

УДК 523.532

АСТЕРОИДНО-МЕТЕОРОИДНЫЙ КОМПЛЕКС КАПРИКОРНИД

Бабаджанов П. Б.¹, Кохилова Г. И.², Хамроев У. Х.³

THE CAPRICORNIDS ASTEROID-METEOROID COMPLEX

Babadzhanov P. B., Kokhirova G. I., Khamroev U. Kh.

The near-Earth asteroids (NEAs) 2008BO16, 2011EC41, and 2013CT36 are moving on the similar orbits that could be classed as comet-like according to their values of the Tisserand invariant. Investigation of the orbital evolution shows that the NEAs are the quadruple crossers of the Earth's orbit. Consequently, a developed meteoroid stream, possibly associated with them, might produce four meteor showers. Theoretical parameters of the predicted showers were calculated and identified with the observable nighttime σ -Capricornids and χ -Sagittarids, and daytime Capricornids-Sagittarids and χ -Capricornids showers. The comet-like orbits and association with the same meteoroid stream producing four active showers are strong indications that these asteroids have a common cometary origin. Earlier the NEAs (2101) Adonis and 1995CS, which additionally is potentially hazardous asteroid (PHA), were recognized as dormant comets on the base of their association with the same meteoroid stream. So, it may be concluded, that either the considered NEAs are large sized splinters of the Adonis, or all five objects are fragments of a larger comet that was the parent body of the Capricornids meteoroid stream, and whose break-up occurred several tens of thousands years ago.

Keywords: Near-Earth asteroids, dormant comets, meteoroid stream, meteor showers, orbits, evolution, radiant.

В настоящее время факт, что некоторые астероиды, сближающиеся с Землей (АСЗ), могут быть угасшими или остановленными кометами является общепризнанным. Следовательно, можно ожидать, что такие АСЗ могли образовать метеороидные рои в периоды их активности. Таким образом, существование родственного метеороидного роя с его наблюдаемыми метеорными потоками и кометоподобная орбита являются указателями кометной природы астероида. Такие АСЗ и связанные с ними метеороидные рои, имеющие очень схожие орбиты и, вероятно, общего родителя, образуют комплексы околоземных объектов (ОЗО). Примером такого семейства является астероидно-метеороидный комплекс Таурид, состоящий из многих метеорных потоков, кометы 2P/Энке и более

40 АСЗ, двигающихся внутри роя и являющихся в реальности угасшими или остановленными кометными фрагментами [1–5]. Метеороидные рои Писциды, ι -Акварида, ν -Виргиниды, Скорпииды также содержат от одного до нескольких крупных АСЗ кометного происхождения и эти комплексы образовались в результате распада комет [6–9].

В данной работе представлены результаты выявления трех новых АСЗ, двигающихся в метеороидном рою σ -Каприкорниды, который родственен с астероидом (2101) Адонис.

В базе данных “Near-Earth Objects Dynamic Site” [10] нами выявлены три землелепересекающих астероида группы Аполлона 2008BO16, 2011EC41, 2013CT36, двигающихся по схожим орбитам кометного типа. Основные характеристики АСЗ приведены

¹Бабаджанов Пулат Бабаджанович, академик АН РТ, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий отделом метеорной астрономии Института астрофизики АН Республики Таджикистан; e-mail: p.b.babadzhanov@mail.ru.

²Кохилова Гулчехра Исроиловна, д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник отдела метеорной астрономии, заместитель директора по научной работе Института астрофизики АН Республики Таджикистан; e-mail: kokhirova2004@mail.ru.

³Хамроев Умеджон Ходжамкулович, младший научный сотрудник отдела метеорной астрономии Института астрофизики АН Республики Таджикистан; e-mail: umed-1982@mail.ru.

Таблица 1. Элементы орбит (J2000.0) и физические параметры АСЗ

АСЗ	a (а.е.)	e	q (а.е.)	Q (а.е.)	i (град)	Ω (град)	ω (град)	π (град)	T_j	H	d (км)
2008ВО16	2,4	0,809	0,46	4,40	8,6	133,9	254,4	28,3	2,9	22,9	0,13
2011ЕС41	2,4	0,880	0,29	4,56	9,9	38,8	357,8	36,7	2,8	19,9	0,53
2013СТ36	2,5	0,819	0,44	4,47	6,4	351,6	38,9	30,4	2,9	19,2	0,73

в табл. 1, где кроме типичных элементов орбиты, также даны абсолютная звездная величина астероида H , его эквивалентный диаметр d , а также значение постоянной Тиссерана T_j .

