

УДК 523.532

БОЛИДНЫЙ ПОТОК σ -КАПРИКОРНИДЫ*Бабаджанов П. Б.¹, Кохилова Г. И.², Хамроев У. Х.³*THE σ -CAPRICORNIDS FIREBALL SHOWER

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

During 2010–2011 years by the Tajikistan fireball network three fireballs were photographed which belong to the σ -Capricornids meteor shower. As a result of astrometric and photometric reductions of the obtained images, the atmospheric trajectories, radiants, velocities, orbits, and light curves of the fireballs, as well as the photometric masses of meteoroids produced these fireballs were determined. Taking into account the observations else six fireballs of this shower in the Canada and USA, the period of shower activity 5-24 July was determined as well as, for the first time, the mean daily radiant drift was found to be $\Delta\alpha = 0.6^\circ$ for the right ascension and $\Delta\delta = 0.3^\circ$ for the declination. The coordinates of mean radiant are equal to $\alpha = 300.4^\circ$ and $\delta = -12.4^\circ$ at the Solar longitude $L_\odot = 115.6^\circ$, which corresponds to the 18 July.

Keywords: fireball shower, fireball, atmospheric trajectory, radiant, orbit, light curve, mass, density.

В 2010–11 гг. по программе наблюдений болидной сетью Таджикистана [1] было сфотографировано три болида, принадлежащих потоку σ -Каприкорниды. Метеорный поток с активностью в период 2 июня – 29 июля впервые был выделен Секаниной по результатам радиолокационных наблюдений 1968–69 гг. и назван им σ -Каприкорниды [2,3]. Для выделения потока им были использованы 40 метеоров, зарегистрированных в 1968 г., и 35 метеоров по наблюдениям в 1969 г. В каталоге метеорных потоков Дженискенса [4] этот поток обозначен как SCA под номером 179 и он считает, что болидный поток β -Каприкорниды, выделенный Терентьевой [5], на самом деле является также σ -Каприкорнидами.

В работе [6] показано, что болидный поток σ -Каприкорниды связан с метеороидным роєм, порождающим еще три потока: ночные χ -Сагиттарида, и дневные Каприкорниды-Сагиттарида и χ -Каприкорниды. Метеороидный роь, порождающий эти потоки, род-

ственен с астероидами, сближающимися с Землей, (2101) Адонисом, 1995CS, 2008BO16, 2011EC41 и 2013CT36 [7].

1. Атмосферные траектории, радианты, скорости и орбиты болидов σ -Каприкорнид

В результате фотографических наблюдений 20 июля 2010 г. двумя станциями болидной сети, а 23 и 24 июля 2011 г. — тремя станциями были зарегистрированы три болида σ -Каприкорнид. Для всех болидов, наряду с фотографиями, полученными болидными камерами, с помощью цифровых камер получены также и цифровые изображения, которые использовались для определения моментов пролета болидов.

Для астрометрической редукции использована методика, применяемая в Институте астрофизики АН РТ [8], позволяющая определять координаты болида с точностью не

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.

более одной минуты дуги. Для определения положений болидов на небесной сфере были использованы изображения 70–110 опорных звёзд на каждом снимке.

Результаты определения основных параметров атмосферных траекторий, координат радиантов, скоростей и элементов орбит болидов приведены в таблице. Здесь даны номер болида, дата наблюдения, долгота Солнца L_{\odot} , соответствующая дате пролета болида; геоцентрические координаты радианта: прямое восхождение α_g и склонение δ_g ; $\cos z_R$, где z_R — зенитное расстояние видимого радианта; высоты начала h_B и конца h_E видимой траектории болида над уровнем моря; внеатмосферная скорость v_{∞} ; геоцентрическая скорость v_g ; гелиоцентрическая скорость v_h ; элементы орбиты: большая полуось a , эксцентриситет e , перигелийное расстояние q , афелийное расстояние Q , долгота восходящего узла Ω , аргумент перигелия ω , наклон i , долгота перигелия π ; максимальная абсолютная звёздная величина болида M_{max} ; общая длительность болида t ; доатмосферная масса метеороида m_{∞} ; эмпирический критерий конечных высот болидов PE ; тип болида согласно классификации Цеплехи и МакКроски [9]; критерий Саутворта и Хокинса принадлежности болида к потоку D_{SH} . Все угловые величины в таблице даны в равноденствии 2000,0. Методика и процедура вычислений всех данных, приведенных в таблице и в следующих разделах работы, детально описаны в [8].

