

УДК 520:52.14

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

DOI: 10.24144/2415-8038.2017.41.146-152

В.П. Єпішев, В.І. Кудак, М.М. Павлюк, В.М. Періг

Ужгородський національний університет, Лабораторія космічних досліджень, 88000,

Ужгород, вул. Далека 2а

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОСТАЦІОНАРНИХ СУПУТНИКІВ ЗА ДАНИМИ КОЛОРИМЕТРІЇ

В роботі розглянуті результати досліджень фотометричних характеристик поверхонь 3-ох ГСС, які спостерігалися в САО РАН в U, V, R, I фільтрах співробітником Лабораторії космічних досліджень ДВНЗ «УжНУ» за допомогою місцевих астрономів. Встановлена орієнтація і колор-індекси ГСС «Intelsat-7», «Express-AM22» і «Skynet-5B». За ними проведена ідентифікація фрагментів видимої під час спостережень частини поверхні даних космічних об'єктів. Показано, що оптичні властивості матеріалів покриття різних КА достатньо відмінні, навіть якщо, на перший погляд, об'єкти здаються однакові. Особливо це стосується спектральної області U (ультрафіолет) та I (інфрачервоний діапазон).

Ключові слова: крива блиску, геостационарний супутник, колор-індекс, телескоп, зоряна величина.

Вступ

Зростання числа ШСЗ в навколосемному просторі, в тому числі і геостационарних супутників (ГСС), вимагає нових підходів до контролю за їх переміщенням і ототожненням. Одним з шляхів розв'язку існуючих проблем в наш час є багатоколірні фотометричні методи спостережень ШСЗ. Підключення великих телескопів і високочутливих ПЗЗ камер до фотометричних спостережень дає можливість не тільки краще контролювати поведінку на орбіті все менших і менших за розмірами та слабших за блиском ГСС, а й ефективно розширяти область досліджень пов'язану з фотометричними характеристиками поверхонь цих об'єктів та їх змінами в часі.

Одним з основних факторів у випадку багатоколірних спостережень небесних об'єктів є показник кольору C , що характеризує відносний розподіл енергії в двох ближніх ділянках спектра [1]. В загальному вигляді цей показник можна представити, як:

$$C_{1,2} = m_1 - m_2 = -2.51g \frac{\int_0^x E(\lambda)\gamma_1(\lambda)Q_1(\lambda)d\lambda}{\int_0^x E(\lambda)\gamma_2(\lambda)Q_2(\lambda)d\lambda}$$

де $E(\lambda)$ – випромінююча об'єктом, або падаюча на нього енергія; $\gamma(\lambda), Q(\lambda)$ – це відношення коефіцієнта спектрального пропускання системи фільтр-телескоп-квантовий вихід приймача; m_1 та m_2 – видимий блиск об'єкта. У Сонця цей показник у різних смугах наступний: $C_1 = U - V = 0.10$, $C_2 = V - V = 0.65$, $C_3 = V - R = 0.04$, $C_4 = R - I = 0.09$. У випадку падіння сонячного випромінювання на поверхню ШСЗ відбувається його спектральний перерозподіл в залежності від оптичних і фотометричних характеристик окремих її ділянок. Так, коефіцієнт відбивання світла суттєво залежить від довжини падаючої хвилі, а вид цієї залежності характеризує матеріал покриття супутника. Відомо, що конструкція будь-якого КА має ряд покриттів,

утворених різними фарбами, тканинами та елементами екранно-вакуумної термоізоляції, що складається з декількох шарів металізованої полімерної плівки перекладеної скловатою. Серед матеріалів покриття, обов'язково присутні метали, в основному алюміній, сталь, титан. В склад панелей сонячних батарей переважно входять кремній та галій [2]. Відповідно криві зміни блиску ШСЗ записані в різних областях спектру, будуть відрізнятися одна від одної.

Визначення орієнтації ГСС

Для дослідження колор-індекса різних ділянок поверхні космічних апаратів були вибрані ГСС «Intelsat-7», «Express-AM22» і «Skynet-5B». Кожен з ГСС має по дві плоскі панелі сонячних батарей (ПСБ), які складаються відповідно з 4-ох, 5-ти і 6-ти секцій[3, 4, 5]. Їх спостереження в 5-ти фільтрах (U,B,V,R,I) були здійсненні 26-27

