

УДК 521.9(085)

**Каталог положень та елементів орбіт  
геосинхронних космічних об'єктів ГОСКУ 1997—1998.  
Проблема спостережень пасивних об'єктів**А. Г. Кириченко<sup>1</sup>, Л. М. Кізюн<sup>2</sup>, М. І. Демчик<sup>1</sup>,  
В. У. Клімик<sup>1</sup>, К. А. Кудак<sup>1</sup>, Г. М. Мацо<sup>1</sup><sup>1</sup>Лабораторія космічних досліджень Ужгородського державного університету  
88000, Ужгород, вул. Далека 2а<sup>2</sup>Головна астрономічна обсерваторія НАН України  
03680, МСП, Київ-127, Голосіїв

*Описано каталог ГОСКУ 1997—1998 (Каталог геосинхронних об'єктів: Київ—Ужгород), що містить топоцентричні екваторіальні координати та елементи орбіт геосинхронних супутників, одержаних фотографічним методом в Головній астрономічній обсерваторії НАН України та Лабораторії космічних досліджень Ужгородського державного університету в 1997—1998 рр. Представлено результати ототожнення 246 об'єктів за 2129 спостереженнями із загального числа 2609 спостережень 334 об'єктів. Розглядається проблема спостережень некерованих (пасивних) об'єктів. На прикладі лібраційного геосинхронного супутника «Космос-1738» (86027А) досліджується еволюція елементів орбіти від різних збурюючих сил в інтервалі 2836 діб.*

**КАТАЛОГ ПОЛОЖЕНИЙ И ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТ ГЕОСИНХРОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ГОСКУ 1997—1998. ПРОБЛЕМА НАБЛЮДЕНИЙ ПАССИВНЫХ ОБЪЕКТОВ**, Кириченко А. Г., Кизюн Л. М., Демчик М. И., Климик В. У., Кудак К. А., Мацо Г. М. — Описан каталог ГОСКУ 1997—1998 (Каталог геосинхронных объектов: Киев—Ужгород), который содержит топоцентрические экваториальные координаты и элементы орбит геосинхронных спутников, полученных фотографическим методом в Главной астрономической обсерватории НАН Украины и Лаборатории космических исследований Ужгородского государственного университета в 1997—1998 гг. Представлены результаты отождествления 246 объектов по 2129 наблюдениям из общего числа 2609 наблюдений 334 объектов. Рассматривается проблема наблюдений неуправляемых (пассивных) объектов. На примере либрационного геосинхронного спутника «Космос-1738» (86027А) исследуется эволюция элементов орбиты от разных возмущающих сил в интервале 2836 суток.

**CATALOGUE GOCKU(97-98) OF POSITIONS AND ORBITAL ELEMENTS OF GEOSYNCHRONOUS SPACE OBJECTS OBSERVED IN 1997—1998. PROBLEM OF THE PASSIVE OBJECTS OBSERVATIONS**, by Kirichenko A. G., Kizyun L. M., Demchuk M. I., Klimik V. U., Kudak K. A.,

*Matso G. M. — Catalogue GOCKU(97-98) (Geosynchronous Objects Catalogue: Kyiv—Uzhgorod 1997—1998) containing topocentric equatorial coordinates and orbital elements of geosynchronous satellites obtained by photographic methods at the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine and at the Space Research Laboratory of Uzhgorod State University in 1997—1998 is presented. Results of identification of 2129 observations of 246 objects among the total 2609 observations of 334 objects are given. The problem of observations of passive geosynchronous space objects is considered. The evolution of the orbital elements by different revolting forces during the 2836 days is investigated using the free librating object Cosmos 1738 (86027A).*

Фотографічні спостереження геосинхронних супутників виконувались в Головній астрономічній обсерваторії НАН України та Лабораторії космічних досліджень Ужгородського державного університету в 1997—1998 рр. методами описаними в попередніх каталогах [2, 3].

Каталог складається з чотирьох таблиць, в яких подані екваторіальні координати геосинхронних об'єктів, віднесені до епохи J2000.0 в системі каталогу PPM, елементи орбіти ототожнених об'єктів, довгота підсупутникової точки та її дрейф.

