43'16''$ ,  $\phi = 46^{\circ}55'01''$  Одеська обл.). Створено напівмобільну станцію спостережень покриттів, обладнану телескопом системи Ньютона ( $D = 200$  мм,  $F = 800$  мм) з монтуванням NEQ-6 Pro і телескопом Orion ( $D = 80$  мм,  $F = 600$  мм) з системою GOTO SynScan, і камерою QHY5III462C  $1920 \times 1080$  пікселів та GPS-приймачем (рис. 4, б).

#### Приватна обсерваторія «Небесна Сова» L58.

Обсерваторія розміщується у смт. Великодолинське Одеської обл. ( $\lambda = 30^{\circ}34'15''$ ,  $\phi = 46^{\circ}19'52''$ ). Технічне забезпечення спостережної станції: телескоп Ньютона  $D = 300$  мм з фокусом  $1575$  мм і камерою Atik 314L моно з розміром пікселя

6.45 × 6.45 мкм. При спостереженнях використовується комплект ширококугових *BVR*-світлофільтрів (рис. 4, *в*).

**Лозівська шкільна астрономічна обсерваторія** ( $\lambda = 25^{\circ}60'16''$ ,  $\phi = 49^{\circ}59'94''$  Тернопільська обл.) Це стаціонарна станція, оснащена телескопом системи Ньютона ( $D = 365$  мм,  $F = 1470$  мм, світ-

лосила 1:4). Монтування вилочне — WSF 240 (рис. 4, *з*). CMOS-камера Orion Starshoot з кількістю пікселів  $4128 \times 2808$  розміром  $4.6 \times 4.6$  мкм, що відповідає масштабу  $0.65''/\text{пкл}$  і полю зору  $44.7' \times 30.4'$ .

На рис. 4 зображено зовнішній вигляд аматорських телескопів, а у табл. 1 наведено узагальне-

Таблиця 1. Зведені дані про інструменти для спостережень покриттів зір

| Обсерваторія, група  | Станція місцезнаходження | Телескоп                                  | Монтування            | Камера   |
|--|--------------------------|---|-----------------------|--|
| Київська група (ГАО НАН України, АО КНУ)   | ГАО НАН України          | A3T-2<br>$D = 700$ мм<br>$F = 10500$ мм   | Екваторіальне         | Apogee Alta U47<br>$1024 \times 1024$ пкл + оптичний редуктор  |
|  | Лісники                  | A3T-14<br>$D = 480$ мм<br>$F = 7715$ мм   | Екваторіальне         | Apogee Alta U47<br>$1024 \times 1024$ пкл + оптичний редуктор  |
|  | АО КНУ                   | Mirage 7<br>$D = 180$ мм<br>$F = 1800$ мм | Екваторіальне         | Apogee Alta U47<br>$1024 \times 1024$ пкл  |
|  | Мобільний комплекс       | Ньютон<br>$D = 203$ мм<br>$F = 1200$ мм   | Екваторіальне         | Apogee Alta U47<br>$1024 \times 1024$ пкл,<br>SXVF-M7 $752 \times 582$ пкл,<br>Atik 16<br>$752 \times 582$ пкл |
| Астрономічна обсерваторія Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова | Маяки                    | OMT-800<br>$D = 800$ мм<br>$F = 2134$ мм  | Екваторіальне         | QHY174M GPS<br>$1920 \times 1200$ пкл  |
|  | Крижанівка               | Шмідт<br>$D = 271.25$ мм<br>$F = 440$ мм  | Екваторіальне         | ВІДЕОСКАН-415-2001<br>$580 \times 768$ пкл   |
| Приватна обсерваторія L33  | м. Ананьїв               | Ньютон<br>$D = 250$ мм<br>$F = 1200$ мм   | EQ-6                  | Atik 314L+<br>$1392 \times 1040$ пкл   |
| Приватна обсерваторія L58  | сmt. Великодолинське     | Ньютон<br>$D = 300$ мм<br>$F = 1575$ мм   | Вилочне екваторіальне | Atik 314L mono<br>$1392 \times 1040$ пкл   |
| Аматорська станція   | сmt. Петрівка            | Ньютон<br>$D = 200$ мм<br>$F = 800$ мм    | NEQ-6 Pro             | QHY5III462C<br>$1920 \times 1080$ пкл  |
|  |                          | Orion<br>$D = 80$ мм<br>$F = 600$ мм      |                       |  |
| Лозівська ЗОШ I-III ст.  | с. Лозова                | Ньютон<br>$D = 365$ мм<br>$F = 1470$ мм   | Вилочне WSF 240       | Orion Starshoot<br>$4128 \times 2808$ пкл  |

ні характеристики інструментів станцій спостережень.