Для оценки эквивалентных диаметров d астероидов мы использовали следующее отношение [11]:

$$2 \log(d) = 6,247 - 0,4H - \log(p), \quad (1)$$

где p — альbedo астероида. Значения диаметров в табл. 1 определены при средней величине альbedo $p = 0,07$ принятой для очень темных астероидов [12].

Для классификации орбит АСЗ использована постоянная Тиссерана, наиболее широко применяемая среди нескольких имеющих параметров для динамического разделения между кометами и астероидами [13] и определяемая по отношению к Юпитеру следующим выражением [14, 15]:

$$T_j = \frac{a_j}{a} + 2 \left[\frac{a}{a_j} (1 - e^2) \right]^{0,5} \cos i, \quad (2)$$

где a , e , i — большая полуось, эксцентриситет и наклон орбиты объекта, соответственно, $a_j = 5,2$ а.е. — большая полуось орбиты Юпитера. Первоначально Кресак [13] показал, что для комет значения постоянной Тиссерана изменяются в пределах $2,08 < T_j \leq 3,12$, и для астероидов $T_j > 3,12$. Величина T_j вблизи 3 до сих пор рассматривается в качестве граничного значения между астероидными и кометными орбитами. Согласно значениям постоянной Тиссерана (табл. 1) орбиты АСЗ являются кометоподобными.

Родственная связь между ОЗО подтверждается схожестью их орбит, доказанной с помощью критериев, таких как D_{SH} критерий Саутворта и Хокинса [16], являющегося мерой близости двух орбит и вычисляемого

по следующему отношению

$$D_{S-H}^2 = (e_2 - e_1)^2 + (q_2 - q_1)^2 + \left(2 \sin \frac{i_2 - i_1}{2} \right)^2 + \sin i_1 \sin i_2 \left(2 \sin \frac{\Omega_2 - \Omega_1}{2} \right)^2 + \left[\left(\frac{e_1 + e_2}{2} \right) 2 \sin \frac{(\Omega_2 + \omega_2) - (\Omega_1 + \omega_1)}{2} \right]^2, \quad (3)$$

где используются пять элементов орбит, а индексы 1 и 2 относятся к двум сравниваемым орбитам. Орбиты считаются схожими, если их значение $D_{SH} \leq 0,20$. В случаях быстрых изменений угловых элементов орбит Ω и ω Ашер и др. [1] предложили упрощенную версию D критерия, а именно

$$D^2 = \left(\frac{a_1 - a_2}{3} \right)^2 + (e_1 - e_2)^2 + \left\{ 2 \sin \frac{i_1 - i_2}{2} \right\}^2, \quad (4)$$

с теми же пределами, что и для D_{SH} .

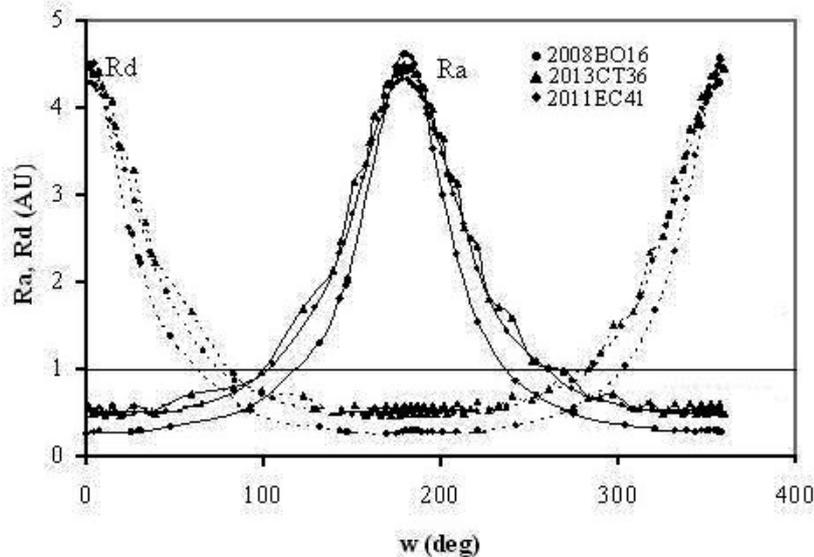
Взаимные значения D критерия (табл. 2) подтверждают, что все три АСЗ имеют схожие орбиты и, вероятно, общее происхождение. Для более надежного доказательства этого утверждения необходимо убедиться в существовании родственного с ними общего метеороидного роя.

