



ISSN 1607–2855

Том 2 • № 2 • 2001 С. 113 – 118

УДК 521.13

Орбітальна еволюція Кентаврів 2060 Хірон, 5145 Фол, 7066 Несс, 8405 Асбол, 10199 Харікло, 10370 Хілоном

Н.С. Коваленко, Ю.Г. Бабенко, К.І. Чурюмов

Астрономічна обсерваторія Київського національного університету

Було досліджено динамічну еволюцію 6 об'єктів групи Кентаврів, а саме 2060 (Хірон), 5145 (Фол), 7066 (Несс), 8405 (Асбол), 10199 (Харікло), 10370 (Хілоном). Чисельне інтегрування орбіт було проведено на проміжки часу від 600 тис. років до 10 млн. років у минуле та майбутнє від сучасної епохи, використовуючи неявні одношагові алгоритми Еверхарта. Обговорюється характер змін орбітальних елементів та особливості близьких зближень з планетами-гігантами.

ОРБИТАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ КЕНТАВРОВ 2060 ХИРОН, 5145 ФОЛ, 7066 НЕСС, 8405 АСБОЛ, 10199 ХАРИКЛО, 10370 ХИЛОНОМ, Коваленко Н.С., Бабенко Ю.Г., Чурюмов К.И. – Была исследована динамическая эволюция 6 объектов группы Кентавров, а именно 2060 Хирона, 5145 Фола, 7066 Несса, 8405 Асбола, 10199 Харикло, 10370 Хилонома. Численное интегрирование орбит было произведено на промежутки времени от 600 тыс. лет до 10 млн. лет в прошлое и будущее от настоящего времени, используя неявные пошаговые алгоритмы Эверхарта. Обсуждается характер изменений орбитальных элементов и особенности тесных сближений с планетами-гигантами.

ORBITAL EVOLUTION OF CENTAURS OBJECTS 2060 CHIRON, 5145 PHOLUS, 7066 NESSUS, 8405 ASBOLUS, 10199 CHARIKLO, 10370 HYLOHOME, by Kovalenko N.S., Babenko Yu.G., Churyumov K.I. – In this work we investigated the dynamical evolution of 6 Centaurs objects 2060 (Chiron), 5145 (Pholus), 7066 (Nessus), 8405 (Asbolus), 10199 (Chariklo) and 10370 (Hylonome). The numerical integrations of orbits were produced for +/- 600 kyr – 10 Myr starting at epoch and using the implicit single sequence Everhart methods. The character of changes of orbital elements and peculiarities of close approaches to giant planets are discussed.

ВСТУП

Групу малих тіл Сонячної системи, які мають орбіти, що розміщені між орбітами Юпітера та Нептуна, було названо Кентаврами. Перший Кентавр – 2060 Хірон – було відкрито у 1977 році Чарлзом Ковалом. Цей об'єкт привернув до себе увагу ексцентричною орбітою з великою перигелійною та афелійною відстаннями. У 1988 році Толеном [7], було зафіксовано кометну активність Хірона, згодом цей факт отримав численні підтвердження. З часом популяція таких об'єктів з невластивими для астероїдів орбітами – Кентаврів – поповнилася іншими відкритими тілами з подібними орбітальними характеристиками. Зараз нараховується 33 об'єкти групи Кентаврів.

Динамічна еволюція деяких Кентаврів (5145 Фол, 7066 Несс, 10199 Харікло) досліджувалась різним авторами [3, 4], починаючи з робіт [5, 6] по еволюції орбіти 2060 Хірона. Моделювання цих орбіт показало, що орбіти Кентаврів нестабільні, оскільки ці тіла зазнають близьких зближень з планетами-гігантами. Було показано, що можливі як викиди на орбіти з великими півосями, більшими 100 а.о., так і випадки переходу на більш короткоперіодичні орбіти. Досить часто зустрічаються і випадки руху у резонансі з різними планетами.