Робота із залучення аматорів до мережі спостерігачів покриттів триває. Збільшення кількості пунктів дасть змогу спостерігати більшу кількість явищ покриттів та покращити відомості про розміри та форму астероїдів.

#### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ УКРАЇНСЬКИХ СПОСТЕРІГАЧІВ ПОКРИТТІВ

В результаті роботи спостерігачів України виконано кілька спостережень покриттів. Було зареєстровано покриття зорі HD 45314 кометою 21P/Джакобіні — Ціннер 21 вересня 2018 р. [7]. Характер фотометричної кривої свідчив про проходження зорі через джет, оскільки спостерігалася стрибкоподібна зміна яскравості. Наявність джету у відповідному положенні також підтверджується в роботі [4]. Геометричні обставини проходження зорі покриття відповідають відстаням джету у межах 160...350 км від ядра комети і кута розкриття  $54.6^\circ$ . Аналіз фотометричних характеристик дав змогу визначити оптичну товщину речовини джету  $0.035 \pm 0.012$  та альbedo пилових частинок джету 0.04...0.06.

Також 31 березня 2019 р. було зареєстровано в Астрономічній обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка покриття астероїдом (259) Алетея зорі UCAC4-475-051755 [7]. Тривалість покриття становила 17.3 с, що відповідає довжині хорди 185 км. Це значення перевищує оцінку діаметра астероїда 179 км [13]. З урахуванням фотометричних оцінок змінності яскравості астероїда зроблено висновок, що астероїд (259) Алетея має еліптичну форму з відношенням осей 1:1.19.

Покриття зорі TYS 1280-832-1 астероїдом (486) Кремона спостерігалася 5 грудня 2019 р. в Астрономічній обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка [8]. Розроблено теоретичну модель для покриття при використанні ПЗЗ-камери в режимі синхронного переносу заряду з урахуванням дифракційних явищ для уточнення параметрів астероїда. Застосування цієї моделі дозволило інтерпретувати фотометричну криву як реєстрацію дотичного покриття з часткою не-

закритої площі зорі  $48 \pm 15 \%$  у максимальній фазі.

Покриття зорі UCAC4 516-047388 астероїдом (853) Нансенія відбулося 8 квітня 2021 р. на станції Крижанівка. Зоря UCAC4 516-047388 мала зоряну величину  $m_V = 14.2^m$ . Тому під час спостережень з порівняно невеликим діаметром телескопа довелося робити велику експозицію тривалістю в 5 с, що перевищує максимальну тривалість покриття 2.8 с. Проте запропонований підхід дав можливість отримати корисну інформацію навіть і цій ситуації. Обробка цього спостереження показала, що покриття мало місце, тривалість покриття становила  $2.0 \pm 1.2$  с.

#### ОБГОВОРЕННЯ ТА ВИСНОВКИ

Ініціативна група співробітників двох київських обсерваторій розпочала розробку апаратури для спостереження покриттів в 2018 р. Але на самому початку зрозуміло виникла потреба організації більшої кількості пунктів спостережень, що дало б змогу підвищити достовірність отриманих результатів. Тому було поширено інформацію серед аматорів про задачі і методи спостережень покриттів. Для тих, хто вирішив приєднатися, налагоджено надсилання повідомлень з ефемеридами подій. Для цього використовується програма OccultWatcher розробки Христо Павлова (<http://www.occultwatcher.net>). До неї надходить інформація від різних сайтів, які виставляють ефемериди покриттів та додаткову інформацію про об'єкти. Також прийнято рішення про налагодження стандартної служби часу спостережень покриттів на базі GPS-приймача та програми контролю системного часу комп'ютера, який використовується під час спостережень, власної розробки [5]. Розроблено набір програм для обробки даних спостережень покриттів, які отримувалися на різних камерах у різних форматах і різними методами. Більшість телескопів, що використовуються під час спостережень, мають невеликі розміри дзеркал. Це означає, що головним чином можна спостерігати покриття зір до 12-ї зоряної величини з експозиціями 0.3...0.5 с. Стационарні телескопи професійних обсерваторій розширюють цей діапазон до 14-ї зоряної величини. У випадку спостережень по-

