

ПЕРИОДЫ АКТИВНОСТИ МЕТЕОРИТО-ПРОИЗВОДЯЩИХ БОЛИДОВ, БОЛИДНЫХ ГРУПП И ИХ ИСТОЧНИКИ

Введение

Существование метеороидных групп, в которых содержатся метеорито-производящие тела, было рассмотрено в [1] на основе анализа точных орбит болидов, полученных канадским проектом (MORP). Такие группы являются источниками поставки на Землю различного типа метеоритов астероидного происхождения, которые после их находки исследуются в лабораторных условиях. Имеются наблюдательные факты, что существуют астероиды, представляющие собой «груды обломков», такие как астероиды Итокава и NEA 1950 DA. Многие из таких астероидов могли произойти в результате столкновений между астероидами главного пояса. Тела подобной структуры могут быть неустойчивыми во время близкого подхода к планетам из-за периодических сил. Гравитационные возмущения со стороны Юпитера и других планет Солнечной системы приводят к разрушению астероидов на множество обломков различного размера: от деkamетровых до метровых и менее, которые под действием эволюционных процессов попадают на землепересекающую орбиту [2]. Образовавшиеся обломки сформируют рой (группу) астероидных фрагментов, в том числе и метеорито-производящих с идентичными гелиоцентрическими орбитами [3], которые в последующем постепенно переходят на землепересекающие орбиты из-за резонансных эффектов, прежде всего с Юпитером. Известным примером происхождения метеоритов – продуктов разрушительного столкновения, является астероид Веста с большим кратером от огромной силы удара, выбросившего крупные осколки из Весты – вестоиды. Некоторые из этих осколков при встрече с Землей выпали в виде метеоритов и имеются в земной коллекции.

Годовая активность метеоритов и спорадических болидов

В последние годы появились работы, касающиеся вопроса годовой активности болидных метеорито-содержащих групп, включающих как крупные фрагменты астероидов, представляющих опасность для Земли, так и более мелкие метеороиды [4, 5]. Особенно это актуально стало в связи с событием Челябинского метеорита, которое привело к изменению прежнего мнения о нижнем пределе размеров потенциально опасных астероидов (PDA), пересекающих орбиту Земли. Прежде считалось, что падения метеоритов на Землю являются случайными по времени, которые должны рассматриваться как несвязанные события, согласующиеся с распределением Пуассона. В таком случае, даты падения метеоритов должны распределяться равномерно на протяжении всего года.

Чтобы выявить периоды активности метеорито-производящих болидов и метеоритов был проведен анализ профиля годовой активности исследуемых тел. Из Международного каталога метеорных данных IAU MDC_2003 [6] и опубликованных за последние 15 лет источников, включая научные журналы и труды международных конференций было выбрано 701 ярких (ярче -5 mag) спорадических болида, которые наблюдались болидными сетями и метеорными станциями в период с 1942 по 2015 гг. Источником информации об известных метеоритах использовался Meteoritical Bulletin Database [7], в котором содержится 338 метеорита с известной датой падения. Выбор кандидатов в метеорито-производящие тела проводился на основе статистического критерия, согласно которому выбирали болиды с предельными высотами $H_e \leq 35$ км, начальными скоростями $V_\infty \leq 25$ км/сек, и конечными скоростями $V_e \leq 10$ км/сек. На основе данных элементов орбит исследуемых болидов было выполнено разделение орбит на кометные и астероидные согласно параметра Тиссерана T_J , определяемого уравнением

$$T_J = \frac{a_J}{a} + 2 \cos i \left[\left(\frac{a}{a_J} \right) (1 - e^2) \right]^{1/2} \quad (1)$$

где a и a_J – большая полуось орбит болида и Юпитера соответственно, e и i – эксцентриситет и склонение орбит болидов. Для кометных орбит параметр Тиссерана $T_J \leq 3$, а для астероидных орбит $T_J > 3$.

В результате проведенного анализа получено годовое распределение по долготе Солнца L числа $N1$ ярких метеорито-производящих болидов и числа $N2$ – метеоритов с известными датами падения, включая метеориты с известными по инструментальным наблюдениям атмосферными траекториями и орбитами. На рис. 1 представлен профиль годовой активности метеорито-производящих болидов астероидного и кометного происхождения, на рис. 2 представлен профиль годовой активности метеоритов с известными датами падения.

