

УДК 521.182; 521.44

## Просторовий розподіл астероїдів поблизу орбіти Землі в різні пори року

А.М. Казанцев, І.В. Сердюков

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

*З каталогу Міжнародного центру малих планет (МРС) виділені астероїди, що наближаються до Землі (АНЗ), з перигелійними відстанями орбіт  $q < 1.3$  а.о. На початок 2012 р. їх загальна кількість становила 7800. Для оцінки кількості всіх реально існуючих АНЗ використано степеневий розподіл числа астероїдів за розмірами. Використано також наближену формулу для обчислення розміру астероїда  $D$  за абсолютною зоряною величиною  $H$ . Отримано, що на сьогодні можна вважати відкритими всі АНЗ з  $H < 16^m$  ( $D > 2.5$  км). Кількість існуючих АНЗ з  $D > 1$  км має бути біля 2000. Це число майже в два рази перевищує кількість таких астероїдів, відкритих на сьогодні. Побудовано просторові розподіли орбіт АНЗ різних розмірів поблизу орбіти Землі при різних екліптичних довготах  $\lambda$  (пір року). Найбільша кількість орбіт проходить поблизу орбіти Землі при  $\lambda = 320^\circ - 50^\circ$  (серпень–жовтень). Це приблизно на 30% перевищує мінімальне значення при  $\lambda = 90^\circ - 140^\circ$  (грудень–січень). В середньому протягом року поблизу Землі на відстані менше 0.2 а.о. проходять орбіти близько 150 астероїдів з розмірами більше 1 км, та орбіти близько 150 000 астероїдів з розмірами більше 100 м.*

*ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АСТЕРОИДОВ ВБЛИЗИ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ В РАЗЛИЧНЫЕ ВРЕМЕНА ГОДА, Казанцев А.М., Сердюков И.В. — Из каталога Международного центра малых планет (МРС) выделены астероиды, приближающиеся к Земле (АСЗ), с перигелийными расстояниями орбит  $q < 1.3$  а.е. На начало 2012 г. их общее количество составило 7800. Для оценки количества всех реально существующих АСЗ использовано степенное распределение числа астероидов по размерам. Использована также приближенная формула для вычисления размера астероида  $D$  по абсолютной звездной величине  $H$ . Получено, что на сегодня можно считать открытыми все АСЗ с  $H < 16^m$  ( $D > 2.5$  км). Количество существующих АСЗ с  $D > 1$  км должно быть около 2000. Это число почти в два раза превышает количество таких астероидов, открытых на сегодня. Построены пространственные распределения орбит АСЗ различных размеров вблизи орбиты Земли при различных эклиптических долготах  $\lambda$  (временах года). Наибольшее количество орбит проходит вблизи орбиты Земли при  $\lambda = 320^\circ - 50^\circ$  (август–октябрь). Это примерно на 30% превышает минимальное значение при  $\lambda = 90^\circ - 140^\circ$  (декабрь–январь). В среднем в течение года вблизи Земли на расстоянии меньше 0.2 а.е. проходят орбиты около 150 астероидов с размерами более 1 км, и орбиты около 150 000 астероидов с размерами более 100 м.*

*ASTEROID SPACE DISTRIBUTION NEAR THE EARTH'S ORBIT AT DIFFERENT SEASONS, by Kazantsev A.M., Serdyukov I.V. — From the MPC catalogue There were selected asteroid which can approach to the Earth (NEAs) with perihelion distances  $q < 1.3$  AU. The total asteroid quantity was 7800 by the beginning of 2012. In order to estimation of all existing NEA's quantity a power-law for asteroid size distribution was used. An approximate formula for calculating of the asteroid size  $D$  by on the absolute magnitude  $H$  was used as well. It was obtained that all existing NEAs with  $H < 16^m$  ( $D > 2.5$  km) may be considered as opened by today. The number of existing NEAs with  $D > 1$  km should be about 2000. This number is almost twice the number of asteroids that are open today. Spatial orbit distributions for NEAs of different sizes around the Earth's orbit at different ecliptic longitudes  $\lambda$  (different seasons) were constructed. The most orbit quantities passes near the Earth's orbit at  $\lambda = 320^\circ - 50^\circ$  (August–October). It is about 30% higher than the minimum value at  $\lambda = 90^\circ - 140^\circ$  (December–January). About 150 asteroids with sizes greater than 1 km and about 150 000 asteroids with sizes greater than 100 m passes near the Earth's orbit at a distance of less than 0.2 AU in average during a year.*