криттів транснептуновими об'єктами (TNO), коли можуть використовуватися тривалі експозиції, можна буде побачити покриття зір до 16-17-ї зоряної величини. Кількість результативних спостережень покриттів при даних технічних можливостях можна розширити через збільшення кількості пунктів, або покращити ефемеридне забезпечення за рахунок збільшення кількості астероїдів, для яких проводяться ефемеридні розрахунки обставин покриттів. Як правило, це стосується менш яскравих астероїдів, для яких орбіти відомі з більшими похибками. Але під час роботи місії GAIA отримано масив дуже точних положень астероїдів, що значною мірою покращить орбіти відомих астероїдів [14]. Тому ми розраховуємо на збільшення кількості розрахованих ефемерид покриттів, доступних на території України.

Підсумовуючи, можна зробити такі висновки.

1. Розпочато створення української мережі спостерігачів покриттів і її розширення.
2. Проводиться систематична робота із забезпечення спостерігачів покриттів ефемеридами та уніфікацією служби часу.
3. На прикладах вдалих реєстрацій продемонстровано можливості апаратури та спостерігачів покриттів.
4. Розроблено методику та програмне забезпечення для обробки спостережень з різною апаратурою та форматами збереження даних.

*Ця робота частково була підтримана грантом Міністерства освіти і науки України для перспективного розвитку наукового напрямку «Математичні науки та природничі науки» у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка.*

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Карбовський В., Клещонюк В., Буромський М. Програмний та апаратний комплекс для спостереження покриття зір астероїдами. *Вісник Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Астрономія*. 2017. **56**, № 2. С. 41—44.
2. Клещонюк В. В., Карбовський В. Л., Буромський М. І. *Тестові спостереження на астрономічному комплексі для покриттів зір астероїдами та кометами та їх результати*. Матер. наук. конф. «Астрономія і сьогодення». Вінниця: ДПУ ім. М. Коцюбинського, 2019. С. 13—17.
3. Braga-Ribas F., Sicardy B., Ortiz J. L., et al. A ring system detected around the Centaur (10199) Chariklo. *Nature*. 2014. **508** (7494). P. 72—75.
4. Chornaya E., Zubko E., Luk'yanyk I., et al. Imaging polarimetry and photometry of comet 21P/Giacobini-Zinner. *Icarus*. 2020. **337** (113471).
5. Kleshchonok V. V., Kaminsky S. V., Karbovsky V. L., Buromsky M. I. *GPS system of accurate time for tv observations*. 6-th Gamow Int. Conf. "New Trends in Cosmology, Astrophysics and HEP after Gamow". Odessa, 2019. Abstract book. P. 49—50.
6. Kleshchonok V. V., Karbovsky V. L., Lashko M. V., Buromsky M. I. *New mobile complex for observation of occultation*. Int. Conf. "Astronomy and Space Physics in the Kyiv University". Kyiv, 2020. Book of Abstracts. P. 66.
7. Kleshchonok V. V., Karbovsky V. L., Buromsky M. I., Lashko M. V. Observation of Stellar Occultations by Asteroid (259) Alethea and Comet 21P/Jacobini — Zinner. *Kinematics and Phys. Celestial Bodies*. 2021. **37** (1). P. 71—88.
8. Kleshchonok V. V., Karbovsky V. L., Buromsky M. I., Lashko M. V. Observation of the Grazing Occultation of the TYC 1280-832-1 Star by the Asteroid (486) Cremona. *Kinematics and Phys. Celestial Bodies*. 2021. **37** (3). P. 58—67.
9. Larson S. M., A'Hearn M. F. Comet Bowell (1980b) — Measurement of the optical thickness of the coma and particle albedo from a stellar occultation. *Icarus*. 1984. **58**. P. 446—450.
10. Richichi A., Calamai G., Leinert C. New binary stars discovered by lunar occultations. *Astron. and Astrophys.* 1994. **286**. P. 829—837.
11. Rommel F. L., Braga-Ribas F., Desmars J., et al. Stellar occultations enable milliarcsecond astrometry for Trans-Neptunian objects and Centaurs. *Astron. and Astrophys.* 2020. **644**. A40.
12. Tanga P., Delbo M. Asteroid occultations today and tomorrow: toward the GAIA era. *Astron. and Astrophys.* 2007. **474**. P. 1015—1022.
13. Tedesco E. F., Noah P. V., Noah M. C., Price S. D. IRAS Minor Planet Survey. *NASA Planetary Data System. IRAS-A-FPA-3-RDR-IMPS-V6.0* (2004).
14. Spoto F., Tanga P., Mignard F., et al. Gaia Data Release 2. Observations of solar system objects. *Astron. and Astrophys.* 2018. **616**. A13.



