

УДК 520.52
УКПП 82000
№ держреєстрації 0118U003858
Інв. №

Національна академія наук України
Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень
(МЦ АМЕД)
03143 м. Київ, вул. Заболотного, 27;
тел/факс (044) 526 22 86

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Заступник директора МЦ АМЕД НАН України
к.т.н., с.н.с.
_____ О.В. Сергеев

22 листопада 2018 р.

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
НАЗЕМНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ КОСМІЧНИХ ОБ’ЄКТІВ У РАМКАХ
МІЖНАРОДНОЇ МІСІЇ *GAIА*
(проміжний)

Керівник НДР
с.н.с., д.ф.-м.н.

В.К.Тарадій

2018

Рукопис закінчено 20 листопада 2018 р.

Результати цієї роботи розглянуто науково-технічною радою МЦ АМЕД,
протокол від 22 листопада 2018 р. № 3

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник НДР
пр.н.с., д.ф.-м.н.

В.К. Тарадій
(вступ, розд.1,2)

Відповідальний виконавець
зав.від., с.н.с. к.т.н.

О.В.Сергеев
(розд. 1, висновки)

Старший науковий співробітник

В.Г. Годунова
(реферат, розд.1,2)

Науковий співробітник

А.О.Сімон
(розд.1,2)

Науковий співробітник
к.ф.-м.н.

В.М.Решетник
(розд.2)

Старший науковий співробітник
к.ф.-м.н.

Г.З.Бутенко
(висновки, розд.2)

Молодший науковий співробітник

В.А.Козлов
(розд.2)

Науковий співробітник

Ю.Я.Буфан
(розд.2)

Провідний інженер

І.О.Ізвєкова
(розд.2)

РЕФЕРАТ

Звіт з НДР: 21 стор., 12 рис., 2 табл., 3 джерела.

КОСМІЧНІ АПАРАТИ, НАВКОЛОЗЕМНІ ОБ'ЄКТИ, АСТЕРОЇДИ,
АСТРОНОМІЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ, АСТРОМЕТРІЯ ТА ФОТОМЕТРІЯ
НЕБЕСНИХ ТІЛ, GAIA

Об'єкти дослідження – космічний зонд Gaia, навколоземні об'єкти.

Мета роботи - наземний моніторинг космічних об'єктів, виявлених міжнародною місією Gaia, з метою відстеження їхніх орбіт (включаючи сам космічний зонд Gaia) та дослідження фізичних характеристик малих тіл у навколоземному просторі.

Методи дослідження - проведення фотометричних та позиційних спостережень об'єктів, математична обробка даних.

На телескопах Цейс-600 та Цейс-2000 обсерваторії МЦ АМЕД НАНУ на піку Терскол у 2018 р.

- a) проведено декілька сеансів позиційних спостережень космічного зонду Gaia та визначено його координати з точністю 0.09 кутових секунд.
- b) здійснено пошук та відстеження 4 нових астероїдів, виявлених міжнародною місією Gaia.
- c) проведено позиційні та фотометричні спостереження 11 астероїдів, серед яких 9 є потенційно небезпечними астероїдами, а 3 об'єкти входять до списку NHATS космічних місій NASA.

Виконано обробку та аналіз даних спостережень, результати (координати, блиск об'єктів) оперативно передавались до Центру малих планет Міжнародного астрономічного союзу (IAU Minor Planet Center), центрів координації робіт місії Gaia та для публікації у бюлетенях міжнародних спеціалізованих служб.

Розробки впроваджено на всіх задіяних програмно-апаратних комплексах та застосовуються в обсерваторіях, які здійснюють моніторинг космічних апаратів та об'єктів Сонячної системи.

З М І С Т

Вступ	5
1. Позиційні спостереження космічного зонду <i>Gaia</i>	6
2. Моніторинг малих тіл Сонячної системи	8
2.1. Пошук та відстеження астероїдів, виявлених у рамках проекту <i>Gaia</i>	8
2.1.1. Астероїди GBOT	9
2.1.2. Астероїди, виявлені космічним телескопом <i>Gaia</i>	10
2.2. Моніторинг та визначення параметрів навколоземних астероїдів	14
Висновки	19
Перелік посилань	20
Додаток А. Публікації за результатами НДР	21

ВСТУП

Космічна місія *Gaia* є найбільшим міжнародним астрометричним проектом, втіленим у життя Європейською космічною агенцією ESA. Активну роботу космічний телескоп розпочав у червні 2014 р. Для забезпечення стабільної роботи необхідно здійснювати постійний моніторинг положення та орієнтації апарату у космічному просторі. Коригування здійснюються на основі спостережень наземних телескопів. Зонд виведено на орбіту поблизу другої точки Лагранжа (L2), що розташована на відстані близько 1,5 мільйонів кілометрів від Землі в протилежному від Сонця напрямі, тому цей об'єкт доступний для спостережень лише телескопам з діаметром від 2 метрів. Його блиск коливається у межах 21-22-ї зоряної величини.

Gaia вносить значний доробок щодо оцінки кількості малих тіл Сонячної системи. Цьому сприяє, зокрема, здатність космічного телескопа відшукувати астероїди в недоступних для наземних спостережень зонах, наприклад, всередині орбіти Землі. Для розгляду проблеми астероїдно-кометної безпеки важливо знати походження космічних тіл у навколосемному просторі та закони еволюційного розвитку таких об'єктів, особливо з урахуванням того факту, що нерідко відбувається швидка еволюції як самих об'єктів, так і їхніх орбіт. Такі зміни необхідно зпрогнозувати заздалегідь, і це потребує тривалих спостережень та поглибленого вивчення природи комет та астероїдів.

Під час роботи місії *Gaia* значна увага приділяється взаємозв'язку та взаємодоповненню результатів, отриманих телескопами зонда та наземними телескопами. Одним із видів такого взаємозв'язку є так званий «follow up» – стеження за щойно відкритим об'єктом чи то подією, що реалізується наземними телескопами. Це є логічним і необхідним продовженням роботи, розпочатої космічною місією, оскільки спостереження космічним телескопом виявлених об'єктів є нетривалим, тому для їх дослідження необхідні верифікація та моніторинг наземними інструментами.

1. ПОЗИЦІЙНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ КОСМІЧНОГО ЗОНДУ *GAIA*

Спостереження космічного зонду *Gaia* ускладнюються тим, що зоряна величина зонду коливається у межах від 20.5 до 22.0 у смузі R, тому відслідковувати положення об'єкта можна лише за допомогою телескопів діаметром 2 і більше метрів. Вимогою до моніторингу зонду є по можливості щоденне (за виключенням декількох днів повної фази Місяця) отримання 15 кадрів у фільтрі R з експозицією 60 с.

Ephemeris :

Telescope : Terskol
Date : Night between 2018-Apr-10 and 2018-Apr-11

GAIA Ephemeris :

#	Date	Time (UTC)	RA_deg	DEC_deg	RA_hms	DEC_dms	RA_Speed (mas/s)	DEC
2018-Apr-10	14:15	213.472235	-8.286347	14:13:53.33	-08:17:10.8	48.792407		
2018-Apr-10	14:30	213.486724	-8.292482	14:13:56.81	-08:17:32.9	56.573323		
2018-Apr-10	14:45	213.500522	-8.298664	14:14:00.12	-08:17:55.1	53.770516		
2018-Apr-10	15:00	213.513609	-8.304887	14:14:03.26	-08:18:17.5	50.894575		
2018-Apr-10	15:15	213.525969	-8.311144	14:14:06.23	-08:18:40.1	47.957629		
2018-Apr-10	15:30	213.537588	-8.317427	14:14:09.02	-08:19:02.7	44.971843		
2018-Apr-10	15:45	213.548455	-8.323731	14:14:11.62	-08:19:25.4	41.949877		
2018-Apr-10	16:00	213.558563	-8.330047	14:14:14.05	-08:19:48.1	38.904733		
2018-Apr-10	16:15	213.567907	-8.336369	14:14:16.29	-08:20:10.9	35.849214		
2018-Apr-10	16:30	213.576487	-8.342690	14:14:18.35	-08:20:33.6	32.796451		
2018-Apr-10	16:45	213.584306	-8.349001	14:14:20.23	-08:20:56.4	29.759506		
2018-Apr-10	17:00	213.591367	-8.355297	14:14:21.92	-08:21:19.0	26.751405		
2018-Apr-10	17:15	213.597681	-8.361570	14:14:23.44	-08:21:41.6	23.785000		
2018-Apr-10	17:30	213.603260	-8.367812	14:14:24.78	-08:22:04.1	20.873160		
2018-Apr-10	17:45	213.608118	-8.374018	14:14:25.94	-08:22:26.4	18.028459		
2018-Apr-10	18:00	213.612274	-8.380179	14:14:26.94	-08:22:48.6	15.263212		
2018-Apr-10	18:15	213.615749	-8.386289	14:14:27.77	-08:23:10.6	12.589416		
2018-Apr-10	18:30	213.618569	-8.392342	14:14:28.45	-08:23:32.4	10.018605		
2018-Apr-10	18:45	213.620759	-8.398332	14:14:28.98	-08:23:53.9	7.562058		