Загальну кількість об'єктів, спостережуваних на кожній станції, подано в таблиці нижче.

В текстовій частині каталогу представлені графіки розподілу спостережуваних супутників по величині їхнього дрейфу та нахилу орбіти до екватора, а також залежність висоти супутника над горизонтом від часового кута. В трьох таблицях представлена залежність періодів і амплітуд довгоперіодичних збурень від резонансних гармонік геопотенціалу, Місяця і Сонця та тиску світла. Подані гістограми резонансних періодів для різного типу лібраційних та дрейфуючих об'єктів.

Оглядіві спостереження проводились без використання ефемерид. Камери виставлялись по часовому куту на екватор ( $\delta = -7^\circ \dots -7.5^\circ$ ), де знаходяться в основному активні геостационарні об'єкти, для яких дрейф  $Lt = 0$ .

Необхідно відмітити, що для якісних спостережень зенітна відстань супутника не повинна бути більшою  $70^\circ$ , Сонце повинно знаходитись під горизонтом на кутовій відстані не менше  $12^\circ$ , супутник не повинен знаходитись в тіні Землі, лише тоді можна спостерігати слабкі об'єкти.

Для визначення моментів переходу геосинхронних супутників межі тіні розглядалось співвідношення, що зв'язує астрономічну прямокутну систему

**Загальна кількість спостережуваних об'єктів**

| Тип об'єкта        | Київ         | Ужгород |
|--------------------|--------------|---------|
|                    | Ототожнені   |         |
| контрольовані      | 114          | 114     |
| лібраційні         | —            | 7       |
| дрейфуючі          | —            | 11      |
|                    | Неототожнені |         |
| контрольовані      | —            | 6       |
| лібраційні         | —            | —       |
| дрейфуючі          | —            | —       |
| невідомого типу    | 45           | 37      |
| Загальна кількість | 159          | 175     |

координат  $x, y, z$  з прямокутною системою координат  $S_1, S_2, S_3$ , де вісь  $S_1$  направлена на Сонце [1]. Радіус-вектор супутника  $S$  ( $S_1, S_2, S_3$ ) в цій системі визначається як добуток

$$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix} = \parallel R_z(\lambda_C) \parallel \cdot \parallel R_x(\varepsilon) \parallel \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де

$$\parallel R_z(\lambda_C) \parallel = \begin{pmatrix} \cos\lambda_C & \sin\lambda_C & 0 \\ -\sin\lambda_C & \cos\lambda_C & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\parallel R_x(\varepsilon) \parallel = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varepsilon & \sin\varepsilon \\ 0 & -\sin\varepsilon & \cos\varepsilon \end{pmatrix}$$

— матриці повороту проти годинникової стрілки навколо осі  $z$  системи координат на кут  $\lambda_C$  і навколо осі  $x$  на кут  $\varepsilon$  — кут між площиною екватора і екліптикою ( $\varepsilon = 23^\circ 27'$ ),  $\lambda_C$  — екліптична довгота Сонця. Якщо в (1)  $S_1 < 0$ , то супутник знаходиться на тіньовому боці. Момент переходу супутника через межу тіні визначається співвідношенням

$$a_e - \sqrt{S_2^2 + S_3^2} \begin{cases} > 0, & \text{якщо супутник в тіні,} \\ < 0, & \text{якщо супутник освітлений Сонцем,} \end{cases} \quad (2)$$

де  $a_e$  — екваторіальний радіус Землі.

Перевірка нерівностей (2) проводилась за допомогою спеціально складеної В. Кліміком програми для місцевого часу  $-2.5^h < T_M < +5.5^h$  з кроком  $0.1^h$  кожного дня року. Моменти переходу межі тіні уточнювалися.

