

відсутністю інформації про геометричне стиснення внутрішніх шарів планет-гігантів.

Відносні похибки визначення перших гравітаційних моментів складають, порівнюючи з середнім значенням даних астрономічних спостережень,  $\delta(J_{2n}) < 1 \%$ ,  $n = 1, 2$ . Порівняння більш високих гравітаційних моментів на даний час неможливе через відсутність надійних даних астрономічних спостережень.

1. Антонов В. А., Железняк О. О., Завізіон О. В. Описання гравітаційного потенціалу тіл обертання // Вісник Астрон. школи.—2000.—1, № 1.—С. 44—50.
2. Антонов В. А., Тимошкова Е. И., Холишевников К. В. Введение в теорию ньютоновского потенциала. — М.: Наука, 1988.—272 с.
3. Ахиезер Н. И. Классическая проблема моментов. — М.: Физматгиз, 1961.—312 с.
4. Дубошин Г. Н. Теория притяжения. — М.: Физматгиз, 1961.—288 с.
5. Завізіон О. В. Самогравітуючі диски як засоби описання зовнішніх гравітаційних полів небесних тіл // Кинематика и физика небес. тел.—2000.—16, № 5.—С. 477—480.
6. Кондратьев Б. П. Теория потенциала: эквигравитирующие стержни для осесимметричных тел // Вестник Удмуртского ун-та.—2000.—4.—С. 108—127.

Поступила в редакцию 23.10.00

УДК 521.9 (085)

## **Каталог положень, елементів орбіт геосинхронних космічних об'єктів ГОСКУ99 та особливості ототожнення активних геостаціонарних супутників**

А. Г. Кириченко<sup>1</sup>, Л. М. Кізюн<sup>2</sup>, В. У. Клімик<sup>1</sup>, К. А. Кудак<sup>1</sup>, Г. М. Мацо<sup>1</sup>, М. І. Демчик<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Лабораторія космічних досліджень, Ужгородський державний університет, 88000, Ужгород, вул. Далека 2а

<sup>2</sup>Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Голосіїв, 03680, Київ 127, Голосіїв

*Подані відомості про каталог ГОСКУ99 (Каталог геосинхронних об'єктів Київ—Ужгород), який містить топоцентричні екваторіальні координати та елементи орбіт геосинхронних супутників за фотографічними спостереженнями в ГАО НАН України та ЛКД УЖДУ в 1999 р. ([http://www.maо.kiev.ua/ast/geo4\\_txt.htm](http://www.maо.kiev.ua/ast/geo4_txt.htm)). Представлені результати ототожнення 140 об'єктів за 2445 спостереженнями із загального числа 2570 спостережень 169 об'єктів. Розглядаються особливості ототожнення активних геостаціонарних супутників.*

**КАТАЛОГ ПОЛОЖЕНИЙ, ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТ ГЕОСИНХРОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ГОСКУ99 И ОСОБЕННОСТИ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ АКТИВНЫХ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ, Кириченко А. Г., Кизюн Л. Н., Климик В. У., Кудак К. А., Мацо Г. М., Демчик М. И. — Приводятся данные о каталоге ГОСКУ99 (Каталог геосинхронных объектов Киев—Ужгород), который содержит топоцент-**

*рические экваториальные координаты и элементы орбит геосинхронных спутников по фотографическим наблюдениям в ГАО НАН Украины и ЛКИ УжГУ в 1999 г. ([http://www.mao.kiev.ua/ast/geo4\\_txt.htm](http://www.mao.kiev.ua/ast/geo4_txt.htm)). Представлены результаты отождествления 140 объектов по 2445 наблюдениям из общего числа 2570 наблюдений 169 объектов. Рассматриваются особенности отождествления активных геостационарных спутников.*

*CATALOGUE GOCKU99 OF POSITIONS AND ORBITAL ELEMENTS OF THE GEOSYNCHRONOUS SPACE OBJECTS OBSERVED IN 1999. PECULIARITIES OF THE IDENTIFICATION OF CONTROLLED GEOSYNCHRONOUS SATELLITES, by Kirichenko A. G., Kizyun L. M., Klimik V. U., Kudak K. A., Matso G. M., Demchyk M. I. — We describe the Catalogue GOCKU99 (Geosynchronous Objects Catalogue: Kyiv—Uzhhorod 1999) containing the topocentric equatorial coordinates and orbital elements of geosynchronous satellites obtained by the photographic method at the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine (MAO NASU) and at the Space Research Laboratory of the Uzhhorod State University (SRL USU) in 1999 ([http://www.mao.kiev.ua/ast/geo4\\_txt.htm](http://www.mao.kiev.ua/ast/geo4_txt.htm)). The results of the identification of 140 objects from 2445 observations among 2570 observations of 169 objects are presented. Some peculiarities of identifying controlled geosynchronous satellites are discussed.*