Download Ephemeris: GBOT or PAF Format (obx file (V1) obx file (V2))

Рисунок 1.1. - Ефемериди для знаходження зонду *Gaia* на 10.04.2018 р. (з сайту http://gbot.obspm.fr/index.php?page=FOV&sous_menu=operational).

В обсерваторії Терскол у 2018 р. було проведено декілька сеансів позиційних спостережень космічного зонду *Gaia*. Для знаходження зонду використовувалися ефемериди (Рис. 1.1) та карта (Рис. 1.2) з сайту <http://gbot.obspm.fr>. Цей ресурс належить групі Gaia-GBOT (Gaia Ground Based Optical Tracking), яка є частиною Консорціуму з обробки та аналізу даних (Data Processing and Analysis Consortium – DPAC), що відповідає за наукове керівництво місією Gaia ESA. Група GBOT

керує оптичним відстеженням Gaia. На її сайті публікуються також дані щодо астероїдів, які виявлено під час відстеження зонду, серед них є невідомі, які пропонується відспостерігати для визначення їхніх орбіт (див. розд. 2.1.1).

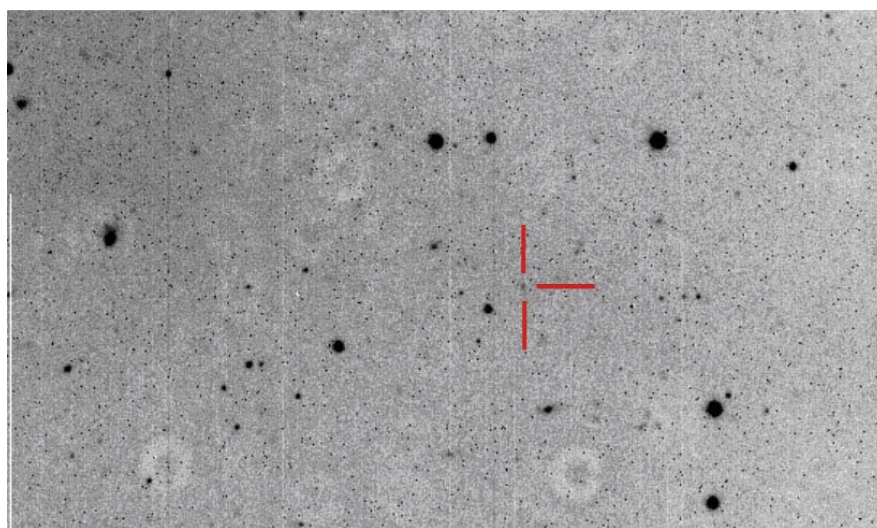
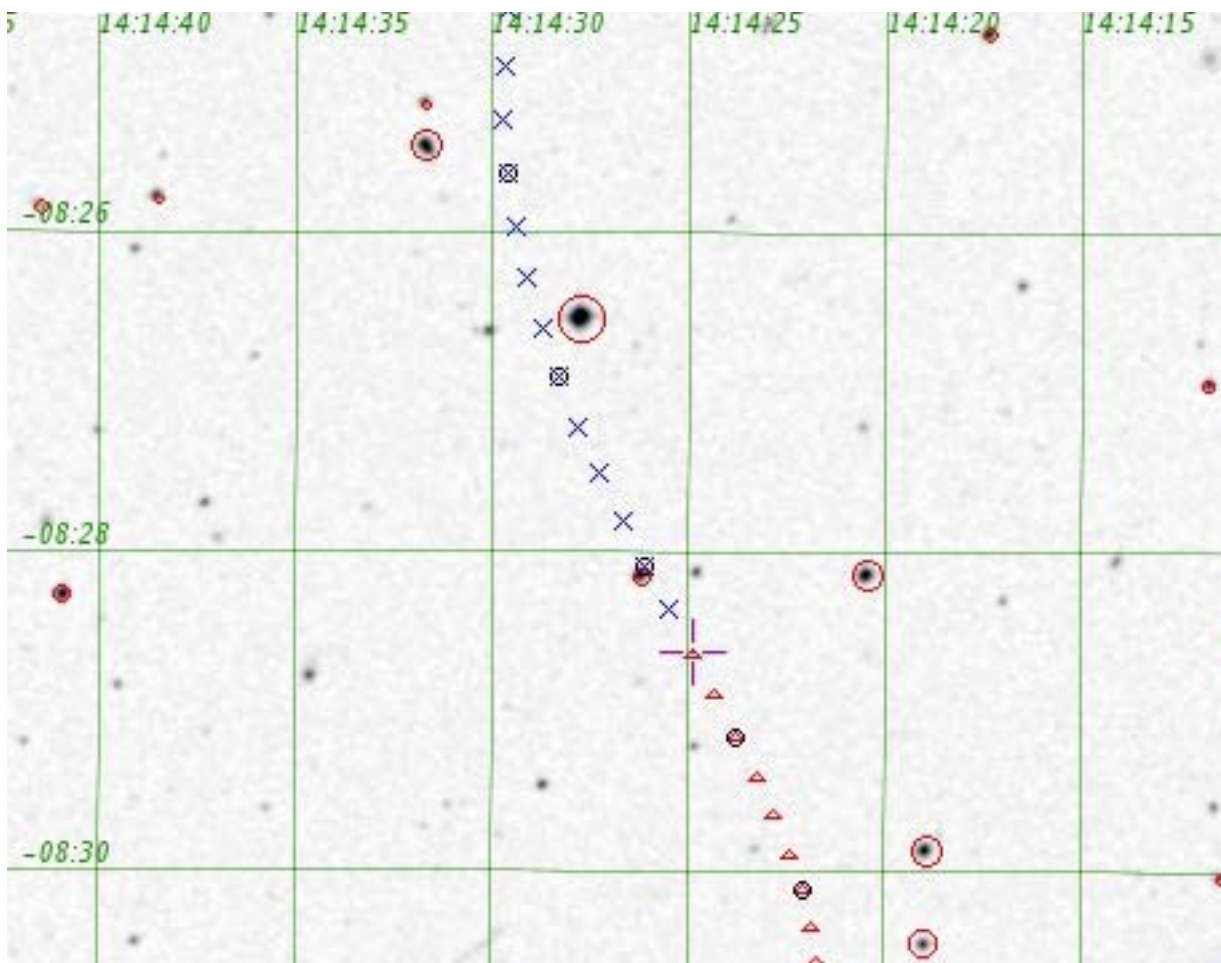


Рисунок 1.2. - Карта ділянки неба з розрахунковою траєкторією руху зонда *Gaia* 10/11 квітня 2018 р. *Внизу*: ПЗЗ-знімок з виявленим місцезнаходженням зонда (знімок отримано за допомогою 2-м телескопа, фільтр R, експозиція 60 с).