вересня 2012 року зі згоди та за допомоги співробітників Спеціальної астрофізичної обсерваторії (САО) РАН [6]. Обробка і аналіз результатів спостережень виконані в ЛКД ДВНЗ «УжНУ». За отриманими значеннями позиційних даних була розрахована орієнтація КА на орбіті згідно методики, розробленої в ЛКД ДВНЗ «УжНУ» [7]. За основу взято координатну інформацію на моменти часу, в які спостерігалися дзеркальні спалахи у відбитому від поверхні ГСС світлі (в фільтрах U, I). Звідси були визначені в спутникоцентричній екваторіальній системі координат напрямки: нормалі від бликуючих поверхонь, «спутник – центр Землі», «спутник - спостерігач» та різноманітні кути освітлення та видимості поверхні апаратів. Завдяки таким розрахункам видно, який фрагмент поверхні спостерігач бачить у фіксований момент часу. Результати розрахунків приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати розрахунків напрямків нормалі від відбиваючої поверхні ГСС і напрямку «спутник-Центр-Землі.»

Назва ГСС	UT	$\alpha_g, ^\circ$	δ_g	α_n	$\delta_n, ^\circ$	N	E	α_o	δ_o
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
«Intel-sat-7»	18 ^h 19 ^m 26	169.25	-0.01	178.10	2.48	9.18	6.74	183.73	-1.61
	18 ^h 33 ^m 22 ^s	172.74	-0.01	179.83	2.48	7.52	5.73	183.73	-1.61
«Express-AM 22»	20 ^h 11 ^m 52 ^s	182.00	-0.03	183.63	2.50	3.00	4.13	183.79	-1.64
	20 ^h 20 ^m 34 ^s	184.15	-0.03	184.68	2.50	2.56	4.22	183.80	-1.64
	20 ^h 42 ^m 48 ^s	189.50	-0.03	187.44	2.51	3.43	5.48	183.81	-1.65
	22 ^h 10 ^m 00 ^s	211.68	-0.02	198.42	2.55	13.51	15.16	183.87	-1.67
	22 ^h 31 ^m 00 ^s	216.90	-0.02	201.06	2.58	16.08	17.69	183.88	-1.68
	22 ^h 39 ^m 20 ^s	218.95	-0.02	202.08	2.60	17.11	18.76	183.88	-1.68
«Skynet-5B»	21 ^h 55 ^m 20 ^s	208.64	-0.03	197.40	2.39	11.55	14.41	184.76	-2.06
	22 ^h 55 ^m 13 ^s	223.70	-0.03	204.90	2.41	19.00	20.61	184.77	-2.06
	23 ^h 01 ^m 03 ^s	225.15	-0.02	205.62	2.41	19.70	21.27	184.79	-2.07
	23 ^h 08 ^m 35 ^s	227.05	-0.02	205.60	2.43	20.65	22.11	184.80	-2.07
	23 ^h 21 ^m 34 ^s	230.25	-0.02	208.15	2.60	22.73	23.76	184.81	-2.08

В першій колонці таблиці - назва спостережуваного ГСС, в другій – моменти дзеркальних спалахів на кривих блиску, в третій і четвертій – екваторіальні координати напрямку «спутник-центр-Землі», в п'ятій і шостій – екваторіальні координати напрямку нормалі, в сьомій – кут між напрямками нормалі і «спутник-центр-

Землі», в восьмій – кут падіння і відбивання світла від поверхні ГСС у моменти дзеркального спалаху, дев'ятій і десятій - екваторіальні координати положення Сонця.

Координати підспутникових точок ГСС на момент спостережень та телескопу Цейс-1000 приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Топографічні координати ГСС та пункту спостережень

№ п/п	Назва ГСС	Дата	λ°_{CAO}	φ°_{CAO}	λ°	φ°
1.	Intelsat- 7	26.09.2012	41.44	43.65	68.62°	0.05°
2.	EXPRESS-AM22	26.09.2012			54.63°	0.10°
3.	Skynet- 5B	27.09.2012			52.80°	0.07°

Розрахунок інструментального колор-індекса ділянок поверхні ГСС

Розрахунок інструментального колор-індекса досліджуваних ГСС був проведений за даними їх фотометричних спостережень в 5-ти спектральних ділянках. Для супутника «Intelsat- 7» на 70 моментів ча-

су, «EXPRESS-AM22» на 570, «Skynet-5B» на 245. Результати підрахунку на вибрані моменти часу приведені в таблиці 3. Ці дані в процесі аналізу співставлялися з відповідними значеннями орієнтації досліджуваних ділянок поверхні КА. В останньому рядку таблиці 3 відзначений колор-індекс Сонця.