Для визначення моментів початку і кінця вечірніх і ранкових сутінок (зенітна відстань Сонця  $Z_C = 91^\circ$  і  $Z_C = 102^\circ$ ) знаходились координати одиничного вектора  $r_n$ , направлено в зеніт, і одиничного вектора  $r_s$ , направлено на Сонце, в системі  $S_1, S_2, S_3$ . Очевидно, в цій системі  $r_s = (1, 0, 0)$ . В горизонтальній системі координат  $r_n = (0, 0, 1)$ . Переводимо цей вектор в астрономічну систему  $x, y, z$ , і далі за формулою (1) — в систему  $S_1, S_2, S_3$ . Одержимо [1]

$$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix} = \parallel R_z(\lambda_C) \parallel \cdot \parallel R_x(\varepsilon) \parallel \cdot \parallel R_z(-S') \parallel \cdot \parallel R_z(-\lambda) \parallel \cdot \parallel R_y(-\pi/2 + \varphi) \parallel \cdot \parallel R_z(-\pi/2) \parallel \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де  $S'$  — зоряний час в Гринвічі. З скалярного добутку векторів  $r_s, r_n$  знаходимо

$$S_1 = \cos Z_C. \quad (4)$$

Матриця повороту

$$\parallel R_y(-\pi/2 + \varphi) \parallel = \begin{pmatrix} \cos(-\pi/2 + \varphi) & 0 & -\sin(-\pi/2 + \varphi) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(-\pi/2 + \varphi) & 0 & \cos(\pi/2 + \varphi) \end{pmatrix},$$

де  $\varphi$ ,  $\lambda$  — географічні координати пункту спостережень. Задача полягає в тому, щоб розв'язати рівняння (3) при умові (4) відносно невідомого  $S'$  при двох значеннях  $Z_C$  ( $91^\circ$  і  $102^\circ$ ). Існує два розв'язки цього рівняння, що відповідають вечірнім і ранковим сутінкам.

Рівняння (3) розв'язувалось методом уточнення з наперед заданою точністю. За початкове наближення можна взяти приблизні моменти заходу і сходу Сонця на 1 січня. Точні розв'язки рівняння (3) на 1 січня є початковими наближеннями для 2 січня, і так до кінця року. Як приклад, в тексті до каталога дається рисунок, де виділені дві області по УТ і періоду року для Ужгорода, коли геосинхронні об'єкти можуть бути в тіні.

Спостереження та ототожнення геосинхронних об'єктів в Ужгороді і Києві вказало на не використані ще можливості спостережень пасивних об'єктів на цих станціях. Більшість активних супутників мають нульовий нахил до площини земного екватора, схилення — від  $-2^\circ$  до  $-10^\circ$ . Для таких схилень при часовому куті  $\pm 60^\circ$  середня висота над горизонтом складає  $15^\circ$ , тому для їхнього спостереження достатньо хорошої прозорості та високочутливих емульсій. Для пасивних же об'єктів необхідно розраховувати ефемериди.

Нижче приведені розрахунки змін видимих схилень геосинхронних об'єктів з кутом нахилу орбіти, що не дорівнює нулю для Ужгорода та Києва.

$$\begin{aligned} i = 5^\circ & \quad -12.8^\circ \leq \delta \leq -1.7^\circ \\ i = 10^\circ & \quad -18.1^\circ \leq \delta \leq 3.9^\circ \\ i = 15^\circ & \quad -23.4^\circ \leq \delta \leq 9.6^\circ. \end{aligned}$$

Більш ефективно спостереження пасивних геостаціонарних супутників потребує дослідження еволюції елементів орбіт різних типів об'єктів та обчислення їхніх ефемерид.

Каталог поміщений на web-сторінці за адресою

[http:// www.mao.kiev.ua/ast/geo3\\_txt.htm](http://www.mao.kiev.ua/ast/geo3_txt.htm)

1. Арнольд К. Методы спутниковой геодезии. — М., 1973.—224 с.
2. Демчик М. І., Кириченко А. Г., Кізюн Л. М. и др. Результаты спостережень і ототожнення геосинхронних космічних об'єктів // Космічна наука і технологія. Додаток до журналу.— 1996.—2, № 1.—52 с.
3. 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 // Kosmichna Nauka I Tekhnologija, Dodatok do Zhurnalu (Space Science and Technology, Supplement).—1998.—4, N 1.—52 p.

Надійшла до редакції 10.02.00