В опубликованных каталогах результатов наблюдений болидов мы обнаружили три болида, сфотографированных Канадской болидной сетью MORP [10], и три болида, сфотографированных Прерийной сетью США PN [11], принадлежащих потоку σ -Каприкорниды. Все данные этих болидов также приведены в таблице.

Принадлежность болида к какому-либо известному потоку определяется схожестью его координат радианта, скорости, даты активности, элементов орбиты с соответствующими средними данными этого потока. В установлении взаимной схожести двух орбит важным средством является D_{SH} критерий Саутворта и Хокинса [12], величина которого определяет расстояние между орбитами двух тел в фазовом пространстве элементов e , q ,

i , Ω и ω :

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

где индексы 1 и 2 соответствуют элементам сравниваемых орбит. Когда $D_{S-H} \leq 0,20$, то считается, что эти два объекта генетически связаны и имеют общее происхождение. Вычисленные значения D_{SH} критерия болидного потока σ -Каприкорниды [2] и исследуемых болидов приведены в таблице. Видно, что величина D_{SH} критерия заключена в пределах от 0,10 до 0,20 и указывает на то, что все они находятся на орбитах схожих со средней орбитой потока. Таким образом, согласно D_{SH} критерию, а также близости координат радиантов, скоростей и дат активности все эти девять болидов принадлежат потоку σ -Каприкорниды.

Рассматриваемые болиды наблюдались в период 5–24 июля. По этим данным можно определить среднесуточное смещение радианта σ -Каприкорнид, которое оказалось равным по прямому восхождению $\Delta\alpha = 0,6$ (град.) и по склонению $\Delta\delta = 0,3$ (град.).

Рис. 1 показывает суточное смещение радианта σ -Каприкорнид в зависимости от долготы Солнца L_{\odot} (в град.). Точками отмечены наблюдаемые координаты радиантов болидов. Средние значения координат радиантов болидов составляют $\alpha = 300,4$ (град.) и $\delta = -12,4$ (град.) при долготе Солнца $L_{\odot} = 115,6$ (град.), которая соответствует 18 июля.

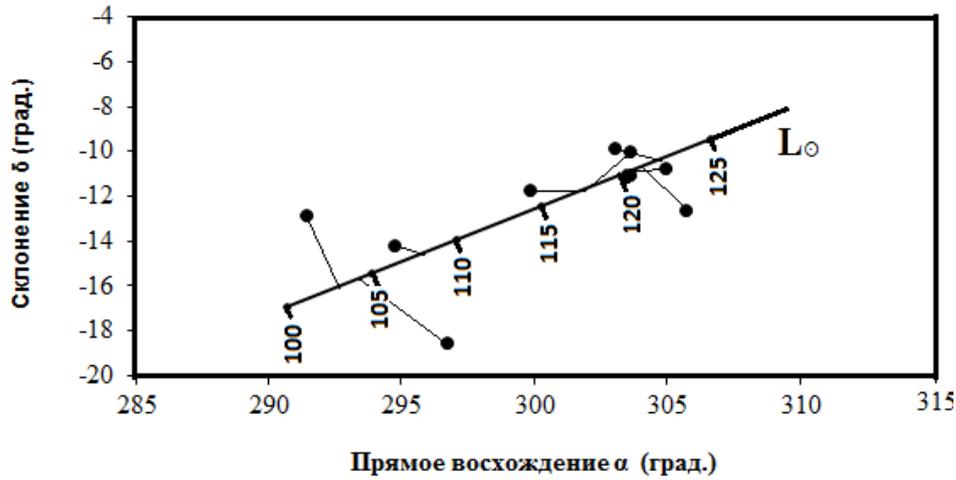
Результаты определения орбит наблюдавшихся болидов показывают, что все они являются короткопериодическими, с малым наклоном к эклиптике в интервале 2–12 град. Перигелийные расстояния расположены внутри орбиты Венеры, следовательно, этот метеороидный рой может порождать метеорные потоки также и на Венере.