Таблиця 3

Результати розрахунків колор-індексів спостережуваних ГСС

Назва ГСС	UT	B-V	U-B	V-R	R-I	V-I
1	2	3	4	5	6	7
«Intelsat-7».	18 ^h 12 ^m 00 ^s	1 ^m .56	-0 ^m .37	0 ^m .44	0 ^m .38	0 ^m .81
	18 ^h 13 ^m 56 ^s	1.57	-0.37	0.44	0.37	0.81
	18 ^h 15 ^m 53 ^s	1.60	-0.37	0.43	0.36	0.79
	18 ^h 19 ^m 26 ^s	1.57	-1.74	0.45	0.38	0.84
	18 ^h 21 ^m 12 ^s	1.62	-0.34	0.38	0.37	0.77
	18 ^h 23 ^m 11 ^s	1.57	-0.36	0.46	0.31	0.79
	18 ^h 26 ^m 32 ^s	1.58	-0.33	0.45	0.32	0.78
	18 ^h 28 ^m 17 ^s	1.63	-0.34	0.44	0.34	0.78
	18 ^h 30 ^m 03 ^s	1.60	-0.31	0.51	0.30	0.80
	18 ^h 33 ^m 22 ^s	1.63	-1.74	0.51	0.32	0.82
«Express-AM 22».	19 ^h 20 ^m 38 ^s	0.57	0.61	0.39	0.34	0.73
	19 ^h 31 ^m 45 ^s	0.63	0.39	0.51	0.28	0.79
	19 ^h 43 ^m 41 ^s	0.69	0.00	0.28	0.40	0.70

	19 ^h 46 ^m 01 ^s	1.40	1.75	0.90	0.40	1.52
	20 ^h 02 ^m 15 ^s	0.62	0.43	0.20	0.75	1.15
	20 ^h 11 ^m 52 ^s	0.72	-2.00	0.63	0.60	1.10
	20 ^h 20 ^m 34 ^s	0.69	-2.71	0.40	0.69	1.12
	20 ^h 25 ^m 35 ^s	0.48	0.03	0.27	0.10	0.35
	20 ^h 42 ^m 48 ^s	0.64	-3.5	0.8	-0.30	1.53
	21 ^h 59 ^m 39 ^s	0.03	0.45	0.15	0.59	1.10
	22 ^h 05 ^m 34 ^s	0.17	0.90	0.30	0.69	1.10
	22 ^h 09 ^m 60 ^s	0.18	-2.40	0.63	0.20	0.94
	22 ^h 30 ^m 58 ^s	0.13	-2.03	0.27	0.35	0.84
	22 ^h 39 ^m 20 ^s	0.25	-2.00	0.63	0.20	0.87
«Skynet-5B».	21 ^h 55 ^m 20 ^s	-0.028	0.298	-0.045	0.63	0.585
	22 ^h 05 ^m 26 ^s	0.524	0.608	0.078	0.378	0.456
	22 ^h 20 ^m 10 ^s	0.469	0.589	0.055	-2.495	-2.44
	22 ^h 35 ^m 43 ^s	0.484	0.557	0.062	0.383	0.445
	22 ^h 55 ^m 30 ^s	0.682	0.783	0.074	-2.549	-2.475
	23 ^h 04 ^m 15 ^s	0.018	0.626	-0.3	1.127	0.827
	23 ^h 06 ^m 20 ^s	0.05	0.599	-0.396	-2.108	-2.504
	23 ^h 07 ^m 45 ^s	-0.054	0.564	-0.306	1.251	0.945
	23 ^h 09 ^m 27 ^s	0.041	0.454	-0.376	-2.814	-3.19
	23 ^h 13 ^m 36 ^s	0.022	0.465	-0.403	-0.842	-1.245
	23 ^h 14 ^m 22 ^s	0.104	0.665	-0.332	-3.621	-3.953
	23 ^h 18 ^m 42 ^s	0.017	0.706	-0.159	-1.55	-1.709
	23 ^h 21 ^m 34 ^s	-0.043	1.118	-0.508	-4.015	-4.523
Сонце	-	0.64	0.10	0.04	0.09	0.13

Таблиця 4.