В цій роботі ми дослідили динамічну еволюцію відкритих першими 6 Кентаврів 2060 (Хірон), 5145

Таблиця 1. Елементи орбіт Кентаврів та оскулюючі орбітальні елементи планет на епоху 22 листопада 2002 року

	a	e	i	Ω	ω	M
Юпітер	5,2025190	0,0489318	1,30380	100,51071	274,42919	107,08226
Сатурн	9,5847407	0,0577441	2,48564	113,62652	339,61605	352,29035
Уран	19,1362300	0,0493729	0,77179	73,85513	94,98735	156,88784
Нептун	29,9450972	0,0103828	1,77087	131,78659	295,90275	243,58355
Плутон	39,3590778	0,2474835	17,17148	110,23142	113,17434	19,52452
2060	13,6209656	0,3809974	6,93691	209,32713	339,09847	48,62883
5145	20,3711486	0,5740408	24,70425	119,23058	354,95673	43,64461
7066	24,4326777	0,5182686	15,64999	31,30183	170,08447	32,28866
8405	17,9074389	0,6182225	17,63882	6,05042	290,27515	1,51902
10199	15,8418877	0,1746143	23,36512	300,39392	241,42107	354,11429
10370	25,0474235	0,2475686	4,14493	178,17664	5,71332	21,91086

Таблиця 2. Статистика для 13 орбіт Хірона

минуле			майбутнє	
	q	a	q	a
“+”	6 ($q_{\min} \sim 1,5$ а.о.)	1 ($a_{\min} = 4$ а.о., $a_{\max} = 40$ а.о.)	3 ($q_{\max} \sim 10-13$ а.о.)	4 ($a_{\max} \sim 17-40$ а.о.)
“=”	4 (6–10 а.о.)	4	5 (6–10 а.о.)	6
“-”	6 ($q_{\max} \sim 10-12$ а.о.)	8 (20–80 а.о.)	5 ($q_{\min} \sim 1$ а.о.)	4 ($a_{\min} \sim 3-5$ а.о.)

Таблиця 3. Статистика для варіаційних орбіт Фола

минуле			майбутнє	
	q	a	Q	a
“+”	4 ($q_{\min} \sim 4$ а.о.)	5 ($a_{\min} = 8$ а.о., $a_{\max} = 25$ а.о.)	2 ($q_{\max} \sim 10$ а.о.)	5 ($a_{\max} \sim 18$ а.о.)
“=”	5 (5–10 а.о.)	1 (25–20 а.о.)	8 (7,5–9,5 а.о.)	4 (15–25 а.о.)
“-”	4 ($q_{\max} \sim 10$ а.о.)	7 (28–100 а.о.)	3 ($q_{\min} \sim 6$ а.о.)	4 ($a_{\min} \sim 10$ а.о.)

Таблиця 4. Статистика для варіаційних орбіт Асбола

минуле			майбутнє	
	q	a	q	a
“+”	1 ($q_{\min} \sim 1$ а.о.)	2 ($a_{\min} = 3$ а.о.)	3 ($q_{\max} \sim 11$ а.о.)	8 ($a_{\max} \sim 22-100$ а.о.)
“=”	9 (6–9 а.о.)	1 (12–28 а.о.)	7 (6–8 а.о.)	1 (15–23 а.о.)
“-”	3 ($q_{\max} \sim 12$ а.о.)	10 (25–100 а.о.)	3 ($q_{\min} \sim 1$ а.о.)	4 ($a_{\min} \sim 5-9$ а.о.)

Таблиця 5. Результати чисельного інтегрування варіаційних орбіт Хілонома

минуле			майбутнє	
	q	a	q	a
“+”	4 ($q_{\min} \sim 12$ а.о.)	2 ($a_{\min} = 18$ а.о.)	4 ($q_{\max} \sim 29$ а.о.)	4 ($a_{\max} \sim 40$ а.о.)
“=”	9 (15–20 а.о.)	8 (22–30 а.о.)	6 (17–23 а.о.)	8 (20–30 а.о.)
“-”	0	3 (38 а.о.)	3 ($q_{\min} \sim 14$ а.о.)	1 ($a_{\min} \sim 20$ а.о.)

(Фол), 7066 (Нес), 8405 (Асбол), 10199 (Харікло), 10370 (Хілоном). Елементи орбіт цих Кентаврів та оскулюючі орбітальні елементи планет на епоху 22 листопада 2002 року, взяті з [1], наведені в табл.1. Робота продовжує наші попередні дослідження орбітальної еволюції Хірона і має на меті виявлення загальних тенденцій в еволюції орбіт Кентаврів, що має суттєве значення для вирішення питання щодо походження та майбутнього цих об'єктів.