Полученный профиль годовой активности метеорито-производящих болидов и метеоритов с известными датами падения показывает несколько периодов повышения активности в течение года. Таким образом, можно утверждать, что события вторжения в атмосферу Земли дециметровых и меньших размеров спорадических метеороидов не носят случайный характер и согласуются с наблюдаемым распределением долготы восходящих узлов околоземных объектов [5].

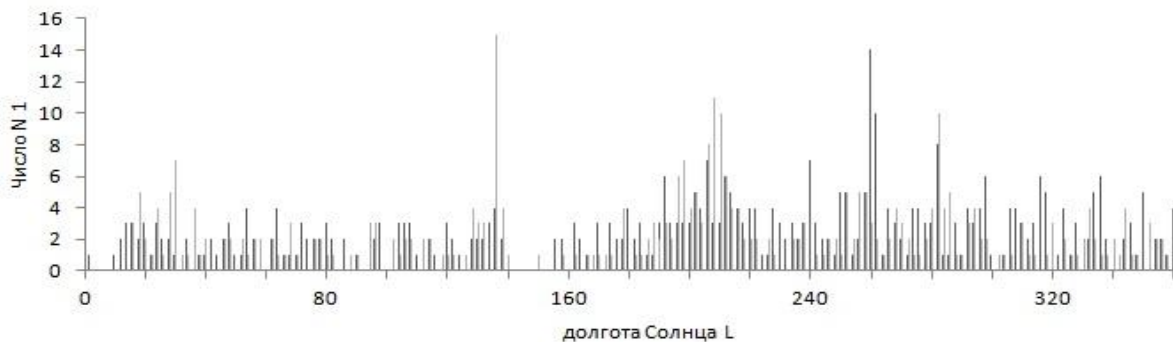


Рис. 1. Годовое распределение числа $N1$ метеорито-производящих болидов по долготе Солнца L . Жирной линией отмечены астероидные болиды, тонкой линией – кометные

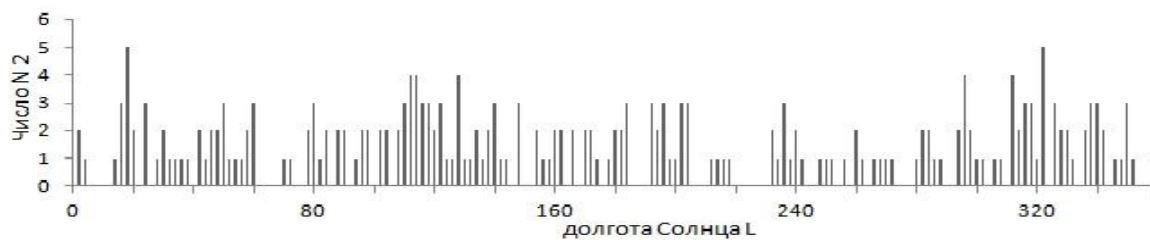


Рис. 2. Годовое распределение числа $N2$ метеоритов с известными датами падения по долготе Солнца L

Физические характеристики метеорито-производящих болидов.

Детальное изучение метеороидов – малых тел Солнечной системы дает важную информацию об их родительских телах – астероидах и кометах. Наблюдения болидными сетями за вторжением в атмосферу Земли ярких (ярче -5 зв.вел.) метеорито-производящих болидов позволяет получать более точные данные об атмосферных траекториях болидов и координатах места падения метеоритов. Например, по данным хорошо наблюдававшихся болидной сетью DFN (Австралия) метеорито-производящих болидов Mason Gully (-9.4 зв.вел.) и Bunburra (-9.6 зв.вел.) были найдены метеориты очень малой массы: от ~ 25 г до 170 г. Еще более удивительным было обнаружение в предсказанном месте падения спустя почти 20 лет после события метеорита Venesov массой всего 11,6 г. Присутствие в метеорито-содержащих болидных

