

УДК 520:52.14

PACS 95.85.Kr, 96.25.De, 96.25.Vt

DOI: 10.24144/2415-8038.2017.41.132-139

В.П. Єпішев¹, І.В. Барна¹, В.І. Кудак¹, В.М. Періг¹, М.М. Габдеев²

¹Ужгородський національний університет, Лабораторія космічних досліджень, 88000, Ужгород, вул. Далека 2а

²Спеціальна астрофізична обсерваторія, РАН, Нижній Архиз, Зеленчуцький район, Карачаєво-Черкеська республіка, Росія, 369167

E-mail: lab-space@uzhnu.edu.ua

БАГАТОКОЛІРНА ФОТОМЕТРІЯ ГЕОСТАЦІОНАРНИХ ОБ'ЄКТІВ

В роботі приведені перші результати колориметричних спостережень 3-х ГСС в 5-ти спектральних полосах – U, B, V, R, I. Спостереження проводились восени 2012-го року на телескопі ZEISS-1000 при підтримці колег с CAO РАН. Високогірне розташування обсерваторії і характеристики ПЗС-камери дозволили провести спостереження ГСС в ультрафіолетовій області спектра, яка раніше практично була не доступна для спостережень з низинних українських обсерваторій. Результати експерименту показали необхідність спостережень ГСС в U-діапазоні. В ультрафіолеті була отримана інформація, яка ніяк себе не проявляла в других спектральних полосах. Ці дані в спільно з результатами в I-діапазоні значно розширили інформаційний канал про стан покрив сучасних ГСС.

Ключові слова: крива блиску, геостаціонарний супутник, спектральні діапазони, телескоп, зоряна величина.

Вступ

Щорічно на геостаціонарну орбіту (ГСО) виводиться 2-3 десятки нових ШСЗ, додаються сотні уламків зруйнованих з різних причин супутників. За оцінками, для нормального функціонування кількість геостаціонарних супутників (ГСС), що знаходяться на ГСО, не повинна бути більшою 720 об'єктів. А насправді на січень 2017 року таких космічних апаратів (КА) каталогізовано понад 1400. Сюди ще можна додати ~ 600 високоеліптичних об'єктів, що перетинають ГСО, понад 200 військових супутників, орбітальні дані яких не завжди містяться в публічно доступних частинах відповідних каталогів, створених в цих країнах.

Збільшення числа виведених на ГСО об'єктів суттєво ускладнює контроль за їх рухом і збільшує імовірність аварійних ситуацій на орбіті. В цьому випадку, ще більш актуальною стала проблема розпізнавання КА. Контроль за даними

об'єктами в радіодіапазоні внаслідок їх віддаленості ($h > 36000$ км) не під силу переважній більшості країн. Крім того радіолокатори використовують відносно довгу радіохвилю і не задовольняють підвищеним вимогам до точності визначення положення КА, розпізнавання його поверхневої структури, ототожнення ШСЗ при його маневрах на орбіті, оцінки нештатної ситуації з супутником. Тому удосконалення старих і розробка нових методів їх спостережень в оптичному діапазоні залишаються актуальними і затребуваними.

Характеристика апаратного комплексу

Поверхня більшості КА є сукупністю кількох стереометричних форм. Для визначення домінуючої форми об'єкта використовують метод максимальної подібності. Упевнені результати тут можна отримати тільки для тіл простої геометричної форми. Тому при дослідженні ШСЗ складних форм завдання зводиться до штучного по-

ділу їх поверхні на окремі фрагменти і використанню відповідних фазових функцій для їх опису. Успішне застосування таких функцій вимагає знання про орієнтацію досліджуваної поверхні в момент спостережень. Звідси, спроби описати зміну блиску ШСЗ однією фазовою функцією, поверхня якого складається, як мінімум, з 3-ох фрагментів, приводять до громіздких математичних викладок, навіть якщо структура поверхні досить відома[1].