Приклад кадру з виявленим місцезнаходженням зонда *Gaia* наведено на Рис.1.2 (внизу). Його координати було визначено за даними спостережень з точністю 0.09 кутових секунд. Такі дані оперативно передавались до центрів контролю об'єкта та Центру малих планет (MPC). Нижче наведено приклад файлу з визначеними координатами зонда *Gaia*, який було надіслано до MPC:

```

COD B18
CON ICAMER Observatory of NASU
CON Acad. Zabolotnoho Str. 27 Kyiv 03143 Ukraine
CON V. Godunova [V_Godunova@bigmir.net]
OBS I.Sokolov, V. Godunova, A. Simon
MEA A. Simon
TEL 2.0-m Ritchey-Chretien F/8 + CCD
ACK MPCReport file updated 2018.04.11 11:20:44
AC2 V_Godunova@bigmir.net
NET Gaia DR1
Gaia      C2018 04 10.94784 14 14 24.33 -08 28 54.2      21.5      B18
Gaia      C2018 04 10.94861 14 14 24.28 -08 28 55.4      21.6      B18
Gaia      C2018 04 10.94939 14 14 24.23 -08 28 56.4      21.4      B18
Gaia      C2018 04 10.95016 14 14 24.19 -08 28 57.6      21.5      B18
Gaia      C2018 04 10.95094 14 14 24.15 -08 28 58.5      21.9      B18
Gaia      C2018 04 10.95171 14 14 24.10 -08 29 00.2      21.6      B18
Gaia      C2018 04 10.95250 14 14 24.06 -08 29 01.1      21.7      B18
Gaia      C2018 04 10.95328 14 14 24.02 -08 29 02.2      21.7      B18
Gaia      C2018 04 10.95405 14 14 23.97 -08 29 03.2      21.6      B18
Gaia      C2018 04 10.95483 14 14 23.94 -08 29 04.6      21.4      B18
Gaia      C2018 04 10.95561 14 14 23.89 -08 29 05.8      21.5      B18
Gaia      C2018 04 10.95639 14 14 23.86 -08 29 07.0      21.4      B18
Gaia      C2018 04 10.95716 14 14 23.81 -08 29 07.9      21.4      B18
Gaia      C2018 04 10.95794 14 14 23.78 -08 29 09.2      21.4      B18
Gaia      C2018 04 10.95873 14 14 23.76 -08 29 10.0      21.4      B18
Gaia      C2018 04 10.95950 14 14 23.70 -08 29 11.2      21.5      B18
Gaia      C2018 04 10.96028 14 14 23.67 -08 29 12.5      21.8      B18
Gaia      C2018 04 10.96105 14 14 23.64 -08 29 13.4      21.5      B18
Gaia      C2018 04 10.96184 14 14 23.60 -08 29 14.6      21.6      B18
Gaia      C2018 04 10.96262 14 14 23.55 -08 29 15.7      21.3      B18
Gaia      C2018 04 10.96339 14 14 23.51 -08 29 17.3      21.5      B18
----- end -----

```

2 МОНІТОРИНГ МАЛИХ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

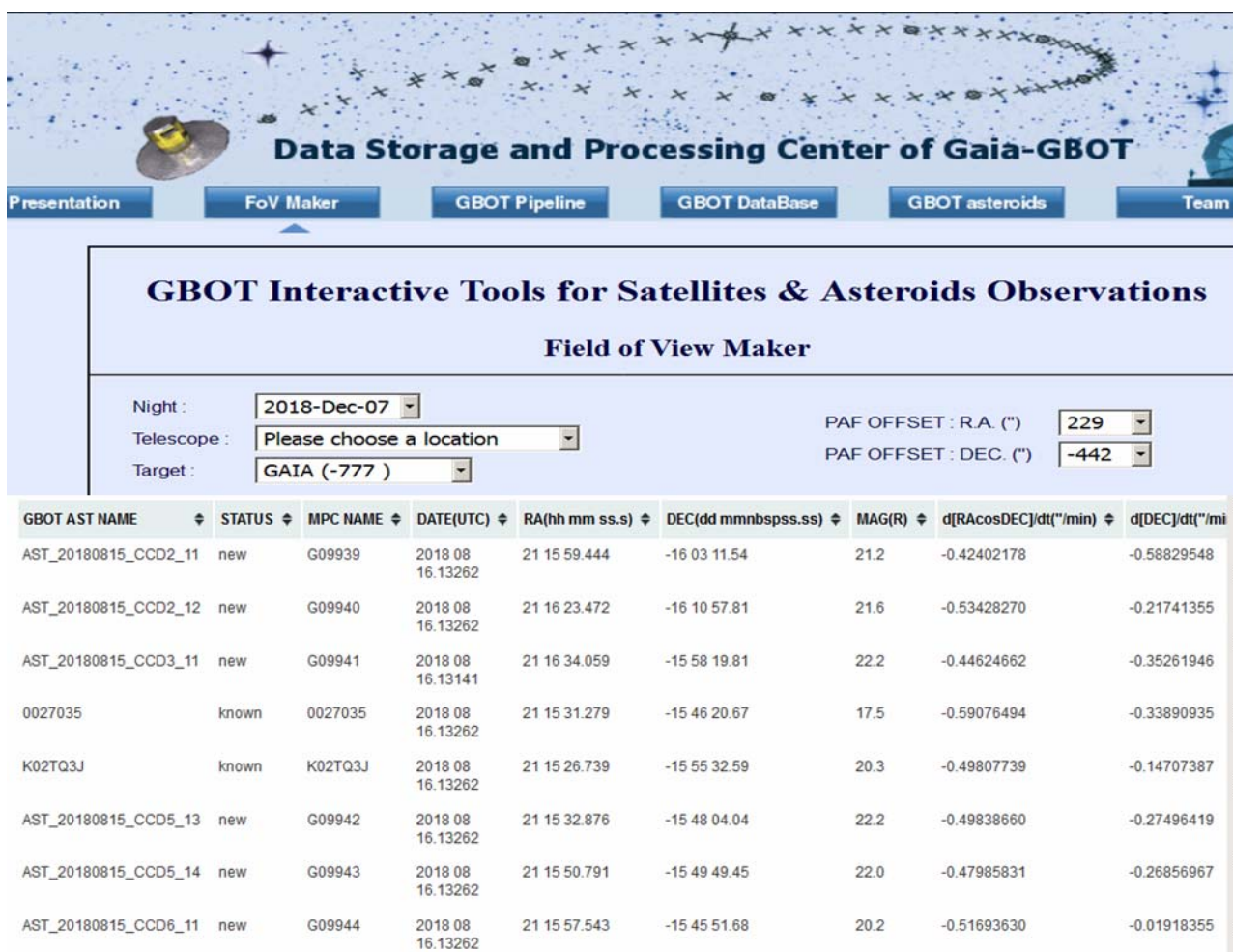
2.2. Пошук та відстеження астероїдів, виявлених у рамках проекту *Gaia*

На телескопах Цейс-600 та Цейс-2000 обсерваторії Терскол проводилися позиційні спостереження невідомих астероїдів, виявлених під час наземного контролю зонду *Gaia* групою GBOT (див. розд. 2), а також з огляду неба космічним телескопом (<https://gaiafunssso.imcce.fr/public-alerts/list.php>). Ці спостереження виконувались з метою підтвердження існування об'єктів й уточнення їхніх орбіт. Блиск астероїдів коливається у межах 19.8 - 21,5 зоряної величини, тому фільтри не застосовуються, натомість або використовуються

експозиції від 60 до 180 с, або отримується 100-200 кадрів з експозицією 30с, з яких потім створюються комбіновані кадри. Для астрометричних вимірювань досягається точність близько 0,05 ".

2.2.1. Астероїди GBOT

Початкові дані для спостережень публікуються у списках щойно відкритих астероїдів на сайті <http://gbot.obspm.fr> (Рис. 2.1.1.1), а ефемериди можна розрахувати, використовуючи ресурси сайту MPC (<https://minorplanetcenter.net>). Враховуючи, що орбіти таких астероїдів ще не відомі з достатньою точністю, проводити їх пошук та відстеження необхідно якомога ближче до моменту, коли їх було виявлено. Якщо відстеження відтерміновано на дві доби або більше, виявити та ідентифікувати ці об'єкти важко або навіть неможливо.