группах помимо крупных метеороидов также и метеороидов небольшой массы, порождающих метеоры слабее -5 зв. вел., позволяет определять их физические характеристики на основе различных моделей абляции. Для этого используются наблюдательные данные об атмосферных траекториях и скоростях, полученные инструментальными методами. В данной работе проведен анализ физических характеристик спорадических метеорито-производящих болидов, наблюдавшихся инструментальными методами в различные годы в Таджикистане [8]. Конечная масса m_e исследуемых метеорито-производящих болидов, которые могли выжить в атмосфере Земли и выпасть метеоритами, вычислялась по уравнению

$$m_e = 1.2\rho_e \frac{v_e^2}{\left(\frac{dv}{dt}\right)_e \rho_m} \quad (2)$$

где v_e , $(dv/dt)_e$ и ρ_e – скорость, торможение болида и плотность атмосферы на конечной высоте видимой траектории, ρ_m – объемная плотность метеороида.

Одной из важных физических характеристик метеороида является его структурная прочность, противостоящая во время полета разрушительному аэродинамическому давлению P_{dyn} набегающего атмосферного потока. Разрушение метеороида, которое сопровождается в большинстве случаев яркой вспышкой, происходит, когда давление перегрузки становится больше чем прочность метеороида. Критическое аэродинамическое давление, при котором происходит разрушение метеороида, вычислялось по уравнению

$$P_{dyn} = \Gamma\rho_{atm}v^2 \quad (3)$$

где v скорость метеороида в момент разрушения, ρ_{atm} – плотность атмосферы на высоте, где произошло разрушение, $\Gamma = 1$ – коэффициент торможения. По величине критического аэродинамического давления P_{dyn} была оценена объемная плотность ρ_m исследованных метеороидов, была использована зависимость объемной плотности от критического давления, представленной в [9, рис. 1]. Результаты определения основных данных атмосферной траектории и физических характеристик метеорито-производящих болидов, исследованных в данной работе, представлены в табл. 1, содержащей следующие сведения: No – номер болида, дата наблюдения, прямое восхождение α_R , и склонение δ_R радианта, внеатмосферная скорость V_∞ , конечная высота световой траектории H_e и масса m_e болида, M_{max} – максимальная яркость.

Таблица 1

No	Дата (год, месяц, день)	α_R град	δ_R град	V_∞ км/с	H_e км	m_e г	M_{max} mag
Группа D1 \equiv Gr 4 [1]							
062D3	621030	332.6	-12.3	13.7	35.2	47	-7.3
190F1	671121	330.6	-10.6	13.5	27.0	>250	-9.3
406PN	711125	326.7	-5.9	13.3	30.9	>250	-
160E1	851020	333.6	-1.6	15.1	38.3	>250	-9.1
289F1	711112	327.3	-5.5	13.7	30.9	-	-6.9
169I1	801125	340.7	1.7	13.5	33.5	770	-7.1
291103	031129	344.6	-12.0	12.9	46.7	-	-4.9
Группа D2							
058D8	800805	308.4	31.6	16.6	33.1	165.0	-9.0
154F1	670828	298.5	32.6	14.1	36.4	-	-5.8
305S1	580711	289.0	1.1	14.31	61.2	-	-
039K2	710726	142.9	57.7	16.5	38.6	-	-4.8

Родительские тела метеорито-производящих болидов

Среди околоземных астероидов NEAs [10] проведен поиск родительских тел исследуемых метеорито-производящих болидов, которые на основе близости орбит, определяемой

D_{SH} -критерием Саутворта – Хоккинса [11], при $D_{SH} < 0.2$ могут быть источниками метеорито-производящих болидов. Результаты представлены в табл. 2, содержащей следующие сведения: No – номер объекта; большая полуось a (а.е.); эксцентриситет e ; наклонение орбиты i ($^\circ$); перигелийное расстояние q (а.е.); аргумент перигелия ω ($^\circ$); долгота восходящего узла Ω ($^\circ$). Для анализа связи метеорито-производящих метеороидов с их предполагаемыми родительскими телами проведено исследование эволюции орбит этих объектов. Численная интеграция орбитальных параметров болидов и их потенциальных родительских тел в прошлое на длительном (до нескольких тысяч лет) интервале времени, проведенная по программе «Mercury б», показала, что критерий близости орбит D_{SH} оставался ниже критического значения [12]. На этом основании можно сделать вывод о существовании динамической связи исследуемых болидов с их родительскими телами.