МЕТОД ЧИСЕЛЬНОГО ІНТЕГРУВАННЯ

Чисельне інтегрування вибраних об'єктів було проведене на проміжках часу від 600 тис. до 10 мільйонів років у минуле та у майбутнє від сучасної епохи і виконувалося з врахуванням 5 планет – від Юпітера до Плутона. У процесі чисельного інтегрування на кожному оберті також знаходилися мінімальні відстані між астероїдами і планетами, що дозволило знайти кореляцію між близькими зближеннями астероїдів з планетами та їх орбітальною еволюцією.

Чисельне інтегрування виконувалося з використанням інтегратора RA15 Еверхарта [2] з змінним шагом інтегрування та з параметром, який відповідає за похибку, рівним $1 \cdot 10^{-12}$. Подальше інтегрування припинялося, коли значення великої піввісі орбіти астероїда перевищувало 100 а.о.

Окрім чисельного інтегрування орбіт з початковими орбітальними елементами, наведеними в табл.1, для цих же Кентаврів на проміжках часу ± 200 тис. років було виконане чисельне моделювання 12 варіаційних орбіт з трохи іншими початковими орбітальними елементами (зміненими на ± 1 в останньому десятковому розряді). Інтегрування було проведене на комп'ютерах 2-х різних конфігурацій (з процесорами Celeron-900 та Athlon-1400) і дало дещо інші результати для тих астероїдів, для яких зміни орбіт є хаотичними, що є ще одним підтвердженням цієї хаотичності.

У наступних розділах приведені отримані результати для 6 обраних Кентаврів та наведена статистика для варіаційних орбіт для кожного з цих об'єктів.

ЕВОЛЮЦІЯ ОРБІТ КЕНТАВРІВ

З дослідження довготривалої орбітальної еволюції обраних Кентаврів випливає, що її характер визначається наявністю та частотою близьких зближень з планетами. Значна кількість близьких зближень Кентаврів з планетами призводить до хаотичності змін їх орбіт, і навіть незначна зміна елементів їх орбіт (варіаційні орбіти) суттєво впливає на ці зміни.