## REFERENCES

1. Karbovsky V., Kleshchonok V., Buromsky M. (2017). Software and hardware complex for observation of star occultations by asteroids. *Bull. Taras Shevchenko Nat. Univ. Kyiv, Astronomy*, **56**, № 2, 41–44 [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.17721/BTSNUA.2017.56.41-44>.
2. Kleshchonok V. V., Karbovsky V. L., Buromsky M. I. (2019). Test observations on the astronomical complex for the detection of stars by asteroids and comets and their results. Proc. of sci. conf. “Astronomy and the present”. Vinnytsia: State Pedagogical Univ. named after M. Kotsyubynskyi, 13–17.
3. Braga-Ribas F., Sicardy B., Ortiz J. L., et al. (2014). A ring system detected around the Centaur (10199) Chariklo. *Nature*, **508** (7494), 72–75.
4. Chornaya E., Zubko E., Luk'yanyk I., et al. (2020). Imaging polarimetry and photometry of comet 21P/Giacobini-Zinner. *Icarus*, **337** (113471).
5. Kleshchonok V. V., Kaminsky S. V., Karbovsky V. L., Buromsky M. I. (2019). *GPS system of accurate time for tv observations*. 6-th Gamow Int. Conf. “New Trends in Cosmology, Astrophysics and HEP after Gamow”. Odessa, Abstract book. P. 49–50
6. Kleshchonok V. V., Karbovsky V. L., Lashko M. V., Buromsky M. I. (2020). *New mobile complex for observation of occultation*. Int. Conf. “Astronomy and Space Physics in the Kyiv University”. Book of Abstracts. Kyiv, 66.
7. Kleshchonok V. V., Karbovsky V. L., Buromsky M. I., Lashko M. V. (2021). Observation of Stellar Occultations by Asteroid (259) Alethea and Comet 21P/Jacobini – Zinner. *Kinematics and Phys. Celestial Bodies*, **37** (1), 71–88.
8. Kleshchonok V. V., Karbovsky V. L., Buromsky M. I., Lashko M. V. (2021). Observation of the Grazing Occultation of the TYC 1280-832-1 Star by the Asteroid (486) Cremona. *Kinematics and Phys. Celestial Bodies*, **37** (3), 58–67.
9. Larson S. M., A'Hearn M. F. (1984). Comet Bowell (1980b) — Measurement of the optical thickness of the coma and particle albedo from a stellar occultation. *Icarus*, **58**, 446–450.
10. Richichi A., Calamai G., Leinert C. (1994). New binary stars discovered by lunar occultations. *Astron. and Astrophys.*, **286**, 829–837.
11. Rommel F. L., Braga-Ribas F., Desmars J., et al. (2020). Stellar occultations enable milliarcsecond astrometry for Trans-Neptunian objects and Centaurs. *Astron. and Astrophys.*, **644**, A40.
12. Tanga P., Delbo M. (2007). Asteroid occultations today and tomorrow: toward the GAIA era. *Astron. and Astrophys.*, **474**, 1015–1022.
13. Tedesco E. F., Noah P. V., Noah M. C., Price S. D. (2004). *IRAS Minor Planet Survey*. NASA Planetary Data System. IRAS-A-FPA-3-RDR-IMPS-V6.0.
14. Spoto F., Tanga P., Mignard F., et al. (2018). Gaia Data Release 2. Observations of solar system objects. *Astron. and Astrophys.*, **616**, A13.

Стаття надійшла до редакції 03.09.2021

Після доопрацювання 29.06.2022

Прийнято до друку 30.06.2022

Received 03.09.2021

Revised 29.06.2022

Accepted 30.06.2022

V. V. Kleshchonok<sup>1</sup>, senior researcher, Ph.D. in Phys.&Math.

ORCID.org/0000-0002-4832-371X

E-mail: klev@knu.ua

V. L. Karbovsky<sup>2</sup>, research fellow

E-mail: karb1234@ukr.net

M. I. Buromsky<sup>1</sup>, leading engineer

E-mail: nburomsky@ukr.net

M. V. Lashko<sup>2</sup>, research fellow, Ph.D. in Pedagogics

E-mail: mykhaylo.lashko@gmail.com

Yu. M. Gorbanev<sup>3</sup>, senior researcher, Ph.D. in Phys.&Math.