**Ключевые слова:** динамика астероидов; околоземное пространство.

**Key words:** asteroid dynamics; near-Earth space.

### 1. ВСТУП

До астероїдів, що наближаються до Землі (АНЗ) зазвичай відносять астероїди з перигелійними відстанями  $q < 1.3$  а.о. Ці об'єкти викликають особливий інтерес у дослідників. По-перше, АНЗ можуть становити потенційну небезпеку для Землі. По-друге, на близьких відстанях від Землі із спостережень можна отримувати більш детальні фізичні та орбітальні характеристики таких тіл.

Важливо знати, яка кількість АНЗ різних розмірів реально існує. В США в середині 90-х років минулого століття прийнято програму по виявленню 90–95% всіх існуючих АНЗ з розмірами  $D > 1$  км протягом 20 років. На сьогодні таких тіл відкрито біля 1000. Скільки їх має бути взагалі — поки що точно не встановлено. За останні десять років таких оцінок зроблено немало, і їх діапазон лежить в межах від 700 [5] до 1300 [3].

Крім того, потрібно знати, як змінюється кількість астероїдів поблизу орбіти Землі в різні пори року. На нерівномірність такого розподілу вказано в нашій попередній публікації [1]. Однак, на той час

кількість відкритих АНЗ всіх розмірів з точно визначеними орбітами становила біля 100. На сьогодні їх число становить більше 8000. Отже, можна отримати більш точні розподіли.

## 2. ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ АНЗ

Всі відкриті астероїди після уточнення їх орбіт заносяться до каталогу Міжнародного центру малих планет (МПС). Тілам з високою точністю орбіт присвоюється постійний номер (такі астероїди зветься нумерованими). Астероїди з менш точними елементами орбіт заносяться в каталог з тимчасовими номерами. За каталожними елементами орбіт можна встановити кількість вже відкритих АНЗ, тобто тіл з  $q < 1.3$  а.о.

Зазвичай розподіл числа астероїдів  $N$  за розмірами  $D$  подається у вигляді степеневі залежності [2]

$$dN(D) = kD^{-b} dD \quad (1)$$

де  $dN(D)$  — число астероїдів у вузькому інтервалі розмірів  $dD$ ;  $k$  та  $b$  — деякі постійні параметри. Після інтегрування (1) можна отримати число астероїдів з розмірами більше  $D_1$

$$N = k_1 D_1^{-(b-1)} \quad (2)$$

де  $k_1 = \frac{k}{b-1}$ . З (2) можна бачити, що, якщо  $D_1$  виражено в км, то  $k_1$  — число астероїдів з розмірами більше 1 км. Тут мається на увазі розподіл всіх існуючих, а не лише відкритих астероїдів.

В каталозі [4] розміри астероїдів визначалися за значеннями геометричного альbedo  $p_v$  та абсолютної зоряної величини  $H$  із виразу

$$2 \lg D = 6.247 - 0.4H - \lg p_v \quad (3)$$

В існуючих каталогах наведені розміри й альbedo менше 10% АНЗ. Тому замість розподілу числа астероїдів за розмірами використовують розподіл за абсолютною зоряною величиною. Для наближених оцінок приймають деяке середнє значення альbedo і отримують спрощену формулу для визначення розмірів астероїдів

$$D(\text{км}) = 10^{0.2(18-H)}. \quad (4)$$

Порівнюючи вирази (3) та (4) можна отримати, що спрощена формула (5) для визначення розмірів базується на середньому значенні альbedo, рівному 0.111.

Використовуючи вирази (2) та (4), можна отримати лінійну залежність

$$\lg N = a_1 H + a_0; \quad (5)$$

$N$  — число існуючих астероїдів з абсолютною зоряною величиною не більше  $H$ , причому показник степені у виразі (1)  $b = \frac{a_1}{0.2} + 1$ .