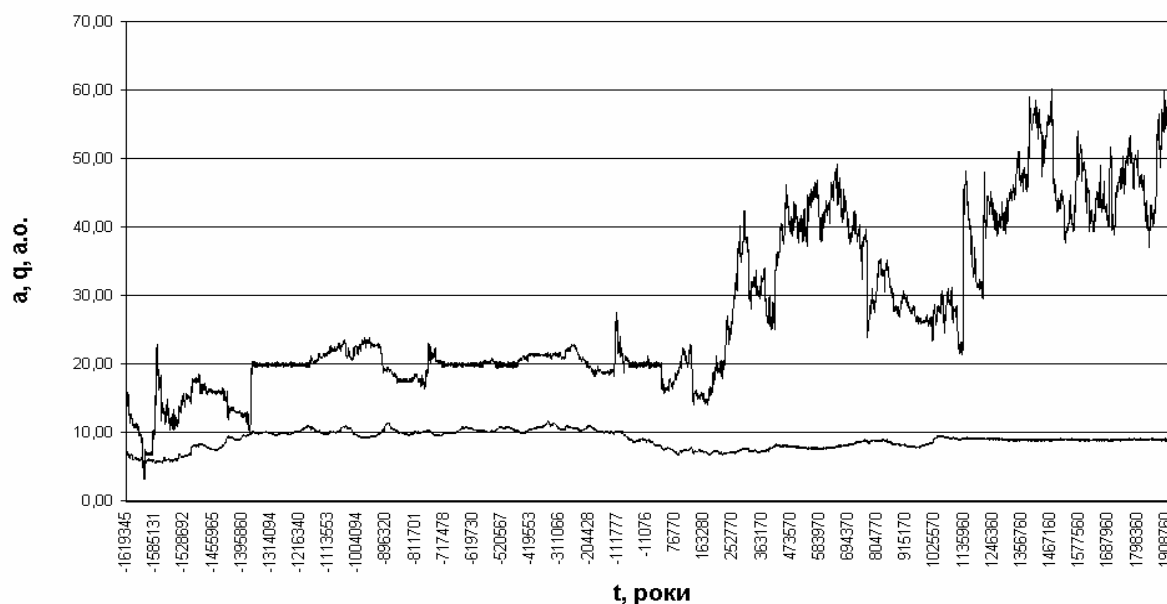


Рис.1. a та q для однієї з орбіт 5145 Фола

ЕВОЛЮЦІЯ ОРБИТИ 2060 ХІРОНА

Моделювання орбітальної еволюції Хірона у минуле та майбутнє показало наявність значної кількості близьких зближень з планетами-гігантами. З Сатурном такі зближення можливі іноді навіть на відстані, менші за 0,1 а.о. Можливі також зближення на відстані близько 0,25 а.о. з Ураном, 0,3 а.о. – з Нептуном. Зближення з Сатурном на відстань 0,006 а.о. через приблизно 400 тис. років у майбутньому призведе до зміни орбіти Хірона з подібної до сучасної, на орбіту з значно більшою величиною піввіссю (більшою за 100 а.о.). Хаотичність зміни орбіти проявилася і для варіаційних орбіт.

Статистика для 13 орбіт Хірона наведена в табл.2. Для еволюції у минуле вказані випадки, коли велика піввісь порівняно з сучасним значенням була меншою (“–”), була більшою (“+”), або була такою ж самою з деякими відхиленнями (“=”). Для моделювання еволюції у майбутнє показані випадки збільшення великої півосі (“+”), зменшення (“–”), збереження теперішніх значень (“=”). Аналогічні дані приведені для перигелійної відстані q .

ОРБИТАЛЬНА ЕВОЛЮЦІЯ 5145 ФОЛА

Еволюція орбіти 5145 Фола визначається головним чином у минулому близькими зближеннями з Сатурном та Ураном, а в майбутньому – зближеннями з Сатурном, Нептуном, Ураном та Юпітером.

Наступний за Хіроном за віддаленістю від Сонця Кентавр, Фол, також демонструє хаотичність змін своєї орбіти і велике розмаїття сценаріїв динамічної еволюції.

Статистика для варіаційних орбіт Фола наведена у табл.3.

Як приклад хаотичного характеру змін орбітальних елементів Кентаврів у процесі еволюції їх орбіт на рис.1 наведені графіки a та q еволюції однієї з орбіт 5145 Фола.

Наші підрахунки виявили також можливість захоплення Фола Юпітером на орбіту тимчасового супутника. Таке явище, згідно підрахунків, мало 1,6 млн. років тому і продовжувалось біля 20 років. На рис.2 показано рух Фола відносно Юпітера під час цієї події.