Класифікація типових матеріалів покриття КА і техногенного сміття за фотометричними властивостями

№	Вид матеріала		Альbedo	Показник світла, m		
				U - B	B - V	V - R
1	Білі (сірі) покриття	диф.	0.2÷0.8	0÷0.4	-0.05÷0.2	0÷0.4
2.	Чорні покриття (графіто-епоксид. Склад, тканини)	диф.	0.01÷0.05	0.1÷0.2	-0.05÷0.05	0.1÷0.2
3.	Жовто-зелене	диф.	0.1÷0.5	0.8÷2.0	0.2÷0.7	-0.8÷2.0

	покриття					
4.	Червоно-коричневе покриття	диф.	0.1÷0.3	1.0	0.5÷1.2	0.5÷1.5
5.	СБ	зерк.	0.03÷0.100	-	-0.3÷0.5	0
6.	Металеві покриття	зерк.	0.5÷0.9	0.0÷0.2 1	0.0÷0.4	0.0÷0.2

Аналіз отриманих результатів

В процесі досліджень нами були використані ще класифікатори окремих типів покрить КА за фотометричними властивостями, які приведені в таблиці 4 [1].

ГСС «Intelsat-7» - потужний ретранслятор, на якому розміщено до 5-ти параболічних радіоантен. Отримані значення колор-індексів його поверхні показують, що найкраще відбивання сонячного випромінювання від неї відбувається в U та I діапазонах спектра. Відносно слабе свічення супутника в В діапазоні. Два дзеркальних спалахи в U діапазоні у 18h18m26s та 18h33m22s від фрагментів поверхні, що розміщені під кутами $9^{\circ}.18$ та $7^{\circ}.52$ до напрямку «зеніт-надир» говорять на користь того, що переважне свічення даного ГСС сформоване не панелями сонячних батарей а параболічними радіо та інфрачервоною антенами з металічним покриттям. Такий характерний для цього ГСС перерозподіл падаючого на нього сонячного випромінювання надає можливість ідентифікувати даний КА серед інших ГСС.

ГСС «Express-AM 22» - російський супутник зв'язку, що охоплює контролем більшу частину азійського континенту. У даного ГСС відбитий потік сонячного випромінювання в переважній більшості формується ПСБ, який краще проявляється в В діапазоні. На цей потік накладаються дзеркальні спалахи в U діапазоні і квазі-дзеркальні збільшення блиску КА в I діапазоні. Використовуючи дані про напрямки нормалі з таблиці 1, можна стверджувати, що три дзеркальні спалахи видимі до входження супутника в тінь Землі породжені радіоантенами направленими в при екваторіальні райони земної кулі. Три інші дзеркальні спалахи, видимі після виходу супутника з тіні Землі, йдуть від радіоантен направлених в сторону території Росії. Квазідзеркальні одинарні підйоми блиску

КА до і після його входження в тінь землі обумовлені різнонаправленими антенами, які працюють в ближньому інфрачервоному діапазоні спектра.

ГСС «Skynet-5B» - англійський супутник військового призначення. За даними колор-індекса видно, що відбитий супутником світловий потік переважно формують ПСБ (В-діапазон з добавками з U діапазону), які з періодом приблизно 20 хв відслідковують Сонце. На це відбиття накладається червона складова породжена фрагментами, що мають червоно-коричневий колір. Це явно не ПСБ. На поверхні даного ГСС спостерігаються деталі ще жовтого кольору. Останні, найбільш імовірно, параболічні радіоантени, на які нанесена молібденова сітка з золотим нашаруванням. Вони на момент спостережень були скеровані в бік південно-східної Європи. В грудні 2012 року ГСС перевели на захід в точку стояння $\lambda_{с.д.}=25^{\circ}.1$, де за даними співробітників Одеської астрономічної обсерваторії на 20.07.2017 року він перебуває в застабілізованому робочому стані.

Висновки

Застосування фотометричної системи Джонсона-Коузінса значно розширює можливості контролю та ідентифікації далеких геостаціонарних об'єктів. Використання в порівнянні з класичною системою В, V, R інформації в U та I спектральних діапазонах у процесі дослідження трьох, на перший погляд, подібних КА, дало можливість не лише більш чітко розділити фрагменти їх поверхонь та орієнтацію в просторі, але і виявити суттєві відмінності в матеріалах покриттів цих ГСС. У супутника військового призначення «Skynet-5B» радіоантени покриті жовтим кольором (можливо молібденова сітка з золотим нашаруванням) на відміну від білих, металічних покрить у ГСС «Intelsat-7» та «Express-AM 22». Відмічені зміни і у виготов-

ленні сонячних батарей. Якщо «Skynet-5B» за отриманими даними має сонячні батареї, виготовлені на основі кремнію (переважне свічення у В діапазоні), то в «Express-AM 22», як мінімум на основі германію, а можливо вже і арсеніда галію (більше свічення в V, R діапазоні). В I діапазоні

ідентифіковані антени, що працюють в ближньому інфрачервоному діапазоні.