## 3. ОЦІНКА КІЛЬКОСТІ АНЗ

Співвідношення (6) зручно використовувати для оцінки числа астероїдів. Для цього потрібно взяти різні значення  $H$  і визначити відповідні їм кількості вже відкритих тіл  $N_0$ . В даній роботі був використаний каталог Міжнародного центру малих планет (МПС) на лютий 2012 р. Загальна кількість АНЗ в каталозі становила 7800, кількість АНЗ з  $H < 18^m$  ( $D > 1$  км) — 994. Значення  $H$  вибиралися від  $14^m$  до  $23^m$  з інтервалом  $0.5^m$ . Мінімальне значення  $H = 14.0^m$  ( $D \approx 6.3$  км) було вибрано тому, що астероїдів з меншими  $H$  (більшими розмірами) занадто мало. Така (спостережна) залежність  $\lg N_0(H)$  приведена на рис. 1 (кружки). На цій залежності вибрано початкову лінійну ділянку від  $H_1 = 14^m$  до  $H_2 = 16^m$ . Наявність подібної лінійної ділянки може бути деяким обґрунтуванням застосування співвідношення (6) для нашої вибірки АНЗ. Враховуючи вираз (6), можна зробити висновок, що всі АНЗ з  $H < 16^m$  ( $D > 2.5$  км) вже мають бути відкритими.

За вибраною лінійною ділянкою проведена емпірична залежність  $\lg N_i(H)$ , яку будемо називати теоретичною (на рис. 1 — пунктир). Саме дана залежність має визначати кількість існуючих АНЗ ( $N_{\text{існ}}$ ) з відповідними значеннями абсолютних зоряних величин  $H$ . Відхилення спостережної залежності від теоретичної показує кількість ще не відкритих АНЗ в даному інтервалі значень  $H$ .

В табл. 1 наведені значення абсолютної зоряної величини  $H_i$  з інтервалом  $0.5^m$ , відповідні їм значення розмірів астероїдів, отримані за формулою (5), кількості відкритих ( $N_{\text{від}}$ ) та існуючих ( $N_{\text{існ}}$ ) АНЗ з  $H < H_i$ . З таблиці можна зробити висновок, що кількість АНЗ з  $D < 1$  км має бути більше 2000, з  $D < 100$  м — більше 1 000 000.

## 4. РОЗПОДІЛ ОРБІТ АНЗ У БІЛАЗЕМНОМУ ПРОСТОРИ

Зрозуміло, що орбіти всіх АНЗ наближаються до орбіти Землі на відстані  $\Delta < 0.3$  а.о. В різні періоди року кількість таких орбіт у біля земному просторі різна. На таку нерівномірність вказано в нашій попередній роботі [1], де висновок зроблено на основі просторового розподілу близько ста орбіт з точно визначеними елементами. На сьогодні кількість АНЗ в каталозі МПС зросла в десятки разів. Тому доцільно провести уточнення просторового розподілу.

**Таблиця 1.** Кількості відкритих та існуючих АНЗ різних розмірів

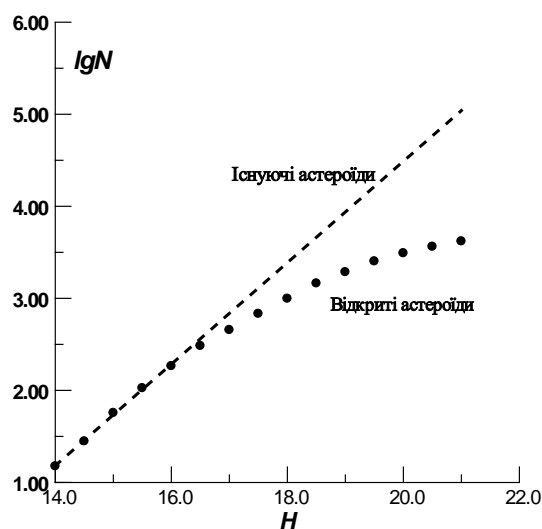
$H$	$D$ , км	$N_{\text{від}}$	$N_{\text{існ}}$
14.00	6.310	15	15
14.50	5.012	28	28
15.00	3.981	57	54
15.50	3.162	106	102
16.00	2.512	184	192
16.50	1.995	305	363
17.00	1.585	454	685
17.50	1.259	680	1 293
18.00	1.000	994	2 438
18.50	0.794	1454	4 600
19.00	0.631	1931	8 676
19.50	0.501	2529	16 363
20.00	0.398	3098	30 863
20.50	0.316	3650	58 210
21.00	0.251	4174	109 789
22.00	0.158	5006	390 552
23.00	0.100	5744	1 389 312