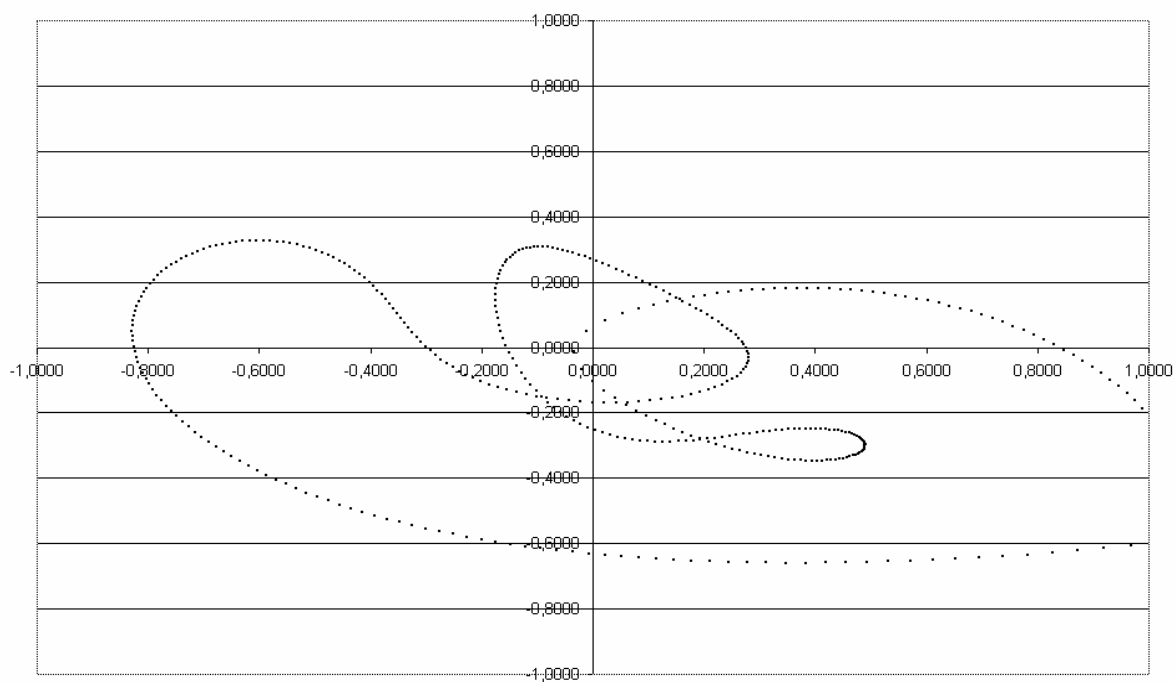


Рис.2. Тимчасове захоплення 5145 Фола Юпітером на орбіту супутника

ОРБИТАЛЬНА ЕВОЛЮЦІЯ 7066 НЕССА

У більшості випадків орбітальні елементи a та q як в минулому, так і в майбутньому залишаються майже незмінними, змінюючись у межах 10 – 13,5 а.о. для q (початкове значення 11,77 а.о.) та 22 – 28 а.о. для a (початкове значення 24,43 а.о.). Незважаючи на це, інтегрування у минуле показало, що у 3-х випадках a поступово зростало від значень 17 – 22 а.о. до сучасного, а інтегрування у майбутнє – 1 випадок зменшення a до 16,5 а.о. та 3 випадки його збільшення до 28 – 30 а.о. Зміни орбіти в минулому викликані головним чином близькими зближеннями за Сатурном і Ураном, а також Нептуном і Плутоном (у незначній мірі); зміни орбіти в майбутньому визначаються зближенням з Ураном, Нептуном і Плутоном.

ОРБИТАЛЬНА ЕВОЛЮЦІЯ 8405 АСБОЛА

У більшості випадків зміни орбіти 8405 Асбола (табл.4) спричинені близькими зближеннями з Сатурном. Так, наприклад, серія близьких зближень з Сатурном, що буде мати місце через 70 000 – 100 000 років у майбутньому у нашому моделюванні викличе перехід 8405 на орбіту, що знаходиться у резонансі 4:3 з Сатурном. У майбутньому також значну роль будуть відігравати близькі зближення з Юпітером, можливі близькі зближення з Ураном (до 0,25 а.о.). У минулому найбільш значний вплив на зміну орбітальних елементів відіграли близькі зближення з Сатурном та Ураном, в той час як зближення з Нептуном та Плутоном відбувалися тільки зрідка.

ОРБИТАЛЬНА ЕВОЛЮЦІЯ 10199 ХАРІКЛО

Характер зміни орбітальних елементів 10199 Харікло показав, що цей об'єкт рухається у резонансі 17:8 за Сатурном. Зміни орбітальних елементів a та q незначні: до 0,2 а.о. для a та 1 а.о. для q . На рис.3 наведено зміни a , критичного параметру σ , ексцентриситету e та нахилу i орбіти 10199 Харікло. Графік критичного параметру σ вказує на те, що 10199 Харікло рухається у резонансі 17:8 з Сатурном.