Штучний поділ досліджуваної поверхні КА можна здійснити за рахунок спостережень в різних спектральних областях із застосуванням набору відповідних фільтрів. І чим вужчі ці спектральні смуги, тим точніше вдається дослідити структуру поверхні КА. Із-за значної віддаленості, і відповідно, слабого блиску ГСС, їх фотометричні спостереження до останнього часу здійснюють практично в трьох широкополосних спектральних областях – В, V, R. І це приводить до втрати частини інформації, або її низької роздільної здатності. В Лабораторії космічних досліджень Уж-НУ за допомоги колег із Спеціальної астрономічної обсерваторії РАН були здійснені експериментальні спостереження трьох ГСС в 5-ти спектральних смугах - U, B, V, R, I. В ультрафіолетовій області (U), такі спостереження ГСС українськими спеціалістами виконані вперше. Вони проводились на оптичному телескопі Цейс-1000. Діаметр головного дзеркала – 1016 мм. Гранична зоряна величина, отримана у фотометричну ніч з зображеннями у фільтрі V за 20 хвилинну експозицію - близько 23.5^m .

Дводзеркальна система Річі-Кретьєна реалізує в касегренівському фокусі телескопа еквівалентну фокусну відстань - 13.3 метра, створюючи діаметр не відцентрованого поля - 170 мм або $45'$. У фокусі Касегрена встановлено навісне обладнання - фотометрична система, що дозволяє отримувати знімки астрофізичних об'єктів у стандартних світлофільтрах. В якості приймача в цих методах використовується охолоджений до азотних температур (-150 С) твердотільний детектор формату 2048×2048 елементів з квадратним елементом 13.5 мкм.



Рис.1 Метровий телескоп "Цейс-1000".

Фотометр включає автоматичне дистанційне керування, швидкісний затвор, що дозволяє робити короткі експозиції до часток секунди, внутрішні стандартні джерела світла, що утворюють "плоскі поля". Прилад має 5 ширококутових і 3 вузькокутових фільтри. Ширококутові фільтри U, B, V, R, I в поєднанні з ПЗЗ типу K585 реалізують фотометричну систему Коузіна[2]. У процесі виконання роботи була використана матриця EEVCCD42-40 кількістю пікселів 2048×2048 , охолоджену рідким азотом, і ширококутові фільтри. Масштаб зображення в касегренівському фокусі Цейс-1000 становить $15.6''/\text{мм}$, що при розміру елемента матриці 13.5 мкм становить $0.212''/\text{елемент}$. Повне поле зору фотометра - $7.2' \times 7.2'$. Квант перетворення (ADU) становив 2.1-е, що дозволяє реалізувати динамічний діапазон детектора. Шум зчитування при цьому становив 4-е [3].

Для приведення інструментальної системи до міжнародної була використана стандартна методика. Спостереження проводились у 5-ти різних смугах пропускання. Були враховані пропускання атмосфери, оптика телескопа, спектральна чутливість приймача. Це показано на рис.2.

Також були враховані характеристики фільтрів. Таким чином отримана колориметрична інструментальна система близька до стандартної системи Джонсона-Коузіна. Для редукції інструментальної системи до міжнародної використовувалися фото-метричні зорі-стандарті, розташовані в області небесного екватора.

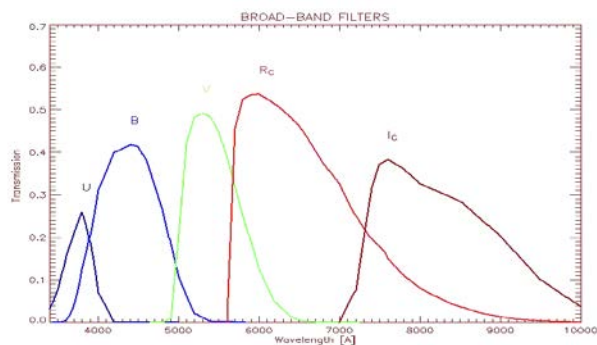


Рис 2.2 Інструментальна колориметрична 5-ти колірна система на телескопі Цейс-1000 під час спостереження досліджуваних ГСС.