З 1957 р. в навколоземний простір запущено понад 20000 штучних об'єктів, а за результатами спостережень зареєстровано в космічному просторі лише біля 8500 об'єктів розмірами понад 10 см. Серед них тільки 600—700 активних апаратів [3, 7]. Біля половини зареєстрованих об'єктів є фрагментами використаних ракет і зруйнованих супутників. На геостационарних орбітах кількість фрагментів з розмірами менше одного метра взагалі невідома. «Населеність» геостационарної орбіти активними і пасивними супутниками, а також космічним сміттям з кожним роком збільшується, а «самоочищення» геостационарної орбіти на відміну від більш близького навколоземного космосу не відбувається. Така висока «населеність» зони геостационарних орбіт ускладнює ідентифікацію об'єктів. Надекваторіальна зона геостационарних орбіт заповнена в основному супутниками зв'язку, метеорологічними та дослідницькими супутниками. Для утримання цих об'єктів в межах  $\pm 0.1^\circ$  по довготі на орбіті здійснюються періодичні корекції положення, які компенсують їхні відхилення від номінальної підсупутникової точки через різні збурення руху супутника.

Наведене вище свідчить про необхідність регулярного контролю за космічним простором в зоні геостационарної орбіти, а отже, про необхідність визначення високоточних координат об'єктів, ототожнення їх із зареєстрованими в міжнародних каталогах, виявлення незафіксованих об'єктів, супроводження ШСЗ та вирішення інших задач.

Фотографічні спостереження геостационарних об'єктів виконувались в ГАО НАН України на подвійному ширококутному астрографі ( $D = 40$  см,  $F = 2$  м) та в ЛКД УЖДУ на камері SBG ( $D = 40$  см,  $F = 0.76$  м) в 1999 р. методами, описаними в роботах [1, 4]. Каталог GOCKU99 складається з двох таблиць, в яких представлені екваторіальні координати геосинхронних об'єктів в системі каталогу PPM на епоху J2000.0, елементи орбіти ототожнених об'єктів, довготи підсупутникових точок  $L$  та їхній дрейф  $L_t$ . Ототожнення супутників виконувалось в ЛКД УЖДУ за методикою [2].

Загальна кількість спостережених об'єктів наведена в табл. 1. Загалом в 1999 р. спостерігалось 124 різних об'єктів, з них 35 на обох станціях. Видно, що більшість ототожнених об'єктів є активними, а дрейфу їхньої підсупутникової точки майже немає.

Таблиця 1. Загальна кількість спостережених об'єктів

| Тип об'єкта     | ГАО НАНУ | ЛКД УжДУ |
|-----------------|----------|----------|
| Ототоженні      |          |          |
| контрольовані   | 61       | 65       |
| дрейфуючі       | —        | 7        |
| неконтрольовані | —        | 4        |
| невідомого типу | —        | 3        |
| Неототоженні    |          |          |
| неконтрольовані | —        | 5        |
| невідомого типу | 19       | 5        |
| Всього          | 80       | 89       |

На перший погляд здається, що активні супутники легко ототожнити, бо вони розташовані над точками поверхні з певними довготами, а енергетичний запас палива для їхньої корекції збільшився тепер до 10 років. Проте, аналіз спостережень в [1, 4, 5] показав, що при ототоженні цих об'єктів виникає низка ускладнень. Без спеціальних каталогів з елементами орбіт [6] впевнене ототоження супутників взагалі стає неможливим. Так, протягом багатьох років в ГАО НАНУ спостерігався активний об'єкт з довготою підсупутникової точки  $60.0^{\circ} \pm 0.1^{\circ}$ , а поруч з ним об'єкт 90056 А [1, 4]. В 1997 р. на цій довготі з'явився ще один об'єкт, ототожнити який з наявними об'єктами в каталозі не вдалось. З 1999 р. в цій області спостерігались лише два неототоженні об'єкти. Протягом шести років спостерігався об'єкт з довготою підсупутникової точки  $57.0^{\circ}$ , який теж не вдалось ототожнити з зареєстрованими об'єктами в каталозі. Таких прикладів можна навести багато. Щоб упевнитись в тому, що це той самий об'єкт, бажано було б виконати ще й фотометричні дослідження.