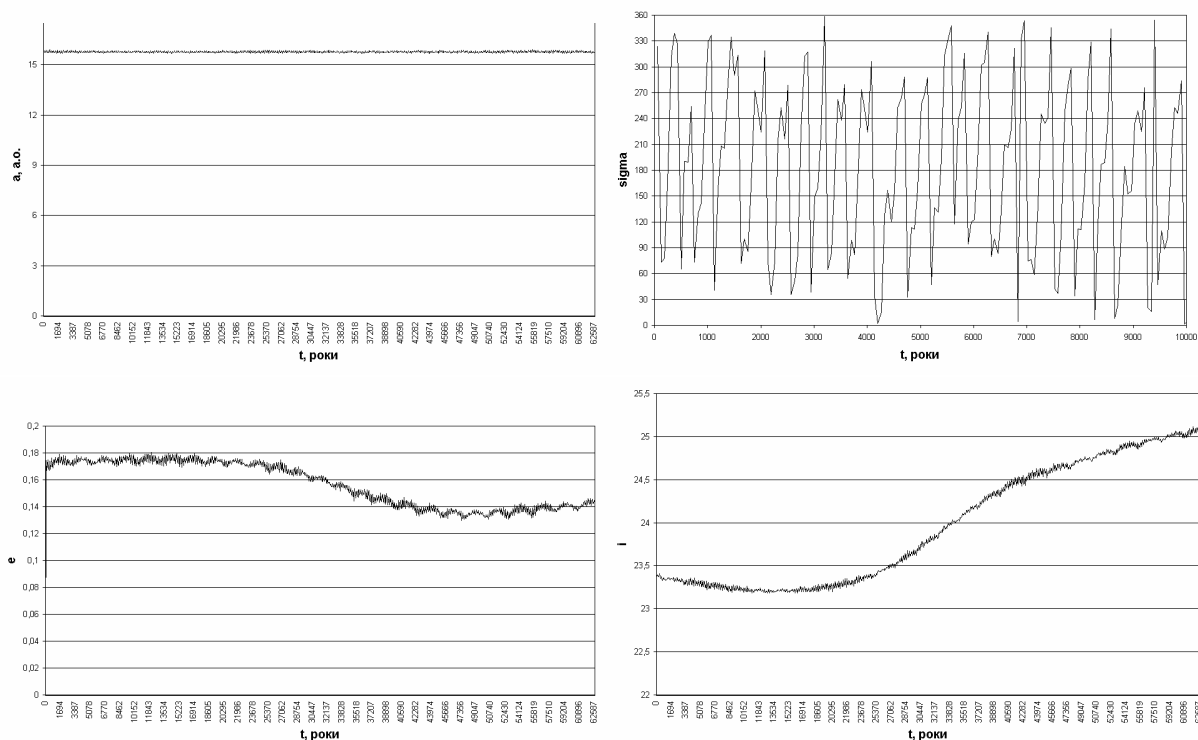


Рис.3.Зміни з часом великої піввісі a , критичного параметру σ , ексцентриситету e , нахилу орбіти i для 10199 Харікло

ОРБИТАЛЬНА ЕВОЛЮЦІЯ 10370 ХІЛОНОМА

Найчастіше 10370 Хілоном має близькі зближення з Ураном та Нептуном (на відстань до 0,03 а.о.). Результати чисельного інтегрування варіаційних орбіт Хілонома наведені у табл.5.

Наші підрахунки для цього астероїда на період ± 200 тис. років не виявили ні випадків значного збільшення його великої піввісі і викиду цього об'єкту назовні, ні значного зменшення його великої піввісі та переходу його у внутрішню частину Сонячної системи.

ВИСНОВКИ

Моделювання орбітальної еволюції Кентаврів 2060 (Хірон), 5145 (Фол), 7066 (Нес), 8405 (Асбол), 10199 (Харікло), 10370 (Хілоном) виявило різний характер змін їх орбіт як у майбутньому, так і в минулому. Зміни орбіт тих Кентаврів, що зазнають близьких зближень з планетами-гігантами, є хаотичними. 2060 (Хірон), 5145 (Фол), 7066 (Нес), 8405 (Асбол), 10370 (Хілоном) мають найбільш значні зміни орбіт.

Об'єкт групи Кентаврів 10199 (Харікло) рухається у резонансі 17:8 з Сатурном. 8405 (Асбол) у майбутньому буде рухатись у резонансі 4:3 з Сатурном. Моделювання орбітальної еволюції 5145 Фола у минуле показало можливість його тимчасового захоплення Юпітером на орбіту супутника.

1. Эфемериды малых планет на 2002 год / под ред. В.А.Шора. – С.-Пб.: ИПА РАН, 2001. – 1295 с.
2. *Everhart E.* Implicit single sequence methods for integrating orbits // *Cel.Mech.* – 1974. – **10**. – P.35–55.
3. *Hahn G., Bailey M.E.* Rapid dynamical evolution of giant comet Chiron // *Nature*. – 1990. – **348**. – P.132–136.
4. *Nakamura Ts., Yoshikawa M.* Orbital evolution of giant comet-like objects // *Cel.Mech.* – 1993. – **57**. – P.113–121.
5. *Oikawa S., Everhart E.* Past and future orbit of 1977 UB, object Chiron // *Astron.J.* – 1979. – **84**. – P.134–139.
6. *Scholl H.* History and evolution of Chiron's orbit // *Icarus*. – 1979. – **40**. – P.345–349.
7. *Tholen D.J., et al.* Object 2060 Chiron // *IAO Circ.* – 1998. – P.45–54.

Надійшла до редакції 14.09.2001