Результати спостережень ГСС

В межах експерименту проведені спостереження трьох геостационарних об'єктів, а саме «Intelsat-7», «EXPRESS-AM22», «Skynet-5B»[4]. Зовнішній вигляд даних ГСС наведено нижче на рисунках 3, 4, 5.



Рис.3. Вигляд супутника «Intelsat- 7».

Всі об'єкти мають по дві плоскі панелі сонячних батарей.

Відповідно, координати під супутникових точок на поверхні Землі представлені в таблиці 1. В цій же таблиці приведені дати спостережень, час спостережень і спектральна область в якій фіксувався блиск супутників.

Координати пункту спостережень наступні: $\lambda^{\circ}=41^{\circ}26'25''$ $\varphi^{\circ}=43^{\circ}38'48''$.



Рис 4. Вигляд супутника «EXPRESS-AM22».



Рис. 5.Вигляд супутника«Skynet- 5B»

Таблиця 1
Характеристика колориметричних спостережень ГСС та їх розміщення на орбіті

№ п/п	1	2	3
Назва ГСС	Intelsat- 7	EX-PRESS-AM22	Skynet-5B
Дата	26.09. 2012	26.09. 2012	27.09. 2012
UT, hh:mm	18:08- 18:31	19:15- 22:45	20:38- 23:31
Фільтр	U,B,V,R,I	U,B,V,R,I	U,B,V,R,I
λ°	68.6	54.6	52.8
φ°	0.0497	0.1000	0.0714

На рис. 6-10 приведено так звані стандартизовані криві блиску супутника «Intelsat-7» на рис. 11-15 супутника «Express-AM22», а на рис. 16-20 «Skynet-5B». Це блиск супутників екстрапольований на одну і ту ж топоцентричну віддаль (36000 км) з врахуванням стану атмосфери (екстинкції) на момент спостережень.