2. Массы и плотности метеороидов σ -Каприкорнид

Фотометрическая редукция болидов выполнена по методике, разработанной для фотографий, получаемых болидной камерой с объективом «рыбий глаз» [8].

Основные параметры атмосферных траекторий, координаты радиантов, скорости и элементы орбит болидов σ -Каприкорниды

Номер Болида	TN200710A	TN230711	TN240711	MORP571	MORP682	MORP793	PN670711	PN690723	PN740707
Дата и год	20 июля 2010	23 июля 2011	24 июля 2011	24 июля 1980	5 июля 1981	20 июля 1982	11 июля 1967	23 июля 1969	7 июля 1974
L_{\odot} (град.)	117,8	120,5	121,4	121,1	102,8	117,6	108,7	120,7	104,7
α_g (град.)	303,6	304,9	303,6	303,0	291,4	299,8	294,7	305,7	296,7
δ_g (град.)	-11,0	-10,7	-10,0	-9,8	-12,8	-11,7	-14,2	-12,6	-18,5
$\cos z_R$	0,579	0,686	0,682	0,512	0,445	0,549	0,469	0,642	0,559
h_B (км)	93,9	98,7	86,4	91,3	89,1	89,8	88,7	73,8	77,3
h_E (км)	78,3	72,4	77,7	80,9	78,8	73,7	81,9	41,7	43,5
v_{∞} (км/с ⁻¹)	29,0	27,4	25,8	26,9	35,3	24,7	29,5	25,6	24,2
v_g (км/с ⁻¹)	26,6	25,0	23,2	24,5	33,6	22,1	27,3	23,0	21,5
v_h (км/с ⁻¹)	37,7	37,2	36,8	37,9	41,6	36,2	38,2	36,0	33,0
a (а.е.)	2,75	2,46	2,25	2,86	51,62	2,03	3,23	2,04	1,41
e	0,831	0,798	0,757	0,810	0,993	0,726	0,85	0,75	0,67
q (а.е.)	0,46	0,50	0,55	0,54	0,38	0,56	0,47	0,51	0,46
Q (а.е.)	5,04	4,43	3,95	5,17	102,90	3,51	5,90	3,60	2,4
Ω (град.)	117,8	120,5	121,4	121,8	103,5	117,6	108,7	120,7	104,7
ω (град.)	281,3	278,5	274,3	272,1	285,1	274,2	279,9	278,3	290,7
i (град.)	8,5	7,8	7,8	8,4	12,0	6,7	7,2	5,5	2,3
π (град.)	39,1	39,0	35,7	33,9	28,6	31,8	28,6	39,0	35,4
M_{max}	-9,32	-9,21	-6,28	-8,0	-6,7	-7,7	-7,1	-10,5	-6,4
t (с)	0,98	1,39	0,49	0,80	0,70	1,20	0,55	2,15	2,25
m_{∞} (кг)	0,486	0,534	0,052	0,024	0,015	0,065	0,038	4,70	0,440
PE	-6,22	-5,98	-5,97	-5,97	-5,46	-5,72	-6,03	-4,72	-4,00
Тип	IIIB	IIIB	IIIB	IIIB	IIIA	IIIB	IIIB	II	I
D_{SH}	0,14	0,13	0,16	0,20	0,20	0,20	0,19	0,10	0,10

Рис. 1. Суточное смещение радианта потока σ -Каприкорнид

Внеатмосферные массы и максимальные абсолютные звёздные величины, определенные по фотометрическим измерениям трех болидов σ -Каприкорнид, сфотографированных болидной сетью Таджикистана, а также шести болидов Канадской и Прерийной сетей, приведены в таблице. Массы метеороидов, породивших болиды, составляют от 15 г до 4,7 кг. На рис. 2 представлены кривые блеска болидов, наблюдавшихся в Таджикистане, где по оси ординат даны абсолютные звёздные величины и по оси абсцисс — высоты над уровнем моря. Кривые блеска показывают резкое возрастание яркости ближе к концу видимой траектории, и затем резкое убывание блеска в конце. Абсолютная звёздная величина болидов заключена в пределах от $-4,0$ до $-9,5$.