Для визначення розподілу орбіт АНЗ поблизу земної орбіти в різні пори року визначалися координати  $x, y$  точок перетину орбітами астероїдів площин, перпендикулярних до дотичних до орбіти Землі при різних екліптичних довготах  $\lambda$ . Вісь  $X$  при кожному значенні  $\lambda$  направлена від Сонця. За отриманими величинами  $x, y$  визначалась кількість орбіт АНЗ  $N_a$ , що при певній довготі  $\lambda$  проходять від орбіти Землі на відстані не більше певного значення  $\Delta$ .

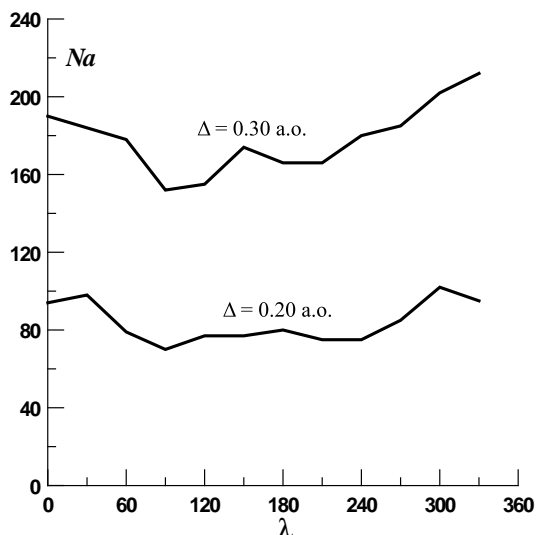
На рис. 2 наведені залежності  $N_a(\lambda)$  при різних значеннях  $\Delta$  для АНЗ з  $D > 1$  км. Подібні залежності для АНЗ з  $D > 100$  м наведені на рис. 3. З рисунків видно нерівномірність просторового розподілу орбіт АНЗ різних розмірів поблизу орбіти Землі. Найбільша кількість орбіт перетинає біляземний простір при  $\lambda = 320^\circ - 50^\circ$  (серпень-жовтень). Це приблизно на 30% перевищує мінімальне значення при  $\lambda = 90^\circ - 140^\circ$  (грудень-січень).

Також можна бачити, при збільшенні  $\Delta$  від 0.2 а.о. до 0.3 а.о. відповідне значення  $N_a$  зростає приблизно вдвічі як для більших, так і для менших астероїдів. Тобто число орбіт АНЗ приблизно пропорційне площі перетину тора біляземного простору, яку вони пронизують. Отже, концентрація орбіт АНЗ в околі 0.3 а.о. поблизу орбіти Землі близька до рівномірної. Розподіли для АНЗ різних розмірів схожі, що свідчить про закономірність подібного розподілу для всього комплексу АНЗ. Зазначену особливість можна пояснити впливом Юпітера на елементи орбіт астероїдів, зокрема на довготу перигелію  $\pi$ . Довгота перигелію орбіти самого Юпітера становить  $15^\circ$ . Гравітаційний вплив планети діє так, що швидкість зміни довгот перигелію орбіт астероїдів мінімальна при  $\pi = 15^\circ$ , а максимальна при  $\pi = 195^\circ$ . Тому в розподілі числа орбіт астероїдів головного поясу при  $\pi = 15^\circ$  має місце максимум, а при  $\pi = 195^\circ$ . Розподіл  $N(\pi)$  для АНЗ хоча й не такий контрастний, але якісно схожий. Більшість орбіт АНЗ підходять до орбіти Землі поблизу своїх перигеліїв. Тому й існують максимуми в розподілах  $N_a(\lambda)$  при  $\lambda = 320^\circ - 50^\circ$ .