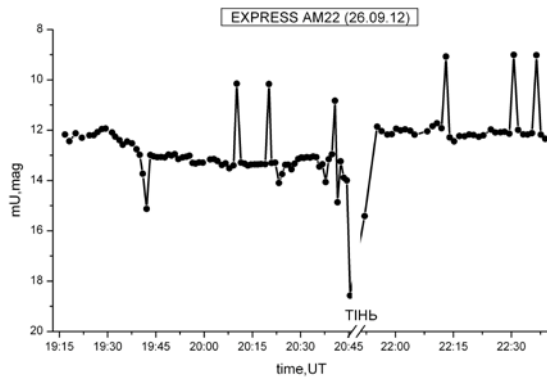


Рис. 6. Крива блиску ГСС «Express-AM22» в U фільтрі



Рис 9. Крива блиску ГСС «Express-AM22» в R фільтрі

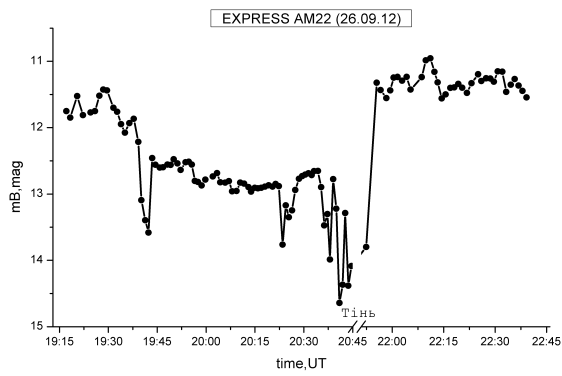


Рис 7. Крива блиску ГСС «Express-AM22» в V фільтрі

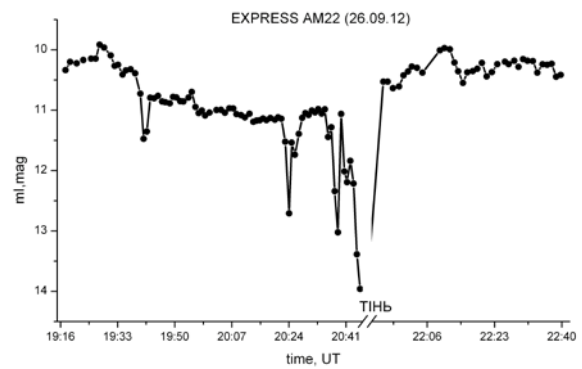


Рис 10. Крива блиску ГСС «Express-AM22» в I фільтрі

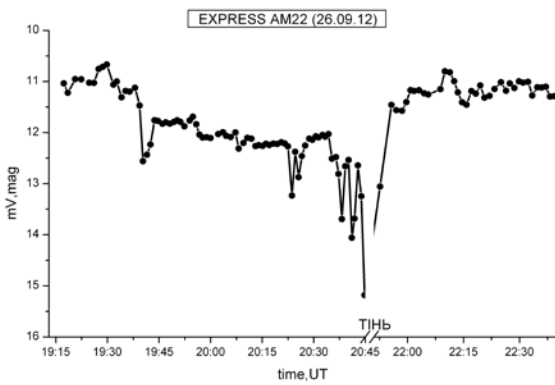


Рис 8. Крива блиску ГСС «Express-AM22» в V фільтрі

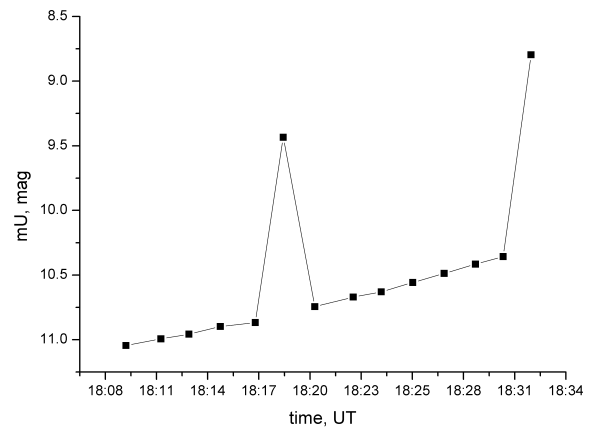


Рис 11. Крива блиску ГСС «Intelsat 7» в U фільтрі

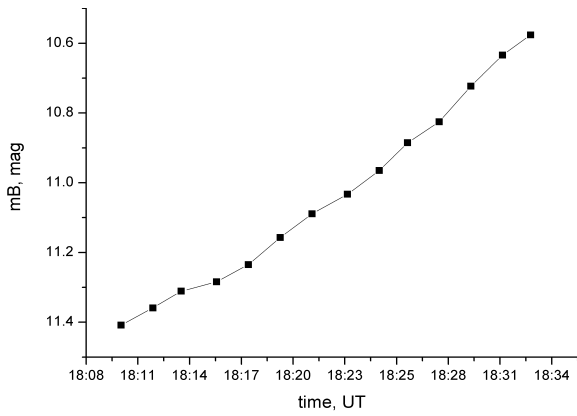


Рис 12. Крива блиску ГСС «Intelsat 7» в V фільтрі

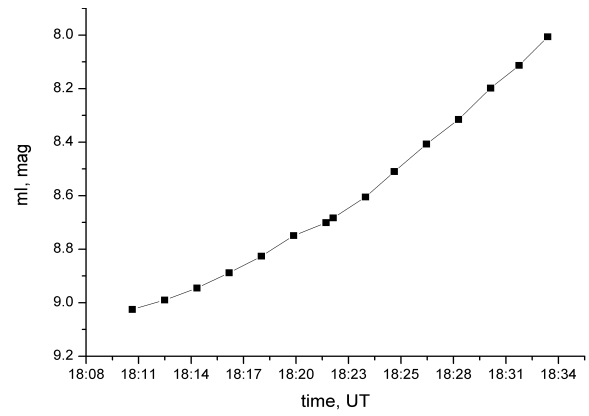


Рис 15. Крива блиску ГСС «Intelsat 7» в I фільтрі

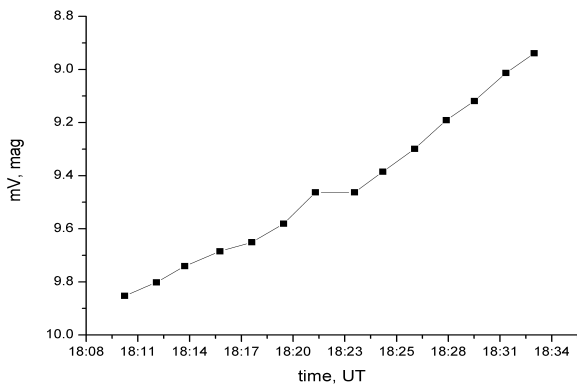


Рис 13. Крива блиску ГСС «Intelsat 7» в V фільтрі

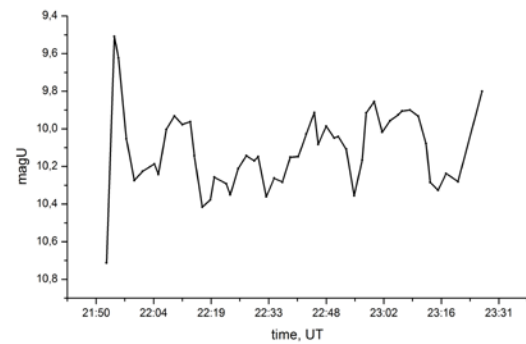


Рис 16. Крива блиску ГСС «Skynet- 5B» в U фільтрі

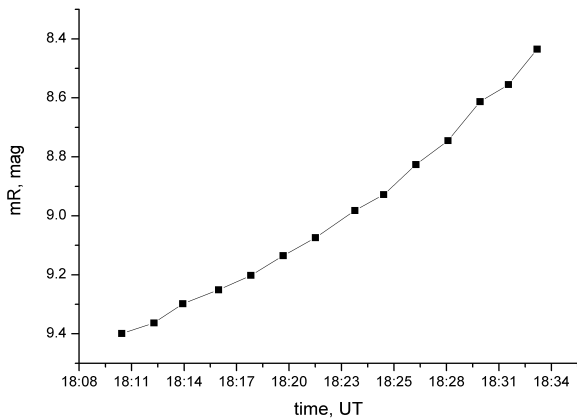


Рис 14. Крива блиску ГСС «Intelsat 7» в R фільтрі

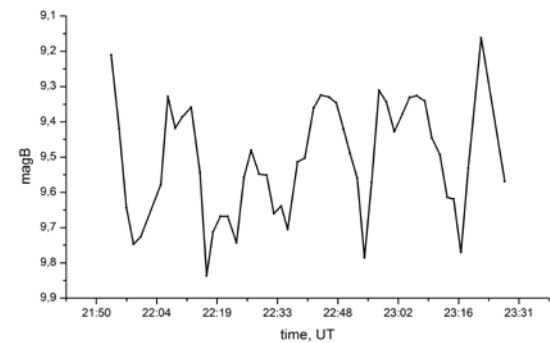


Рис 17. Крива блиску ГСС «Skynet- 5B» в B фільтрі

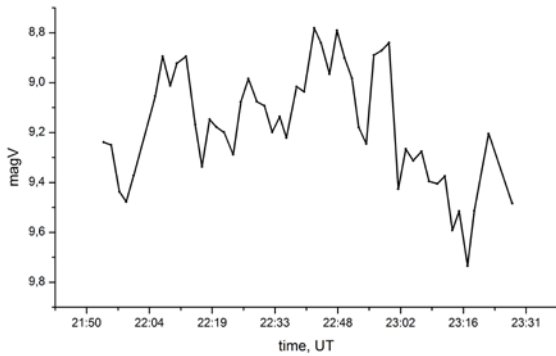


Рис 18. Крива блиску ГСС «Skynet- 5B» в V фільтрі

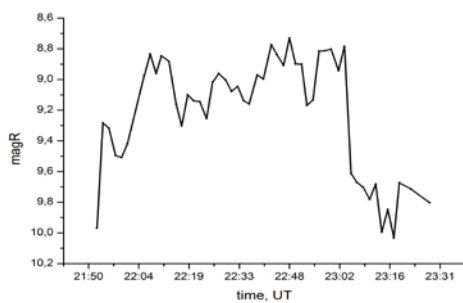


Рис 19. Крива блиску ГСС «Skynet- 5B» в R фільтрі

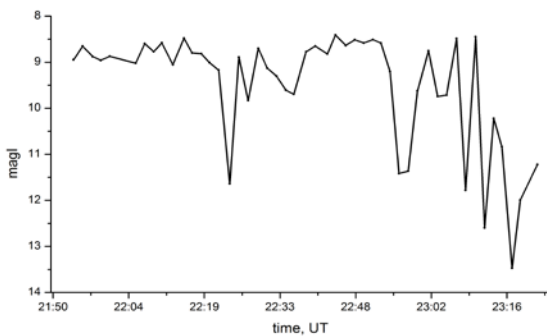