Продовження таких досліджень в перспективі дає можливість не лише оцінити більш детально матеріали покриття сучасних ГСС, але і реальний вплив на них космічного середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Муртазов А. К. Оптические свойства поверхностей ИКО и техногенных отходов в космосе. Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы. – М.: Космосинформ, 2000. – С. 262-268.
2. Веверка Дж. Фотометрия поверхности спутников // Спутники планет. Под ред. Дж. Береса. – М.: Мир, 1980. – С. 203-243.
3. http://space.skyrocket.de/doc_sdat/skynet-5.htm
4. http://space.skyrocket.de/doc_sdat/ekspres-s-am-22.htm
5. http://space.skyrocket.de/doc_sdat/pas-7.htm
6. <https://www.sao.ru/Doc-k8/Telescopes/small/descrip.html>
7. Kudak V.I., Epishev V.P., Perig V.M. and Neybauer I.F. Determining orientation and spin period of TOPEX/Poseidon satellite by photometry method // Astrophysical Bulletin. – 2017. –V. 72. – Iss. 3. – P. 340-348.

Стаття надійшла до редакції 20.06.2017

В.П. Епишев, В.И. Кудак, М.М. Павлюк, В.М. Периг

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ ПО ДАННЫМ КОЛОРИМЕТРИИ

В работе рассмотрены результаты исследований фотометрических характеристик поверхностей 3-х ГСС, которые наблюдались в САО РАН в U, B, V, R, I фильтрах, сотрудником Лаборатории космических исследований ГВУЗ «Уж-НУ» с помощью местных астрономов. Установлена ориентация и коллар-индексы ГСС «Intelsat-7», «Express-AM22» и «Skynet-5B». За ними проведена идентификация фрагментов видимой во время наблюдений части поверхности данных космических объектов. Показано, что оптические свойства материалов покрытия различных КА достаточно разные, даже если, на первый взгляд, объекты кажутся одинаковыми. Особенно это касается спектральной области U (ультрафиолет) и I (инфракрасный диапазон).

Ключевые слова: кривая блеска, геостационарный спутник, колор-индекс, телескоп, звездная величина.

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

DOI: 10.24144/2415-8038.2017.41.146-152

V. Epishev, V.Kudak, M. Pavluk, M. Perig,

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

INVESTIGATION OF SURFACE CHARACTERISTICS OF GEOSTATIONARY SATELLITES ACCORDING TO COLORIMETRIC DATA

Purpose. The purpose of this work is the investigation of geosynchronous satellite's surface characteristics.

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

Results. The results of investigations of photometric characteristics of 3 GSO that were observed in the SAO RAS in U, B, V, R, I filters, by the employee of the Space Research Laboratory of UzhNU with the help of local astronomers are presented. Orientation and color-indexes of GSS "Intelsat-7", "Express-AM22" and "Skynet-5B" are defined. The identification of space objects fragments visible during their observation are made.

Conclusions. Showed that the optical properties of satellite materials are quite different, even if, at first sight, the objects appear to be the same. This is especially true for the spectral region U (ultraviolet) and I (infrared). Photometry observations of GSO objects in U and I bands should continued, influence of space environment on different satellite surfaces can be investigated.

Keywords: light curve, geostationary satellite, color index, telescope, stellar magnitude.

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

REFERENCES

1. Murtazov, A.K. (2000), "Optical properties of the surfaces of the artificial space objects and technogenic debris in space" [Opticheskie svoystva poverkhnostej IKO i texnogennyx otxodov v kosmose], Near-Earth astronomy and problems of small bodies of solar system study [Okolozemnaya astronomiya i problemy izucheniya malyx tel Solnechnoj sistemy], Kosmosinform, Moscow, pp. 262-268.
2. Veverka, J. (1980), "Photometry of satellites surfaces" [Fotometriya poverkhnosti sputnikov], planets satellites. Ed. J. Beres [Sputniki planet. Pod. red. Dzh. Beresa.], Mir, Moscow, pp. 203-243.
3. http://space.skyrocket.de/doc_sdat/skynet-5.htm
4. http://space.skyrocket.de/doc_sdat/ekspress-am-22.htm
5. http://space.skyrocket.de/doc_sdat/pas-7.htm
6. <https://www.sao.ru/Doc-k8/Telescopes/small/descrip.html>
7. Kudak, V.I., Epishev V.P., Perig V.M. and Neybauer I.F., (2017), "Determining orientation and spin period of TOPEX/Poseidon satellite by photometry method", Astrophysical Bulletin, No. 72(3), pp. 340-348.

© Ужгородський національний університет