1. Исследование эволюции орбит АСЗ и поиск родственных потоков

Как показали Бабаджанов и Обрубов [17], так как нодалные гелиоцентрические расстояния орбит метеороидов роя принимают значения равные 1 а.е. при четырех различных значениях аргумента перигелия ω в течение одного цикла изменения, то метеороидный рой может породить четыре метеороидных потока. Эти потоки состоят из ночного

Таблица 2. Взаимные значения D критерия

АСЗ	2008BO16	2011EC41	2013CT36
2008BO16	0	0,19	0,02
2011EC41	0,19	0	0,17
2013CT36	0,02	0,17	0



Изменения нодальных гелиоцентрических расстояний трех АСЗ

потока с северной и южной ветвью, образуемых при пред-перигелийном пересечении с орбитой Земли, и из дневного потока также с северной и южной ветвями, порождаемых при после-перигелийном пересечении.

Мы вычислили вековые изменения элементов орбит АСЗ методом Эверхарта [18] за один цикл изменения аргумента перигелия ω с учетом гравитационных возмущений больших планет и нашли положения, когда их нодальные гелиоцентрические расстояния равны 1 а.е. Изменения гелиоцентрических расстояний восходящего узла R_a и нисходящего узла R_d орбиты в зависимости от аргумента перигелия ω показаны на рисунке. Как видно из рисунка, за этот период АСЗ пересекают орбиту Земли четыре раза, т.е. R_a и R_d равны 1 а.е. при четырех средних значениях ω : $105,7 \pm 6,5$, $75,2 \pm 5,9$, $289,0 \pm 8,8$, $253,3 \pm 9,8$.

Используя элементы орбит АСЗ в этих положениях мы вычислили теоретические геоцентрические радианты и скорости метеорных потоков, возможно связанных с каждым из этих астероидов. Затем в опубликованных каталогах был выполнен поиск наблюдаемых потоков с параметрами близ-

кими с теоретически предсказанными потоками. Результаты приведены в табл. 3–5, где теоретические северная и южная ветви ночного и дневного потоков обозначены жирным шрифтом как «Т(А)», «Т(В)», «Т(С)» и «Т(Д)», соответственно.

Оказалось, что все три АСЗ связаны с одним и тем же метеороидным роём. Предсказанная северная ветвь ночного потока отождествлена с наблюдаемым ночным потоком, найденным по результатам радионаблюдений метеоров Секаниной [19] и названным им σ -Каприкорниды. В каталоге метеорных потоков Дженнискенса [20] этот поток обозначен как SCA под номером 179. Девять болидов, зарегистрированных болидными сетями Канады, США и Таджикистана, также подтверждают его активность. Предсказанная южная ветвь ночного потока соответствует активному потоку χ -Сагиттарииды. Северная и южная ветви дневного потока отождествлены с дневными Каприкорнидами-Сагиттаридами и χ -Каприкорнидами, соответственно. Все эти наблюдаемые потоки также выделены Сека-

Таблица 3. Теоретические (Т) и наблюдаемые (О) геоцентрические радианты (J2000.0) и скорости метеорных потоков связанных с АСЗ 2008ВО16

Метеорный поток	α_g , град.	δ_g , град.	V_g , км/с	L_{\odot} , град.	Дата	D_{S-H}	Тип	Кат.
Т «А»	293,3	-13,8	26,0	106,9	Июль 9		N	
О σ -Capds	298,5	-18,4	24,6	107,6	Июль 11	0,17	N	S2
Т «В»	295,1	-27,0	26,1	106,3	Июль 8		N	
О χ -Sagds	290,7	-26,0	25,6	100,2	Июль 3	0,05	N	S3
Т «С»	305,4	-13,7	26,0	310,5	Янв 31		D	
О Capds-Sagds	299,8	-14,1	25,1	309,8	Янв 31	0,14	D	S3
Т «D»	307,9	-27,1	25,9	309,5	Янв 30		D	
О χ -Capds	314,8	-23,3	26,8	325,1	Фев 15	0,12	D	S2