Рис 20. Крива блиску ГСС «Skynet- 5B» в I фільтрі

ГСС «Express-AM22» спостерігався до і після заходу супутника в тінь Землі. Час перебування об'єкта в тіні відмічено на ординаті X розривом. ГСС «Intelsat-7» спостерігався до входження в тінь Землі, а «Skynet- 5B» після виходу його з тіні Землі. Таким чином кожне спостереження

ГСС представлено набором значень блиску в п'яти ділянках, які охоплюють видимий діапазон випромінювання.

Висновки

З отриманих результатів видно, що колориметричні спостереження дозволяють ідентифікувати КА, навіть коли вони на перший погляд виглядають однаково. Вже перша спроба проведення спостережень ГСС в ультрафіолетовій області спектра показали, що така інформація суттєво доповнює дані про оптичні та фізичні характеристики їх поверхні, отриманими в класичній B, V, R – колірній системі. Криві блиску, записані в U каналі, відрізняються не лише від супутника до супутника, але й від інших каналів одного і того ж об'єкта. Так ГСС «Intelsat-7» більш яскравий в ультрафіолетовій, ніж в синій області спектра. Тільки в U фільтрі видно два квазідзеркальних підйоми блиску через 14 хвилин. В КА «Express-AM22» на відміну від каналів B, V, R, I в U каналі зафіксовані симетричні групи дзеркальних спалахів, які в межах групи проявлялися через 8,5 і 21,5 хвилин. Кожен дзеркальний спалах - це