Значения PE критерия, приведенные в таблице и определяемые по формуле

$$PE = \lg \rho_E - 0,42 \lg m_\infty + 1,49 \lg v_\infty - 1,29 \lg \cos z_R,$$

где ρ_E — плотность атмосферы на высоте h_E конца видимой траектории болида, характеризуют способность метеороида проникнуть в земную атмосферу. Для большинства болидов, значения PE критерия являются типичными для болидов типа ШВ/ША согласно классификации Цеплехи и МакКроски [9], то есть представляют собой чисто кометное вещество. Болиды типа ШВ порождаются метеороидами, имеющими наименьшую объемную плотность $\delta = 0,2 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$, и представ-

ляющими собой рыхлое кометное вещество. Болиды типа ША характеризуются средней плотностью $\delta = 0,6 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ и также кометным происхождением.

На основе вычисленного значения PE критерия два болида PN740707 и PN690723 классифицируются как болиды I и II типов, соответственно. Обычно болиды I типа порождаются каменными метеороидами с плотностью $\delta = 3,5 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$, а болиды II типа — метеороидами близкими по составу к углистым хондритам с более низкой плотностью $\delta = 2,1 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. Как правило, метеороиды этих типов имеют астероидное происхождение. Кометная природа болидов σ -Каприкорнид не вызывает сомнения, так как только в результате дезинтеграции кометы возможно было образование устойчивого долгоживущего метеороидного роя, порождающего четыре наблюдаемых метеорных потока, включая рассматриваемый поток. Следовательно, здесь вновь выявляется факт существования среди кометных метеороидов тел, состоящих из материала с гораздо большей плотностью.

Существование болидов различных типов среди кометных метеороидов таких, как Леониды и Персеиды, было подтверждено в работах [13–15], на основе чего сделан вывод о неоднородном составе родительских комет этих потоков.

Содержание в кометных метеороидах плотных фрагментов минералов, характерных для астероидного вещества, подтвер-

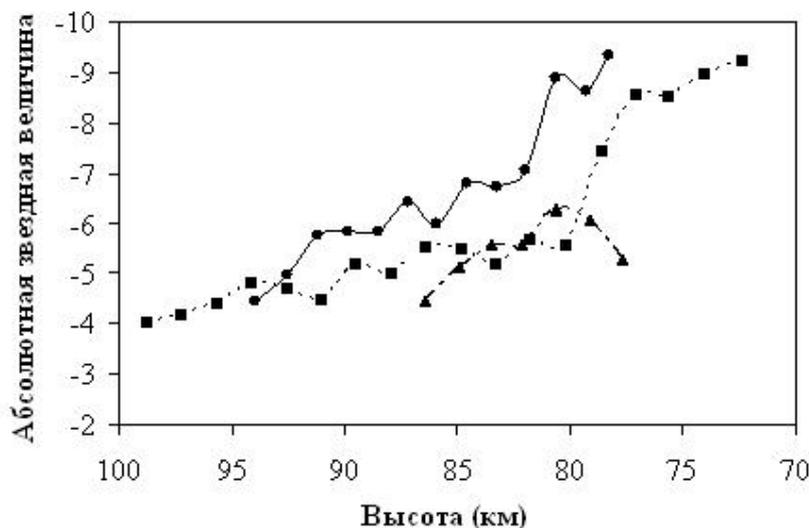


Рис. 2. Кривые блеска болидов σ -Каприкорниды по наблюдениям в Таджикистане: TN200710A — точки, TN230711 — квадраты и TN240711 — треугольники

ждает и исследование образцов пылевых частиц комет, собранных с помощью космических миссий [16].

Заключение

В работе представлены результаты определения атмосферных траекторий, радиантов, скоростей, орбит, а также доатмосферных масс и кривых блеска трех болидов, сфотографированных болидной сетью Таджикистана. Показано, что вместе с шестью болидами, зарегистрированными болидными сетями Канады и США, они подтверждают активность болидного потока σ -Каприкорниды.

По результатам наблюдений болидных сетей в Таджикистане, Канаде и США впервые определено среднесуточное смещение радианта σ -Каприкорниды, равное по прямому восхождению $\Delta\alpha = 0,6$ (град.) и по склонению $\Delta\delta = 0,3$ (град.). Средние значения координат радиантов болидов составляют $\alpha = 300,4$ (град.) и $\delta = -12,4$ (град.) при долготе Солнца $L_{\odot} = 115,6$ (град.), которая соответствует 18 июля.