GBOT Interactive Tools for Satellites & Asteroids Observations

Field of View Maker

Night :

Telescope :

Target :

PAF OFFSET : R.A. (")

PAF OFFSET : DEC. (")

GBOT AST NAME	STATUS	MPC NAME	DATE(UTC)	RA(hh mm ss.s)	DEC(dd mmmnbsps.ss)	MAG(R)	d[RAcosDEC]/dt("'/min)	d[DEC]/dt("'/mi
AST_20180815_CCD2_11	new	G09939	2018 08 16.13262	21 15 59.444	-16 03 11.54	21.2	-0.42402178	-0.58829548
AST_20180815_CCD2_12	new	G09940	2018 08 16.13262	21 16 23.472	-16 10 57.81	21.6	-0.53428270	-0.21741355
AST_20180815_CCD3_11	new	G09941	2018 08 16.13141	21 16 34.059	-15 58 19.81	22.2	-0.44624662	-0.35261946
0027035	known	0027035	2018 08 16.13262	21 15 31.279	-15 46 20.67	17.5	-0.59076494	-0.33890935
K02TQ3J	known	K02TQ3J	2018 08 16.13262	21 15 26.739	-15 55 32.59	20.3	-0.49807739	-0.14707387
AST_20180815_CCD5_13	new	G09942	2018 08 16.13262	21 15 32.876	-15 48 04.04	22.2	-0.49838660	-0.27496419
AST_20180815_CCD5_14	new	G09943	2018 08 16.13262	21 15 50.791	-15 49 49.45	22.0	-0.47985831	-0.26856967
AST_20180815_CCD6_11	new	G09944	2018 08 16.13262	21 15 57.543	-15 45 51.68	20.2	-0.51693630	-0.01918355

Рисунок 2.1.1.1. - Приклад публікації даних про астероїди, які було виявлено у процесі відстеження космічного зонду Gaia за допомогою телескопа VST (взято з сайту <http://gbot.obspm.fr>).

У 2018 р. було досліджено десятки квадрантів з об'єктами з вищезгаданого списку, при цьому було підтверджено 2 нових астероїдів, а саме G09944 та G09961. Крім того, на знімках виявлялися вже відомі астероїди Головного пояса. Координати більше 10 таких астероїдів також були визначено та наслано до MPC. Приклад виявлення астероїда G09961 наведено на рис. 2.1.1.2.

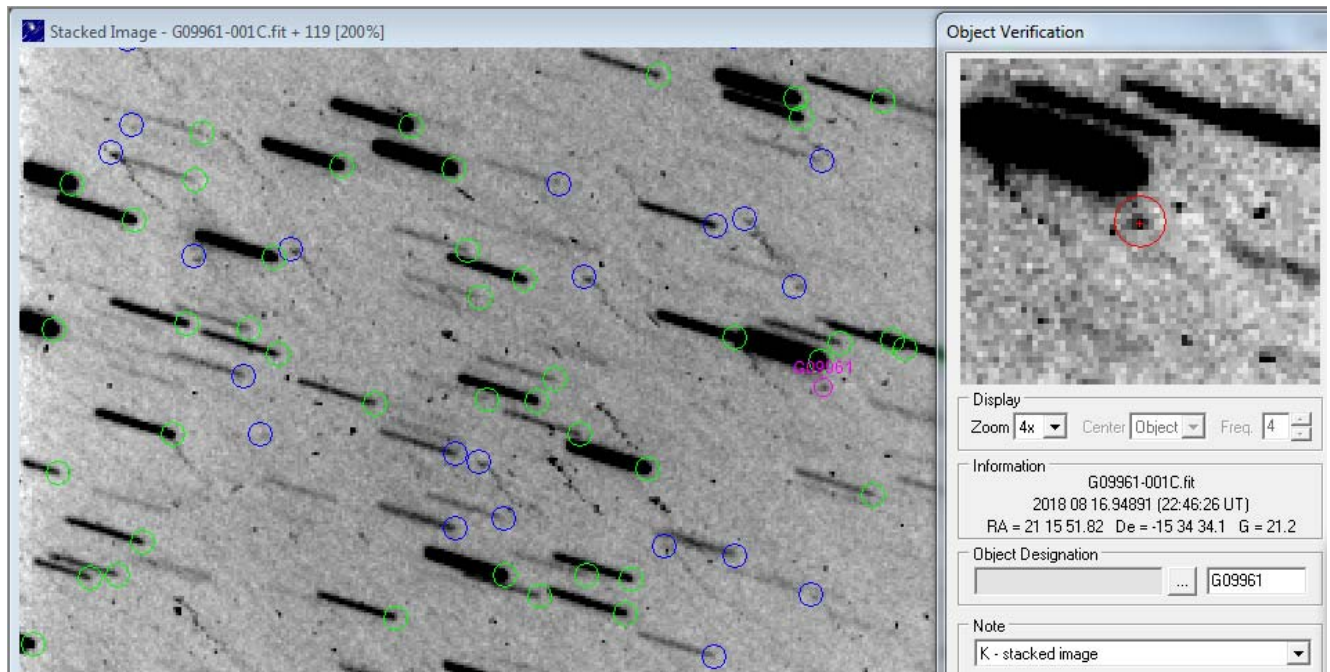


Рисунок 2.1.1.2. - Виявлення астероїда G09961 на комбінованому кадрі, який було отримано зі спостережень на телескопі Цейс-600 16/17 серпня 2018 р.

До MPC було відправлено файл з вирахуваними координатами G09961:

```

COD B18
CON ICAMER Observatory of NASU
CON Acad. Zabolotnoho Str. 27 Kyiv 03143 Ukraine
CON V. Godunova [V_Godunova@bigmir.net]
OBS I. Izvekova, V. Godunova, O. Sergeev, A. Simon
MEA A. Simon
TEL 0.6-m f/12.9 Cassegrain + CCD
ACK MPCReport file updated 2018.08.17 13:01:11
NET Gaia DR1
COM Observations of asteroid G09961 detected by the Gaia-GBOT group
G09961 *KC2018 08 16.92915 21 15 52.79 -15 34 30.0 21.1 G B18
G09961 KC2018 08 16.94233 21 15 52.12 -15 34 33.0 22.4 G B18
G09961 KC2018 08 16.95549 21 15 51.50 -15 34 35.1 21.2 G B18
G09961 KC2018 08 16.96866 21 15 50.89 -15 34 39.3 20.8 G B18
----- end -----

```

2.1.2. Астероїди, виявлені космічним телескопом *Gaia*

У 2018 р. в обсерваторіях МЦАМЕД НАНУ Терскол та КНУ Лісники було проведено позиційні спостереження більше 10 астероїдів, виявлених телескопом *Gaia*. Інформація щодо цих астероїдів публікується на сайті мережі відстеження

об'єктів Сонячної системи GAIA-FUN-SSO (GAIA Follow-up Network for Solar System Objects) <https://gaiafunssso.imcce.fr/alerts/list.php> (Рис.2.1.2.1).

The screenshot shows a web browser window with the URL <https://gaiafunssso.imcce.fr/alerts/detail.php?oid=50678>. The page title is "Detailed information on g2b01D". Below the title, a message states: "You will find below detailed information on the target and its probable position on the plane of the sky."

The "Object Information" section contains the following data:

- Gaia ID: -4194953549
- Database ID: 50678
- Name: g2b01D
- Magnitude (V): $20.0^{+0.3}_{-0.2}$
- Date of observation: 7/6/2018

Below the information are two buttons: "Report observation" and "Back to Gaia alerts".

The "Sky view with Aladin" section shows a star field with a green cross marking the asteroid's position. Three cyan ovals represent the search zones for the asteroid on July 13-14, 2018. The caption indicates the object's expected magnitude is $V = 20.0^{+0.3}_{-0.2}$.