Таблица 4. Теоретические (Т) и наблюдаемые (О) геоцентрические радианты (J2000.0) и скорости метеорных потоков связанных с АСЗ 2011ЕС41

Метеорный поток	α_g , град.	δ_g , град.	V_g , км/с	L_{\odot} , град.	Дата	D_{S-H}	Тип	Кат.
Т «А»	291,0	-19,3	31,5	95,3	Июнь 28		N	
О σ -Capds	298,5	-18,4	24,6	107,6	Июль 11	0,19	N	S2
Т «В»	299,7	-21,2	32,2	101,8	Июль 4		N	
О χ -Sagds	290,7	-26,0	25,6	100,2	Июль 3	0,20	N	S3
Т «С»	300,1	-13,4	29,8	329,6	Фев 22		D	
О Capds-Sagds	299,8	-14,1	25,1	309,8	Янв 31	0,11	D	S3
Т «D»	325,6	-16,7	31,4	337,2	Фев 28		D	
О χ -Capds	314,8	-23,3	26,8	325,1	Фев 15	0,19	D	S2

Таблица 5. Теоретические (Т) и наблюдаемые (О) геоцентрические радианты (J2000.0) и скорости метеорных потоков связанных с АСЗ 2013СТ36

Метеорный поток	α_g , град.	δ_g , град.	V_g , км/с	L_{\odot} , град.	Дата	D_{S-H}	Тип	Кат.
Т «А»	294,1	-14,5	26,9	106,3	Июль 9		N	
О σ -Capds	298,5	-18,4	24,6	107,6	Июль 11	0,19	N	S2
Т «В»	300,4	-25,5	26,9	110,2	Июль 13		N	
О χ -Sagds	290,7	-26,0	25,6	100,2	Июль 3	0,05	N	S3
Т «С»	303,7	-15,7	26,9	309,7	Янв 31		D	
О Capds-Sagds	299,8	-14,1	25,1	309,8	Янв 31	0,18	D	S3
Т «D»	305,9	-26,6	27,1	308,9	Янв 30		D	
О χ -Capds	314,8	-23,3	26,8	325,1	Фев 15	0,11	D	S2

ниной [19,21] на основе результатов радионаблюдений.

Удовлетворительное соответствие теоретических и наблюдаемых орбит подтверждается значениями D_{SN} критерия. Близость координат радиантов, скоростей и дат активности потоков также указывают на родственную связь между АСЗ и метеорными потоками.

Отметим, что долготы перигелиев орбит АСЗ 1995CS, 2008BO16, 2011EC41 и 2013CT36 отличаются от долготы перигелия Адониса не более чем на 5 (град.), что также свидетельствует о родственной близости этих объектов.

Выводы

Схожие кометоподобные орбиты объектов и их связь с одним и тем же метеороидным роем, порождающим четыре активных потока, позволяют сделать вывод, что эти астероиды имеют кометную природу и общее происхождение. В статье Бабаджанова [22] было показано, что АСЗ (2101) Адонис с диаметром 800 м связан с тем же самым метеороидным роем, порождающим четыре вышеуказанных метеорных потока. На этой основе сделан вывод о кометной природе Адониса. Кроме того, было установлено, что 40-метровый АСЗ 1995CS, включенный в список потенциально опасных астероидов, находится внутри метеороидного роя, связанного с Адонисом, и, вероятно, является фрагментом Адониса, или вместе с Адонисом представляет собой остатки более крупного кометного тела. Таким образом, на основании новых результатов можно заключить, что или рассматриваемые АСЗ являются крупноразмерными осколками Адониса, или все пять объектов представляют собой остатки большей кометы-родоначальницы метеороидного роя Каприкорниды, разрушившейся несколько десятков тысяч лет назад. Можно ожидать существование таких же фрагментов этого семейства среди ежегодно открываемых многочисленных новых астероидов.

Исследованные астероиды движутся внутри метеороидного роя Каприкорнид. В настоящее время дислокация двух из них 1995CS и 2008BO16 приходится на период активности дневного метеорного потока χ -Каприкорниды 29 января-28 февраля, когда АСЗ и были открыты.