Суттєвим недоліком сучасних каталогів зареєстрованих об'єктів є відсутність даних в них про переведення активних супутників на інші довготи. Так, за нашими дослідженнями об'єкти 91003В та 92041В, що спостерігались в ЛКД УжДУ на довготах  $10^{\circ}\text{E}$  та  $7^{\circ}\text{E}$ , в липні 1999 р. з'явилися на довготах  $355.4^{\circ}$  та  $10^{\circ}\text{E}$  відповідно. Відомостей про такі маневри ШСЗ в каталогах немає. В каталогах немає також даних про корекцію деяких ШСЗ, які суттєво змінюють довготу, нахил орбіти до екватора та інші параметри. Прикладом таких супутників можуть бути 97070А, «Кірон-1» (табл. 2) і 99047А, «Ямал-1».

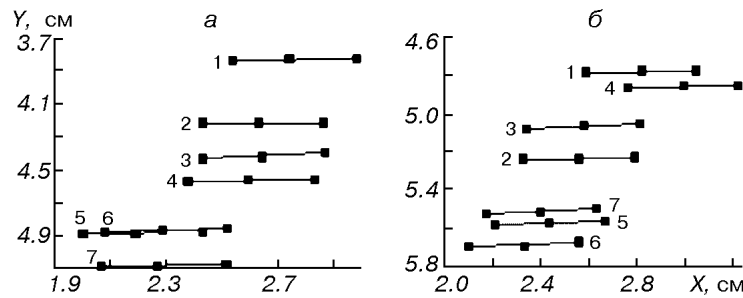
В роботі [1] відмічалось, що корекція супутників з нахилом орбіти до екватора  $i = 0^{\circ}$  і супутників з  $i > 1^{\circ}$  відбувається по-різному. Для об'єктів першого типу довгота підсупутникової точки змінюється в межах  $\pm 0.1^{\circ}$ . Для ШСЗ з  $i > 1^{\circ}$  довгота підсупутникової точки може змінюватися на значно більшу величину. Для ілюстрації цього факту в табл. 3 показана зміна довготи підсупутникової точки для супутників 99010А, «Raduga-1» та

Таблиця 2. Довготи підсупутникових точок та орбітальні дані об'єкта 97070А, «Кірон-1»

| Дата       | L, град | L <sub>p</sub> , град за добу | i, град | a, км   | e, $10^{-5}$ |
|------------|---------|-------------------------------|---------|---------|--------------|
| 07.01.1998 | 54.20   | 0.01                          | 0.01    | —       | —            |
| 13.01.1999 | 87.89   | 0.00                          | 0.65    | 42194.7 | 9            |
| 18.09.1999 | 78.29   | -0.17                         | 1.17    | 42178.4 | 20           |
| 03.01.2000 | 127.00  | 0.00                          | 0.02    | 42166.9 | 340          |

Таблиця 3. Зміна довгот підсупутникових точок та нахилів орбіт активних об'єктів 81107A і 99010A

| Об'єкт 99010A |         |                         | Об'єкт 81107A |         |                         |
|---------------|---------|-------------------------|---------------|---------|-------------------------|
| MJD           | L, град | $i_{\text{лап}}$ , град | MJD           | L, град | $i_{\text{лап}}$ , град |
| 51251.99      | 35.2    | 8.40                    | 51251.97      | 331.8   | 6.11                    |
| 51315.88      | 34.7    | 8.20                    | 51254.99      | 331.8   | 6.04                    |
| 51316.87      | 34.7    | 8.15                    | 51316.94      | 332.3   | 6.20                    |
| 51375.90      | 34.8    | 8.39                    | 51375.97      | 332.7   | 6.26                    |
| 51376.87      | 34.8    | 8.39                    | 51376.93      | 332.7   | 6.24                    |
| 51434.88      | 34.8    | 8.42                    | 51434.96      | 333.0   | 6.28                    |
| 51436.84      | 34.9    | 8.42                    | 51436.91      | 333.0   | 6.28                    |

Зміна положень супутників в зонах колокації: *а* — 17.05.1999 ( $21^{\text{h}}29^{\text{m}}02.724^{\text{s}}$ ,  $21^{\text{h}}31^{\text{m}}02.833^{\text{s}}$   $21^{\text{h}}33^{\text{m}}03.274^{\text{s}}$ ), *б* — 17.07.1999 ( $21^{\text{h}}10^{\text{m}}02.713^{\text{s}}$ ,  $21^{\text{h}}12^{\text{m}}02.874^{\text{s}}$ ,  $21^{\text{h}}14^{\text{m}}02.783^{\text{s}}$ )

81107A, «Fleetsatcom-5». Корекція об'єкта 99010A відбувалася в інтервалі MJD 51315.88 — 51316.87, а об'єкта 81107A — в інтервалі MJD 51251.97 — 51316.94, і за час з MJD 51251.97 до MJD 51375.97 довгота його підсупутникової точки змінилась майже на один градус. Спостереження цих супутників виконані на малих дугах орбіти, тому точність обчислених величин невелика.