Рисунок 2.1.2.1. - Інформація щодо астероїда g2b01D та карта неба з зонами для його пошуку згідно ефемерид на 13-14 липня 2018 року (поле зору бл. 1.6 градусів; <https://gaiafunssso.imcce.fr/alerts/list.php>).

Ефемерид для астероїда g2b01D, згідно яких проводився пошук (за даними сайту <https://gaiafunso.imcce.fr/alerts/list.php>):

<u>Epoch</u>	<u>RA</u>	<u>Dec</u>	<u>V_{mag}</u>	<u>Rate</u>	<u>Orientation</u>	<u>Area</u>
<input checked="" type="checkbox"/> 2018-07-13 12:13:28	20:58:28.128	15:56:47.400	20.0 ^{0.5} _{0.2}	0.5	-52	0.00353
<input checked="" type="checkbox"/> 2018-07-14 00:13:28	20:58:08.328	16:00:53.640	20.0 ^{0.5} _{0.2}	0.52	-54.5	0.00435
<input checked="" type="checkbox"/> 2018-07-14 12:13:28	20:57:48.408	16:04:50.520	20.0 ^{0.5} _{0.2}	0.51	-53.6	0.0053
<input type="checkbox"/> 2018-07-15 00:13:28	20:57:28.128	16:08:05.640	20.0 ^{0.5} _{0.2}	0.53	-56	0.0064
<input type="checkbox"/> 2018-07-15 12:13:28	20:57:07.800	16:11:42.000	20.0 ^{0.5} _{0.2}	0.51	-55.1	0.00766
<input type="checkbox"/> 2018-07-16 00:13:28	20:56:47.136	16:15:18.720	20.0 ^{0.5} _{0.2}	0.53	-57.5	0.0091

Астероїд g2b01D було виявлено спочатку зі спостережень в обсерваторії КНУ у Лісниках (Рис.6). Отримані координати астероїда було введено у програму FindOrb32 з сайту MPC (Рис.7) та розраховано його ефемериди, які було використано для наступних спостережень, зокрема, в обсерваторії МЦ АМЕД НАНУ Терскол, за якими також було виявлено цей об'єкт.

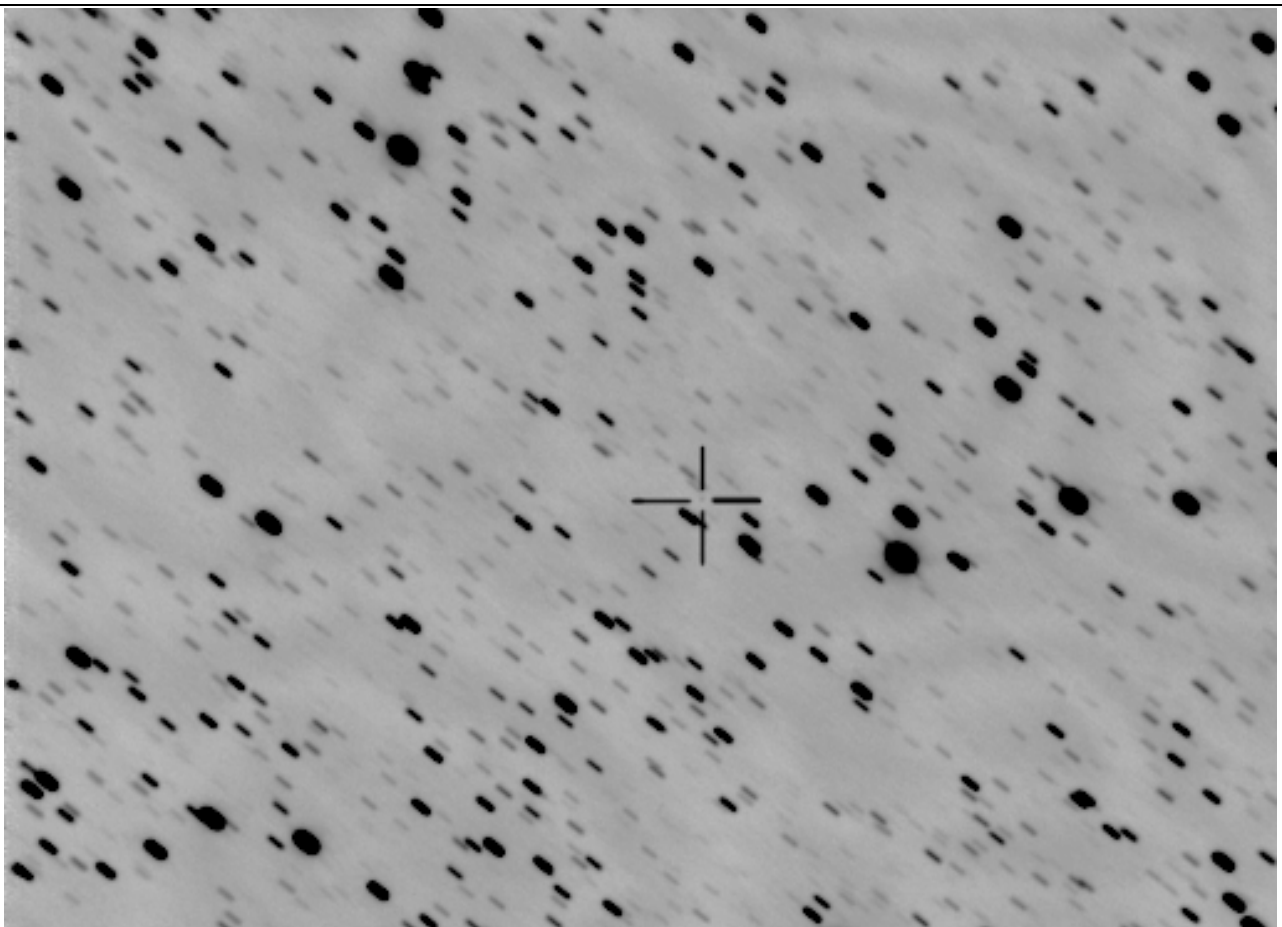


Рисунок 2.1.2.2. - Виявлення астероїда g2b01D на комбінованому кадрі, який було отримано зі спостережень на телескопі АЗТ-7 (Лісники) 13/14 липня 2018 р.

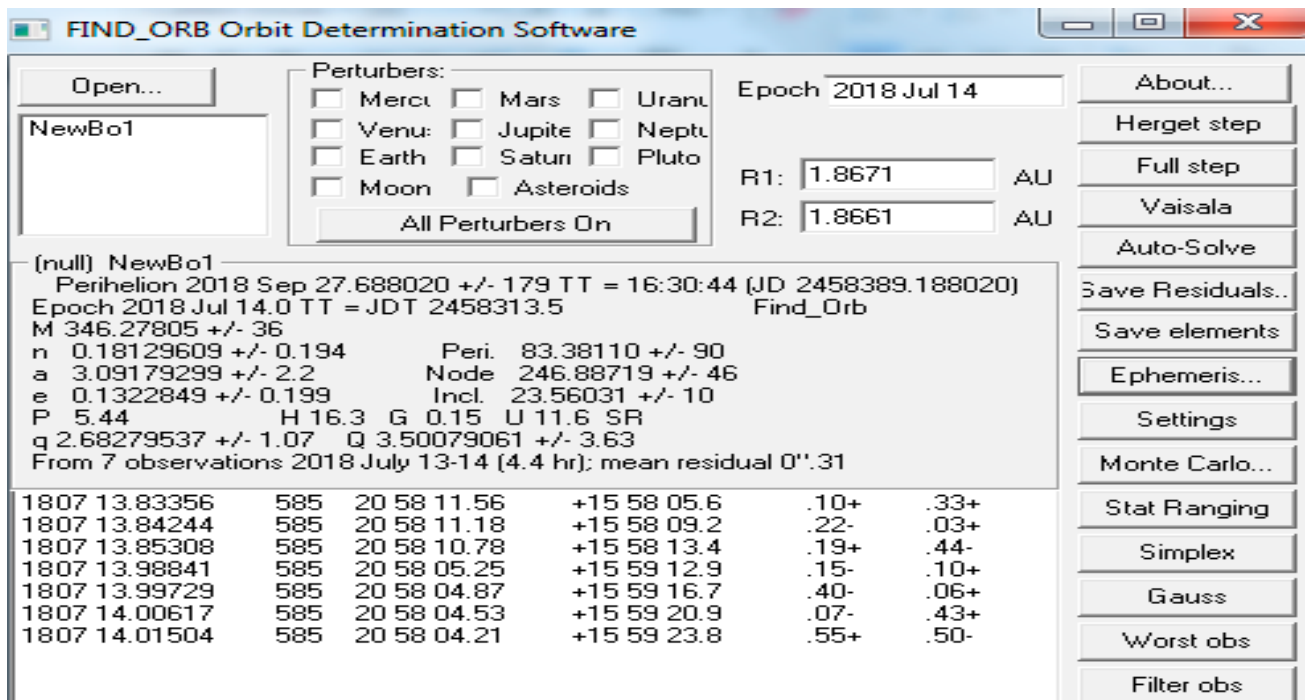


Рисунок 2.1.2.3. - Перевірка орбіти астероїда g2b01D з програмою FindOrb32.