Литература

1. Asher D. J., Clube S. V. M., Steel D. I. Asteroids in the Taurid Complex // Month. Not. Roy. Astron. Soc. 1993. Vol. 264. P. 93–105.
2. Porubcan V., Kornos L., Williams I. P. The Taurid complex meteor showers and asteroids // Contrib. of the Astron. Observ. Skalnaté Pleso. 2006. Vol. 36. No. 2. P. 103–117.
3. Babadzhanov P. B., Williams I. P., Kokhirova G. I. Near-Earth objects in the Taurid complex // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2008b. Vol. 386. Iss. 4. P. 1436–1442.
4. Rudawska R., Vaubaillon J., Jenniskens P. Asteroid 2010 TU149 in the Taurid complex 2012, 2012espc.conf., 886R.
5. Madiedo J. M. et al. The Northern χ -Orionid meteoroid stream and possible association with the potentially hazardous asteroid 2008XM1 // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2013. Vol. 431. P. 2464.
6. Babadzhanov P. B., Williams I. P., Kokhirova G. I. Near-Earth asteroids among the Piscids meteoroid stream // Astron. and Astrophys. 2008a. Vol. 479. P. 249–255.
7. Babadzhanov P. B., Williams I. P., Kokhirova G. I. Near-Earth asteroids among the Iota Aquariids meteoroid stream // Astron. and Astrophys. 2009. Vol. 507. No. 2. P. 1067–1072.
8. Babadzhanov P. B., Williams I. P., Kokhirova G. I. Near-earth object 2004CK39 and its associated meteor showers // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2012. Vol. 420. P. 2546–2550.
9. Babadzhanov P. B., Williams I. P., Kokhirova G. I. Near-earth asteroids among the Scorpiids meteoroid complex // Astron. and Astrophys. 2013. Vol. 556. P. A25.
10. NEO Dynamic Site. 2013. April. [URL] <http://newton.dm.unipi.it/neodys>
11. Tedesco E. F., Veeder G. J., Fowler J. W., Chillemi J. R. The IRAS Minor Planet Survey. Final Report. 1992. Phillips Laboratory, Hanscom Air Force Base, MA, PL-TR-92-2049.
12. Jewitt D. C. Cometary photometry // Comets in the Post-Halley Era/Eds. R.L. Newburn et al. Dordrecht: Kluwer, 1992. Vol. 1. P. 19–65.
13. Kresak L. The discrimination between cometary and asteroidal meteors. I. The orbital criteria // Bull. Astron. Inst. Czech. 1969. Vol. 20. No. 4. P. 177–188.
14. Kresak L. On the similarity of orbits of associated comets, asteroids and meteoroids // Bull. Astr. Inst. 1982. Czech-Sl. Vol. 33. P. 104–110.
15. Kosai H. Short-period comets and Apollo-Amor-Aten type asteroids in view of Tisserand invariant // Cel. Mech. and Dyn. Astron. 1992. Vol. 54. P. 237–240.
16. Southworth R. B., Hawkins G. S. Statistics of

- meteor streams // *Smith. Contrib. Astrophys.* 1963. Vol. 7. P. 261–285.
17. *Babadzhanov P. B., Obrubov Yu. V.* Evolution of short-period meteoroid streams // *Cel. Mech. and Dyn. Astron.* 1992. Vol. 54. No. 1–3. P. 111–127.
18. *Everhart E.* Implicit Single-Sequence Methods for Integrating Orbits // *Cel. Mech.* 1974. Vol. 10. Iss. 1. P. 35–55.
19. *Sekanina Z.* Statistical Model of Meteor Streams. III. Stream Search Among 19303 Radio Meteors // *Icarus.* 1973. Vol. 18. No. 2. P. 253–284.
20. *Jenniskens P.* Meteor Showers and their Parent Comets. New York: Cambridge Univ. Press, 2006. 790 p.
21. *Sekanina Z.* Statistical model of meteor streams. IV – A study of radio streams from the synoptic year // *Icarus.* 1976. Vol. 27. No. 2. P. 265–321.
22. *Babadzhanov P. B.* Meteor showers associated with the Near-Earth Asteroid (2101) Adonis // *Astron. and Astrophys.* 2003. Vol. 397. No. 1. P. 319–323.

Ключевые слова: астероиды сближающиеся с Землей, угасшие кометы, метеороидный рой, метеорные потоки, орбиты, эволюция, радинаты.

Статья поступила 4 октября 2013 г.

Институт астрофизики АН Республики Таджикистан, г. Душанбе

© Бабаджанов П. Б., Кохилова Г. И., Хамроев У. Х., 2013