Для ототожнення об'єктів з великим кутом нахилу орбіти до екватора бажано користуватись елементами орбіти супутника віднесеними до площини Лапласа [1]. В цьому випадку для некоригованого супутника кут нахилу орбіти до екватора змінюється лінійно.

Активні геостационарні об'єкти, які знаходяться в зонах колокації радіусом до  $0.1^\circ$ , важко ототожнити без даних про їхні положення після корекції. Для ілюстрації цієї обставини на рисунку наведені положення супутників в зоні колокації на астронегативах, одержаних на камері SBG з інтервалом два місяці. В результаті ототожнення ШСЗ встановлено, що на рисунку траєкторія 1 відповідає об'єкту 91015A, 2 — 93031A, 3 — 96021A, 4 — 88109B, 5 — 94070A, 6 — 97076A, 7 — 95055A. Лише для об'єкта 91015A дрейф становить  $0.08^\circ$  за добу, а ексцентриситет  $e = 1.3 \cdot 10^{-2}$ . Для інших об'єктів вони значно менші:  $L_1 = 0.01^\circ$  за добу,  $e \sim 10^{-4}$ , крім об'єкта 95055A з  $e = 1.3 \cdot 10^{-3}$ . Впевнене ототожнення об'єктів в зонах колокації на цих астронегативах вдалось здійснити лише за допомогою спеціальних каталогів зареєстрованих штучних тіл.

Довготи підсупутникових точок можуть змінюватись внаслідок ексцентриситету орбіти супутника, який, як правило, має порядок  $10^{-4}$ , але інколи сягає  $15 \cdot 10^{-2}$ . Тоді

$$L = L_0 + L_1 \Delta t + 2e \sin M,$$

де  $M$  — середня аномалія. Довгота  $L$  уже на протязі доби може змінюватися

більше ніж на  $0.1^\circ$ . Цю обставину теж необхідно приймати до уваги при ототоженні геостационарних об'єктів.

Загалом за результатами наведених досліджень можна зробити висновок про те, що для успішного ототоження активних супутників необхідно вести регулярно оглядові спостереження геостационарної зони не менше семи разів на рік. Спостереження з двох розміщених недалеко пунктів надають можливість одержати необхідну кількість спостережень для контролю геостационарної зони, вивчення розподілу об'єктів по геостационарних орбітах, впевненого ототоження їх з зареєстрованими в спеціальних каталогах, виявлення нових об'єктів, впевненого ототоження об'єктів у зонах колокації.

1. Демчик М. І., Кириченко А. Г., Кізюн Л. М. и др. Результаты спостережень і ототоження геосинхронних космічних об'єктів // Космічна наука і технологія. Додаток до журналу.— 1996.—2, № 1.—52 с.
2. Кириченко А. Г., Климик В. У. Метод определения оскулирующих элементов орбиты геостационарных объектов по наблюдениях с одного пункта // Набл. искусств. небес. тел.—1994.—№ 88.—С. 36—38.
3. *Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел солнечной системы*: Сб. науч.тр. / Под. ред. Л. В. Рыхловой. — М.: ИА РАН, 2000.
4. Kizyun L. M., Kirichenko A. G., Rudenko S. P., et al. Catalogue GOCKU96 of positions and orbital elements of geosynchronous space objects observed in 1996 // Космічна наука і технологія. Додаток до журналу.—1998.—4, № 1.—52 р.
5. Kirichenko A. G., Klimik V. U., Kudak K. A., Kizyun L. M. On the problem of space debris at the geostationary orbit // Інформ. бюл. УАА.—1998.—№ 12.—С. 58—59.
6. Log of objects near the geostationary ring. Issue 19, 1999. ESA/ESOC.
7. *Space debris* / Ed. by W. Flury, D. J. Kessler. — Dordrecht: Kluwer, 1999.—Vol. 1, N 1.—86 p.

Поступила в редакцию 20.12.00