Подібним чином було проведено пошук та підтвердження астероїда g2b06F. Поле пошуку цього об'єкта зображено на Рис. 2.1.2.4.



Рисунок 2.1.2.4. - Зони пошуку астероїда g2b06F на 16-16 липня 2018 р. (інформація з сайту <https://gaiafunso.imcce.fr/alerts/list.php>).

Спочатку астероїд g2b06F було виявлено зі спостережень в обсерваторії Лісники:

```

COD 585
CON A.O.Simon [andrew_simon@univ.kiev.ua]
OBS A.O. Simon, V.V. Vasylenko, V.G. Godunova
MEA A.O. Simon
TEL 0.7-m f/4 reflector + CCD
ACK MPCReport file updated 2018.07.17 03:59:29
AC2 andrew_simon@univ.kiev.ua
NET Gaia DR1
COM On behalf of Gaia-FUN-SSO
g2b06F *KC2018 07 16.97784 21 41 56.67 +09 05 23.3      20.3 G  585
g2b06F  KC2018 07 16.98494 21 41 56.51 +09 05 26.4      20.4 G  585
g2b06F  KC2018 07 16.99204 21 41 56.26 +09 05 29.1      20.9 G  585
g2b06F  KC2018 07 16.99913 21 41 56.10 +09 05 31.2      19.4 G  585
g2b06F  KC2018 07 17.00701 21 41 55.93 +09 05 35.1      20.8 G  585
----- end -----

```

На основі отриманих координат було розраховано ефемериди g2b06F для проведення його спостережень в обсерваторії Терскол:

Date (UTC).dd	RA	Dec	delta	r	elong	mag	'/hr	PA
2018 07 17.96	21 41 32.095	+09 11 42.19	1.3183	2.1880	138.8	20.4	0.39	312.5
2018 07 17.97	21 41 31.816	+09 11 45.97	1.3182	2.1880	138.8	20.4	0.39	312.5
2018 07 17.98	21 41 31.538	+09 11 49.75	1.3181	2.1880	138.8	20.4	0.39	312.4
2018 07 17.99	21 41 31.259	+09 11 53.52	1.3180	2.1879	138.8	20.4	0.39	312.4
2018 07 18.00	21 41 30.980	+09 11 57.29	1.3179	2.1879	138.8	20.4	0.39	312.4
2018 07 18.01	21 41 30.702	+09 12 01.05	1.3178	2.1879	138.9	20.4	0.39	312.4
2018 07 18.02	21 41 30.424	+09 12 04.80	1.3177	2.1878	138.9	20.4	0.39	312.4
2018 07 18.03	21 41 30.146	+09 12 08.56	1.3176	2.1878	138.9	20.4	0.39	312.4
2018 07 18.04	21 41 29.868	+09 12 12.31	1.3175	2.1877	138.9	20.4	0.39	312.4
2018 07 18.05	21 41 29.591	+09 12 16.05	1.3174	2.1877	138.9	20.4	0.39	312.4
2018 07 18.06	21 41 29.314	+09 12 19.79	1.3173	2.1877	138.9	20.4	0.38	312.4
2018 07 18.07	21 41 29.038	+09 12 23.53	1.3172	2.1876	138.9	20.4	0.38	312.4
2018 07 18.08	21 41 28.763	+09 12 27.26	1.3171	2.1876	138.9	20.4	0.38	312.5
2018 07 18.09	21 41 28.488	+09 12 30.99	1.3170	2.1876	138.9	20.4	0.38	312.5
2018 07 18.10	21 41 28.214	+09 12 34.71	1.3169	2.1875	138.9	20.4	0.38	312.6

За цими ефемеридами на 2-м телескопі в обсерваторії Терскол було отримано 100 знімків визначеної ділянки неба з експозицією 30 с без використання бінування та фільтрів. У результаті було знайдено об'єкт g2b06F та визначено його координати, дані надіслано до MPC та до мережі GAIA-FUN-SSO.

2.2. Моніторинг та визначення параметрів навколосемних астероїдів

Координація спостережень проводилась на основі даних порталу Центру малих планет MPC (www.minorplanetcenter.org), а також сайту <http://echo.jpl.nasa.gov/asteroids/>.

Об'єкти дослідження (Табл. 1):

- астероїди, які увійшли до списку NASA як можливі цілі для пілотованих космічних місій (NHATS – див. <http://neo.jpl.nasa.gov/cgi-bin/nhats>);

- астероїди з критичного списку Центру малих планет MPC (це об'єкти, щодо яких наявна інформація є неповною);
- потенційно небезпечні астероїди (PHAs).

За астрометричними даними визначались координати об'єктів (результати оперативно надсилались до MPC), а високоточна BVRI фотометрія використовувалась для побудови кривих блиску та вивчення їх властивостей (періоду обертання, форми поверхні, тощо).

Таблиця 2.2.1. - Навколоземні астероїди, які досліджувались у 2018 р. в обсерваторії МЦАМЕД НАНУ на п. Терскол

Об'єкт	Дата зближення з Землею у 2018р.	Мінімальна відстань до Землі, AU	H, ^m	Тип орбіти	Клас об'єкта
1999 FN19	2018/05/07.58099	0.0248027	22.5	AM	NEA, NHATS
2004 DV24	2018/09/16.45958	0.0556033	16.5	AM	PHA
2006 TS7	2018/10/29.49943	0.0193020	21.3	AT	PHA
2007 UL12	2018/11/15.27156	0.0420041	21.1	AP	PHA
2015 DP155	2018/06/11.24506	0.0230253	21.5	AM	PHA, NHATS
2015 FP118	2018/09/03.42268	0.0314388	19.4	AP	PHA, Critical list numbered object
2017 YE5	2018/06/21.87038	0.0398650	19.2	AP	PHA
2018 DH1	2018/03/27.42919	0.0235681	21.1	AP	PHA
2018 TF3	2018/11/05.75027	0.0199740	20.4	AP	PHA
2018 UQ1	2018/11/13.94755	0.0241496	22.0	AP	PHA
2018 CB	2018/02/09.93650	0.0004661	25.9	AP	NEA, NHATS

NEA – навколоземний астероїд (near-Earth asteroid)

NHATS – астероїд зі списку NASA можливі цілей для пілотованих космічних місій

PHA - потенційно небезпечні астероїди

AU – астрономічна одиниця (відстань від Землі до Сонця, 150 млн.км)

H – абсолютна зоряна величина

AM – астероїди-амурці (Amors): перигельні відстані астероїдів більші, ніж афельна відстань Землі ($1.017 \text{ a.o.} < q \leq 1.3 \text{ a.o.}$). Астероїди цього типу можуть наблизитися до Землі ззовні, але не заходять всередину орбіти Землі.

AP- астероїди -аполонці (Apollos): перигельні відстані менші, ніж афельна відстань Землі, великі півосі більші, ніж у Землі ($a > 1 \text{ a.o.}, q \leq 1.017 \text{ a.o.}$) Астероїди цього типу можуть проникати всередину орбіти Землі.