E-mail: skydust@ukr.net

V. I. Kashuba<sup>3</sup>, research fellow

E-mail: v.kashuba@onu.edu.ua

C. R. Kimakovskiy<sup>3</sup>, observer-specialist

E-mail: keysunai@gmail.com

V. I. Shavlovskiy<sup>2</sup>, research fellow

E-mail: svitaly@mao.kiev.ua

O. V. Angelskiy<sup>4</sup>, observer-specialist

E-mail: a.v.angelsky@gmail.com

V. S. Tsekhmeistrenko<sup>5</sup>, observer-specialist

E-mail: astronom\_tvs@ukr.net

N. N. Myshevskiy<sup>6</sup>, observer-specialist

E-mail: nikastro@ukr.net

A. V. Revun<sup>7</sup>, observer-specialist

E-mail: lsao@ukr.net

<sup>1</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv, Astronomical Observatory

3, Observatorna Str., Kyiv, 04053 Ukraine

<sup>2</sup> Main Astronomical Observatory of National Academy of Sciences of Ukraine

27, Akademik Zabolotny Str., Kyiv, 03143 Ukraine

<sup>3</sup> Research Institute «Astronomical Observatory», Odesa National I. I. Mechnikov University

1v, Marazliyivska Str. (T. G. Shevchenko Park), Odesa, 65014 Ukraine

<sup>4</sup> Odessa Society of Astronomy Amateurs «Astrodes»

1v, Marazliyivska Str. (T.G. Shevchenko Park), Odesa, 65014 Ukraine

<sup>5</sup> Private Astronomical Observatory L58 «Heavenly Owl»

32, Agronavtiv Str., Velykodolynske town, Ovidiopol district, Odesa region, 67832 Ukraine

<sup>6</sup> Private Astronomical Observatory L33

114, Nezalezhnosti Str., Ananiiv, Odesa region, 66400 Ukraine

<sup>7</sup> Lozova School Astronomical Observatory

61, Hrushevskoho Str., Educational Complex «Lozova I-III Grade Elementary School – Preschool Nursery»

Lozova village, Ternopil district, Teropil region, 47706 Ukraine

#### OCCULTATION OF STARS BY SMALL PLANETS OF THE SOLAR SYSTEM:

#### THE STATE OF OBSERVATION PROGRAMS IN UKRAINE

Observations of stars' occultations by small bodies of the Solar system allow solving of a series of problems described in this article. The Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine, together with the Astronomical Observatory of the Taras Shevchenko National University of Kyiv, created a software and hardware complex for observing the star coatings with long-focus telescopes. The complex uses a highly sensitive Apogee Alta U47 CCD camera in time delay integration (TDI) mode. It also includes a focus reducer with a block of light filters. The stationary variant of the complex can be used on the AZT-2 telescope of MAO NAS of Ukraine and the AZT-14 of the Lesniki observation station. The mobile complex is also made on the basis of the telescope of Newton's system ( $D = 203$  mm,  $F = 1200$  mm) and the computerized installation of Sky-Watcher EQ-5 with the GOTO system for field observations. The worth of occultation observations increases significantly when using several observation points. To this end, we have initiated the gathering of the group of observers and their instrumentation from Ukrainian astronomical institutions, both professional and amateur. The Odesa Astronomical Observatory is presented in the group by the Richie-Chrétien telescope OMT-800 ( $D = 800$  mm,  $F = 2134$  mm) with the CCD camera QHY174M

GPS at the Mayaki station and Schmidt system telescope ( $D = 271.25$  mm,  $F = 440$  mm) with the “VIDEO SCAN-415-2001” camera at the Kryzhanivka station. The group also includes several amateur observatories. Among them, there are stations in the village of Petrovka in the Odesa region, the astronomical observatory of Lozova school in the Ternopil region, private astronomical observatory L33 at Ananiiv, the Odesa region, and private observatory L58 “Heavenly Owl” in the town of Velikodolinskoye, the Odesa region. A description of the equipment used in these observation points and several examples of effective observations of occultations obtained by this group are given.

**Keywords:** star occultation, equipment for occultation observations.