Согласно *PE* критерию большинство метеороидов принадлежит к болидной группе ШВ/ША со средней плотностью $0,4 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ и представляют собой кометное вещество. Два болида, сфотографированные Прерийной сетью, принадлежат I и II груп-

пам, и порождены, соответственно, каменным метеороидом с объемной плотностью $3,5 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ и углистым хондритом с плотностью $2,1 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. Наличие среди девяти исследуемых болидов всех типов подтверждает предположение о неоднородном составе кометы-прародительницы болидного потока σ -Каприкорниды.

Литература

1. Бабаджанов П. Б., Кохилова Г. И. Фотографические болидные сети // Известия АН РТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. 2009а. № 2(135). С. 46–55.
2. Sekanina Z. Statistical Model of Meteor Streams. III. Stream Search Among 19303 Radio Meteors // Icarus. 1973. Vol. 18. No. 2. P. 253–284.
3. 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.
4. Jenniskens P. Meteor Showers and their Parent Comets. New York: Cambridge Univ. Press, 2006. 790 p.
5. Terentjeva A. K. Fireball streams // Asteroids, Comets, Meteors III: Proceed. of a meeting ACM 89 held at the Astronomical Observatory of the Uppsala University, June 12–16, 1989 / Eds. C.I. Lagerkvist, H. Rickman, B.A. Lindblad, M. Lindgren. – Uppsala: Universitet Reprocentralen. 1990. P. 579–584.

6. *Babadzhanov P. B.* Meteor showers associated with the Near-Earth Asteroid (2101) Adonis // *Astron. and Astrophys.* 2003. Vol. 397. No. 1. P. 319–323.
7. *Babadzhanov P. B., Kokhirova G. I., Khamroev U. Kh.* The Capricornids Asteroid-meteoroid complex // *Proceedings of the IAU conf. "Meteoroids 2013"*, 26–30 August, 2013, Poznan, Poland (in press).
8. *Бабаджанов П. Б., Кохилова Г. И., Боровичка И., Спурны П.* Фотографические наблюдения болидов в Таджикистане // *Астрон. вестник.* 2009b. Vol. 43. No. 4. С. 367–376.
9. *Cepveda Z., McCrosky R. E.* Fireball end heights – A diagnostic for the structure of meteoric material // *J. of Geophys. Res.* 1976. Vol. 81. No. 35. P. 6257–6275.
10. *Halliday I., Griffin A. A., Blackwell A. T.* Detailed data for 259 fireballs from the Canadian camera network and inferences concerning the influx of large meteoroids // *Meteoritics and Planetary Sci.* 1996. Vol. 31. P. 185–217.
11. *McCrosky R. E., Shao S.-Y., Posen A.* Prairie Network fireballs. I – General information and orbits // *Meteoritika.* 1978. Vol. 37. P. 44–59. In Russian.
12. *Southworth R. B., Hawkins G. S.* Statistics of meteor streams // *Smith. Contrib. Astrophys.* 1963. No. 7. P. 261–285.
13. *Shrbeny L., Spurny P.* Precise data on Leonid fireballs from all-sky photographic records // *Astron. and Astrophys.* 2009. Vol. 506. Iss. 3. P. 1445–1454.
14. *Babadzhanov P. B., Kokhirova G. I.* Densities and porosities of meteoroids // *Astron. and Astrophys.* 2009c. Vol. 495. Iss. 1. P. 353–358.
15. *Кохилова Г. И., Литвинов С. П., Хамроев У. Х.* Аномальный болид метеорного потока Леонид // *Докл. АН РТ.* 2010. Vol. 53. No. 9. С. 674–678.
16. *Zolensky M. E., Zega T. J., Yano H., et al.* Mineralogy and Petrology of Comet 81P/Wild 2 Nucleus Samples // *Science.* 2006. Vol. 314. Iss. 5806. P. 1735–1739.

Ключевые слова: болидный поток, болид, атмосферная траектория, радиант, орбита, кривая блеска, масса, плотность.

Статья поступила 27 октября 2013 г.

Институт астрофизики АН Республики Таджикистан, г. Душанбе

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