ключ до визначення орієнтації в просторі відбиваючого фрагмента поверхні ШСЗ та його ідентифікації. У ГСС «Skynet- 5B» квазідзеркальні підйоми блиску уже спостерігалися як в U так і в V фільтрах. В даному випадку вони викликані, на наш погляд, поворотом сонячних батарей, що відбуваються через кожні 20 хвилин. Співставлення цих даних з результатами, отриманими в R, I фільтрах, дає змогу розрізнити відбиття світла від панелей сонячних батарей чи радіоантен.

Проведений експеримент підтвердив, що застосування 5-ти колірної системи Джонсона – Коузіна у дослідженнях стану поверхні ГСС і їх ідентифікації не просто перспективні, але і необхідні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Демченко Б.И., Диденко А.В., Матягин В.С., Мосин А.П. // Автоматизация наблюдений подвижных космических объектов. Казахская ССР: Наука, Алма-Ата, –1990. – С. 158.
2. <https://www.sao.ru/Doc-k8/Telescopes/small/descrip.html>
3. <https://www.sao.ru/Doc-k8/Telescopes/small/instrum.html>
4. Барна И.В., Габдеев М.В., Епишев В.П., Кудак В.И. Результаты колориметрических наблюдений геостационарных объектов в 5-ти цветовых полосах: 13-та Українська конференція з космічних досліджень, Євпаторія, Україна, – 2013. – С.70.

Стаття надійшла до редакції 20.06.2017

В.П. Епишев¹, И.В. Барна¹, В.И. Кудак¹, В.М. Периг¹, М.М. Габдеев².