AT- астероїди-атонці (Atens): орбіти цих астероїдів поблизу афелія виходять за межі орбіти Землі ($a < 1 \text{ a.o.}, Q \geq 0.983 \text{ a.o.}$).

Зокрема, науковці МЦ АМЕД НАНУ першими визначили період обертання астероїда 2015 DP155: $P=3.105 \pm 0.004 \text{ h}$, про що повідомили у астрономічній

телеграмі # 11645 від 15.05.2018 [2]. Фотометричні спостереження цього потенційно небезпечного об'єкту зі списку NHATS було розпочато 01.05.2018р., коли він рухався на відстані більше 14 млн. км від Землі зі швидкістю 0.8 кут.сек/хв, а його видима зоряна величина була 19 mag. Моніторинг 2015 DP155 продовжувався до 15 червня 2018 р. Приклад зміни блиску об'єкта на протязі ночі наведено на Рис. 2.2.1.

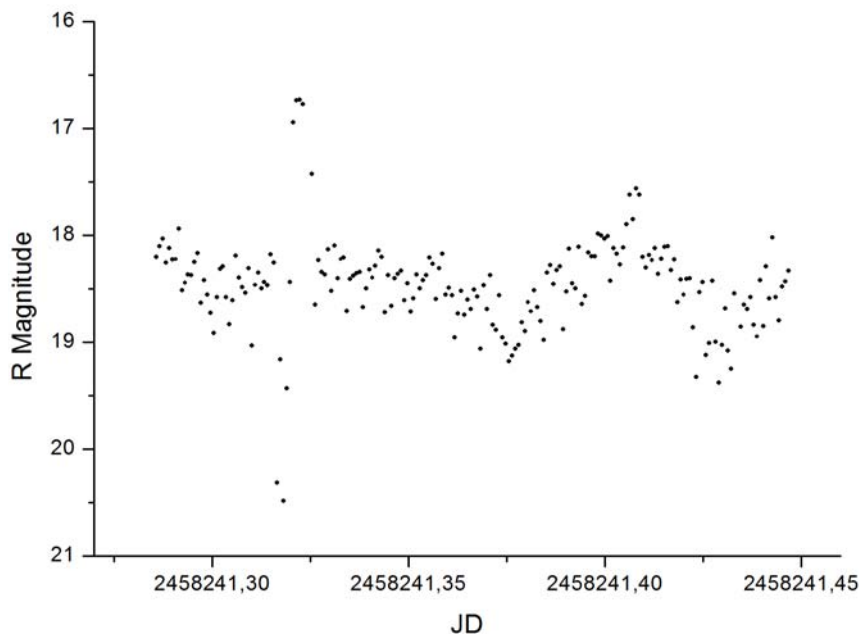


Рисунок 2.2.1.- Варіації блиску потенційно небезпечного астероїда 2015 DP155 за даними спостережень 2 травня 2018 р. (телескоп Цейс-600).

У серпні 2018 р. було виконано детальне вивчення характеристик потенційно небезпечного астероїда 2004 DV24. Об'єкт має абсолютну величину $H=16.5$ mag, що свідчить про діаметр 1,1-2,7 км у залежності від альbedo. 16 вересня 2018 року цей астероїд пройшов на відстані близько 0.0556 а.о. від Землі (бл. 21.7 радіусів місячної орбіти). Його спостереження з використанням фільтрів BVRI проводились на піку Терскол протягом шести ночей з 19 по 24 серпня 2018 р. на телескопі Цейс-600 з ПЗЗ-камерою SBIG STL-1001 (1024 x 1024, 24-мікронні пікселі), що забезпечує поле зору 10,9 x 10,9 кут. секунд. За період спостережень фазовий кут астероїда змінився з 71,6 до 74,2 градусів, його зоряна величина у фільтрі R коливалась у межах від 17,8 до 16,6 mag (Рис. 2.2.2).

Обробка даних фотометричних спостережень здійснювалася за допомогою програми MaxIm DL та нашого власного програмного забезпечення. Всього для

аналізу було використано 424 ПЗЗ-кадри. Усі знімки були проаналізовані, з-поміж них відкинуто ті, які були розмиті (внаслідок підведення телескопа чи зміни погодних умов). Була проведена процедура підготовки кадрів плоского поля, а потім усі кадри було прокалібровано на темнові кадри та кадри плоского поля. Фотометричні стандартні зірки з каталогу AAVSO використовувались для редукції даних.

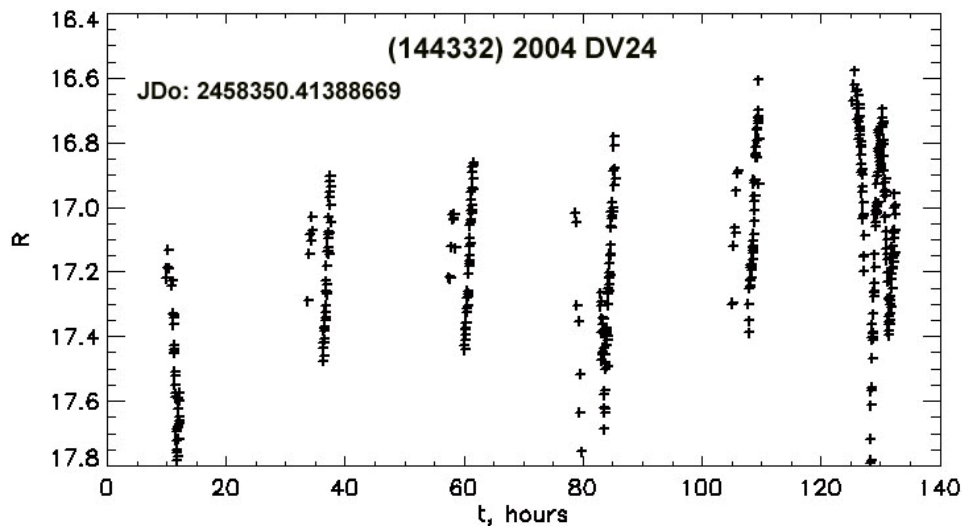


Рисунок 2.2.2. - Зміни блиску астероїда 2004 DV24 за даними спостережень на телескопі Цейс-600 у період 19-24 серпня 2018 р.

Спостереження астероїда з фільтрами В, V і R дали змогу розрахувати середні значення показників кольору: $V-R = 0.20 \pm 0.06$ та $B-V = 0.72 \pm 0.21$ (Табл. 2.2.1).

Таблиця 2.2.2. - Добові значення показників кольору астероїда 2004 DV24.

Показник кольору/ Дата	19.08.18	20.08.18	21.08.18	22.08.18	23.08.18	24.08.18
B-V	0.56 ± 0.12	0.95 ± 0.2	0.63 ± 0.06	0.66 ± 0.19	0.65 ± 0.19	0.9 ± 0.15
V-R	0.21 ± 0.06	0.21 ± 0.07	0.20 ± 0.04	0.23 ± 0.18	0.23 ± 0.1	0.16 ± 0.22

З кривої блиску у фільтрі R було вираховано абсолютну зоряну величину астероїда H; для цього використовувались дані про геліоцентричну та геоцентричну відстані, а також значення фазового кута. Крім того, застосовувалось припущення про те, що астероїд є дифузно-розсіюючою кулею.

Щоб визначити періодичність отриманої кривої блиску, було застосовано метод PDM [3]. Крім того, одержаний результат перевірили за допомогою методу нормалізованих періодограм Ломба [1] та Θ -статистики. Встановлено, що

всі ці методи дають аналогічний результат, а саме: період обертання $P=7,985 \pm 0,009$ год з амплітудою $A=1,17 \pm 0,05$ mag (Рис. 2.2.3).