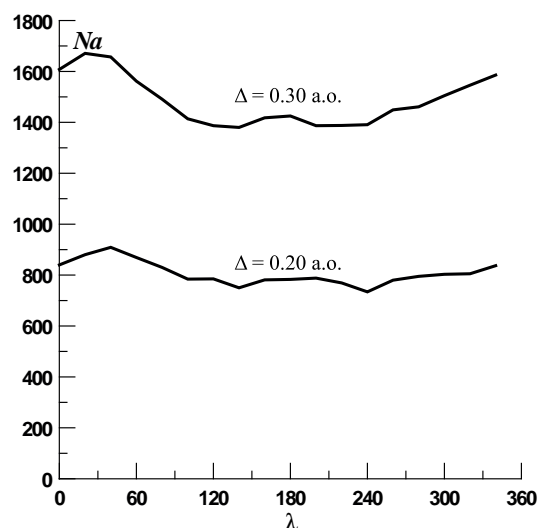
Зрозуміло, що розподіли на рис. 2, 3 наведені для вже відкритих астероїдів. Для існуючих АНЗ



**Рис. 1.** Залежності  $\lg N(H)$  для відкритих (кружки) та існуючих АНЗ (пунктир)



**Рис. 2.** Залежності числа орбіт АНЗ з  $H < 18^m$  ( $D > 1$  км) поблизу орбіти Землі від екліптичної довготи при різних значеннях  $\Delta$



**Рис. 3.** Залежності числа орбіт АНЗ з  $H < 23^m$  ( $D > 100$  м) поблизу орбіти Землі від екліптичної довготи при різних значеннях  $\Delta$

кількості  $N_a$  на відповідних графіках будуть більшими, але характер розподілів не зміниться. Адже наведені розподіли характеризують весь комплекс АНЗ. Тому в період з серпня по жовтень поблизу Землі має проходити дещо більша кількість ще невідкритих АНЗ, ніж в інші періоди року. Отже, в цей період пошуку нових АНЗ варто приділяти підвищену увагу.

Із рис. 2, 3 та співвідношенню між кількістю відкритих та існуючих АНЗ (табл. 1) можна зробити висновок, що в середньому протягом року поблизу Землі на відстані менше 0.2 а.о. проходять орбіти близько 150 астероїдів з розмірами більше 1 км, та орбіти близько 150 000 астероїдів з розмірами більше 100 м.

## 5. ВИСНОВКИ

1. Кількість існуючих АНЗ з розмірами більше 1 км має бути більше 2000. На сьогоднішній день відкрито не більше половини таких тіл.

2. Максимальна концентрація орбіт БЗА поблизу орбіти Землі при  $\lambda = 320^\circ - 50^\circ$  (серпень-жовтень) приблизно на 30% перевищує мінімальну при  $\lambda = 90^\circ - 140^\circ$  (грудень-січень).

3. В середньому протягом року поблизу Землі на відстані менше 0.2 а.о. проходять орбіти близько 150 астероїдів з розмірами більше 1 км, та орбіти близько 150 000 астероїдів з розмірами більше 100 м.

1. Казанцев А.М., Макаруч П.В. Пространственное распределение и направление поиска околоземных астероидов // Кинематика и физика небесных тел. — 2000. — **16**, № 4. — С. 369–374.
2. Hughes D.W. Asteroidal size distribution // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 1982. — **199**. — P. 1149–1157.
3. Stuart, Joseph Scott A Near-Earth Asteroid Population Estimate from the LINEAR Survey // Science. — 2001. — **294**. — P. 691–693.
4. Tedesco Edward F., Noah Paul V., Noah Meg, Price Stephan D. The supplemental IRAS minor planet survey // The Astronomical Journal. — 2002. — **123**. — P. 1056–1085.
5. Werner S.C., Harris A.W., Neukum G., Ivanov B.A. NOTE: The Near-Earth Asteroid Size- Frequency Distribution: A Snapshot of the Lunar Impactor Size-Frequency Distribution. // Icarus. — 2002. — **156**, № 1. — P. 287–290.

Надійшла до редакції 16.08.2012