¹Ужгородський національний університет, Лабораторія космічних досліджень, 88000, Ужгород, ул. Далекая 2а

²Специальная астрофизическая обсерватория, РАН, Нижний Архыз, Зеленчукский район, Карачаево-Черкесская республика, Россия, 369167

МНОГОЦВЕТОВАЯ ФОТОМЕТРИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ

В работе приведены первые результаты колориметрических наблюдений 3-х ГСС в 5-ти спектральных полосах – U, B, V, R, I. Наблюдения проводились осенью 2012-го года на телескопе ZEISS-1000 при поддержке коллег с САО РАН. Высокогорное расположение обсерватории и характеристики ПЗС-камеры позволили провести наблюдения ГСС в ультрафиолетовой области спектра, которая ранее практически была не доступна для наблюдений с низинных украинских обсерваторий. Результаты эксперимента показали необходимость наблюдений ГСС в U-диапазоне. В ультрафиолете была получена информация, которая никак себя не проявляла в других спектральных полосах. Эти данные в сочетании с результатами в I-диапазоне значительно расширили информационный канал о состоянии покрытий современных ГСС.

Ключевые слова: кривая блеска, геостационарный спутник, спектральные диапазоны, телескоп, звездная величина.

PACS 95.85.Kr, 96.25.De, 96.25.Vt

DOI: 10.24144/2415-8038.2017.41.132-139

V. Epishev¹, I. Barna¹, V. Kudak¹, M. Perig¹, M. Gabdeev²

¹Uzhhorod National University, Laboratory of Space Researches, 88000, Uzhhorod, Daleka Str., 2a

²Special Astrophysical Observatory, Nizhnij Arkhyz, Zelenchukskiy region, Karachai-Cherkessian Republic, Russia 369167

MULTICOLOR PHOTOMETRY OF GEOSTATIONARY OBJECTS

Purpose. The purpose of this work is the investigation characteristics of geosynchronous satellites in multicolor bands, including rare used U and I bands.

Methods. In this research method of CCD photometry was used. All light curves of artificial satellites obtained on 1 meter telescope.

Results. The first results of colorimetric observations of 3 geostationary objects in 5 spectral bands - U, B, V, R, I - are presented. The observations were made in the fall of 2012 using the ZEISS-1000 telescope with the support of colleagues from the SAO RAS. The high-altitude location of the observatory and the characteristics of the CCD camera made it possible to conduct observations of the GSS in the ultraviolet region of the spectrum, which previously was practically not available for observations from low-lying Ukrainian observatories.

Conclusions. The results of the experiment showed the need for observations of the GSS in the U-band. In the ultraviolet, information was obtained that did not manifest itself in any other spectral bands. These data, combined with the results in the I-range, significantly expanded the information channel in the field of the coatings of modern GSS condition.

Key words: light curve, geostationary satellite, spectral ranges, telescope, stellar magnitude.

PACS NUMBER: 95.85.Kr, 96.25.De, 96.25.Vt

REFERENCES

1. Demchenko, B.I., Didenko, A.V., Matagin, V.S., Mosin, A.P. (1990), "Automatisation of moving space object observation" [Avtomatizatsiya nablyudeniya podvizhnykh kosmicheskikh obyektov], Nauka, Alma-Ata, p. 158.
2. <https://www.sao.ru/Doc-k8/Telescopes/small/descrip.html>
3. <https://www.sao.ru/Doc-k8/Telescopes/small/instrum.html>
4. Barna, I.V., Gabdeev, M.V., Epishev, V.P., Kudak, V.I. (2013), "Results of colorimetric observation of geostationary objects in 5 color bands" [Rezultaty kolorimetricheskikh nablyudeniya geostatsionarnykh obyektov v 5-ti tsvetovykh polosakh], 13th ukrainian conference on space research [13-ta Ukrainska konferentsiia z kosmichnykh doslidzhen], Evpatoria, Ukraine, p.70.

© Ужгородський національний університет