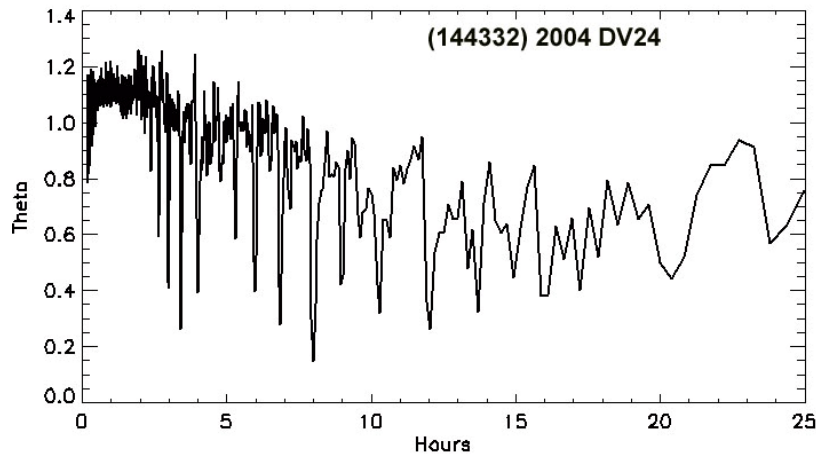


Рисунок 2.2.3.- Оцінка періоду обертання 2004 DV24 за методом PDM.

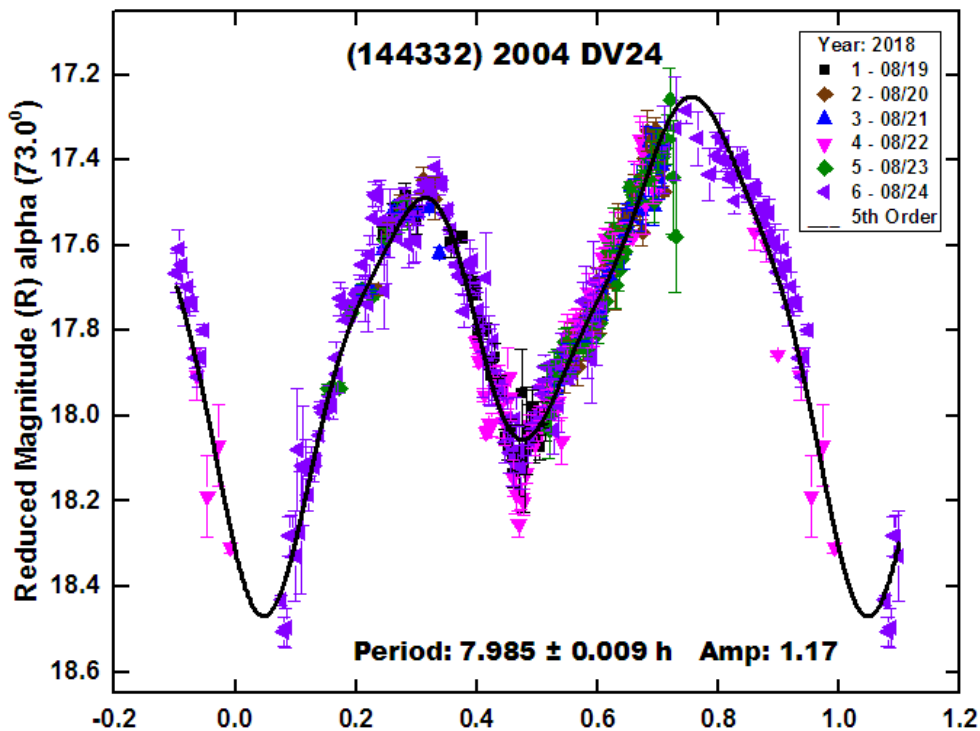


Рисунок 2.2.4. - Фазова крива блиску астероїда 2004 DV24.

Форма кривої блиску свідчить про те, що астероїд 2004 DV24 має неправильну форму. Величина варіацій блиску складає близько 1.2^m , що відповідає відношенню осей (у наближенні еліпсоїда обертання) $b/a \sim 3$.

ВИСНОВКИ

Роботи за темою «Наземна система моніторингу космічних об'єктів у рамках міжнародної місії Gaia» виконано у повному обсязі. Зокрема, у рамках проекту:

1. На телескопах Цейс-600 та Цейс-2000 обсерваторії МЦ АМЕД НАНУ на піку Терскол у 2018 р. виконано такі роботи:

- d) Проведено декілька сеансів позиційних спостережень космічного зонду Gaia та визначено його координати з точністю 0.09 кутових секунд.
- e) Здійснено пошук та відстеження 4 нових астероїдів, виявлених міжнародною місією Gaia.
- f) Проведено позиційні та фотометричні спостереження 11 астероїдів, серед яких 9 є потенційно небезпечними астероїдами, а 3 об'єкти входять до списку NHATS космічних місій NASA.

2. Виконано обробку та аналіз даних спостережень, результати (координати, блиск об'єктів) оперативно передавались до Центру малих планет Міжнародного астрономічного союзу (IAU Minor Planet Center), центрів координації робіт місії Gaia та для публікації у бюлетенях міжнародних спеціалізованих служб.

3. На основі отриманих фотометричних спостережень було визначено періоди обертання потенційно небезпечних астероїдів 2004 DV24 та 2015 DP155.

Результати роботи представлено у доповідях на конференціях та у наукових публікаціях (див. Додаток А). Крім того, під час виконання проекту було впроваджено в практику астрономічних досліджень почергове ведення моніторингу об'єктів на телескопах двох обсерваторій – у с. Лісники поблизу міста Київ (Київський національний університет) та на п. Терскол (МЦ АМЕД НАН України).

Перелік посилань

1. Lomb, N. R. (1976) Least-squares frequency analysis of unequally spaced data - *Ap&SS*, **39**, 447-462.
2. Reshetnyk, V.; V. Godunova, O. Sergeev, A. Simon (2018) Recent optical observations of NHATS target 2015 DP155 - *The Astronomer's Telegram* 11645, 1.
3. Stellingwerf, R. F. (1978) - Period determination using phase dispersion minimization – *ApJ*, **224**, 953-960.

Додаток А

Публікації за результатами НДР

1. Godunova, V.; V. Reshetnyk, A. Simon, S. Velichko, O. Sergeev, V. Taradii (2018) Follow-up studies of Gaia transients at the Terskol Observatory / In: Proc. IAUS 330 “Astrometry and Astrophysics in the Gaia sky” - Eds. A. Recio-Blanco, P. de Laverny, A. Brown & T. Prusti. - Vol. 330, pp. 401-402. doi: 10.1017/S1743921317005877
2. Reshetnyk, V.; V. Godunova, O. Sergeev, A. Simon (2018) Recent optical observations of NHATS target 2015 DP155 / The Astronomer's Telegram 11645, 1.
3. Bakhtigaraev, N.; Levkina, P.; Rykhlova, L.; Sergeev, A. (2018) Features of geosynchronous space objects motion near 75°E / Open Astronomy, Vol. 27, 1, pp.139-143.
4. Reshetnyk, V.; V. Godunova, I. Izviekova, A. Simon, O. Sergeev, V. Polyakov (2019) Photometry of NEA (144332) 2004 DV24 at the Terskol Observatory /The Minor Planet Bulletin (ISSN 1052-8091). Bulletin of the Minor Planets Section of the Association of Lunar and Planetary Observers, Vol. 46, No. 1.

Доповіді на конференціях:

Tarady, V.; V. Godunova, V. Reshetnyk, O. Sergeev, A. Simon, G. Butenko, V. Kozlov, I. Izvekova Recent observations of Solar System small bodies at the Terskol Observatory / In: Program and theses of 9th Sc. Conf. “Selected Issues of Astronomy and Astrophysics” (Lviv, Oct 1-5, 2018), p.41.

Volkov, I.M.; Barabanov S.I., Nikolenko I.V., Kryuchkov S.V., Sergeev A.V. Spectral observations and photometry of near Earth object (NEO) 2001CP44-s1 // In: Abstract Book of the conference “Observing techniques, instrumentation and science for metre-class telescopes. II.” (Tatranská Lomnica, Slovakia, Sept. 24 - 28, 2018) - p.44.