Таблица 2

No	q а.е.	e	i $^\circ$	ω $^\circ$	Ω $^\circ$	D_{SH}
Группа D1 \equiv Gr 4 [1]						
062D3	0.984	0.583	0.2	15.3	36.73	0.14
190F1	0.988	0.591	0.3	180.9	239.3	0.06
406PN	0.990	0.600	2.0	179.0	242.0	0.05
160E1	0.959	0.675	2.3	204.5	207.5	0.18
289F1	0.987	0.604	1.5	178.4	242.8	0.05
169I1	0.980	0.576	1.1	191.5	243.4	0.09
291103	0.986	0.543	0.95	3.4	67.25	0.07
SL189	1.022	0.566	1.39	62.95	347.9	0.16
VB	1.044	0.618	1.28	107.86	305.3	0.15
Группа D2						
058D8	0.791	0.258	17.9	270.7	133.6	-
154F1	0.945	0.289	12.5	224.4	154.6	0.12
305S1	0.784	0.272	6.7	273.7	108.9	0.19
039K2	0.812	0.327	15.1	100.7	123.5	0.08
1999CV8	0.841	0.352	15.3	279.3	132.0	0.10
2001DF4	0.767	0.371	18.5	260.2	146.7	0.12

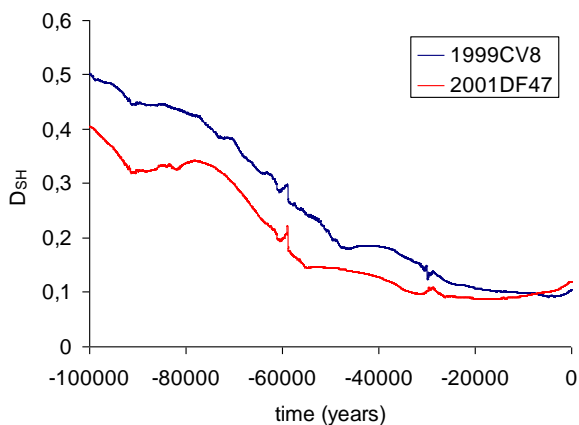


Рис. 3. Эволюция D_{SH} -критерия, вычисленная сравнением орбит метеороида 058D8 и Околоземных объектов 1999CV8 и 2001DF47

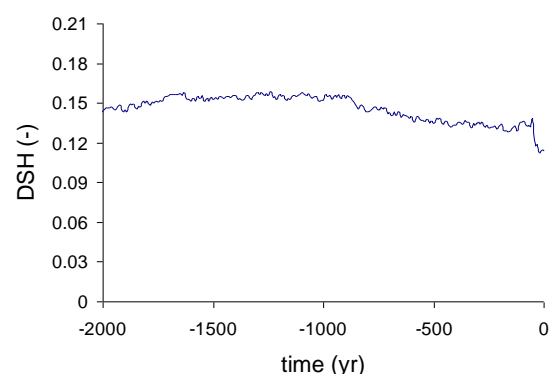


Рис. 4. Эволюция D_{SH} критерия, вычисленная сравнением орбиты метеороида 062D3 и астероида 2011VB

Данная работа выполнена при поддержке Международного Научно-технического Центра по гранту T-2113.

Список литературы: 1. *Halliday I., Blackwell A.T. and Griffin A.A.* Evidence for the existence of groups of meteorite-producing asteroidal fragments // *Meteoritics*, 1990, V. 25, pp. 93-99. 2. *Bottke W.F., Durda D.D., Nesvorny D., et al.* The fossilized size distribution of the main asteroid belt // *Icarus*. – 2005. – V. 175, N. 1. – P. 111-140. 3. *Porubcan V., Williams I.P., Kornos L.* Associations Between Asteroids and Meteoroid Streams // *Earth, Moon, and Planets*. – 2004. – V. 95. – Is. 1-4. – P. 697-712. 4. *Beech M.* Fireballs. Canadian fireball activity from 1962 to 1989 // *WGN, JIMO*. – 2006. – V. 34, N. 4. – P. 104-110. 5. *de la Fuente Marcos C., de la Fuente Marcos R.* Recent multi-kiloton impact events: Are they truly random? // *MNRAS Letters*. – 2015. – V. 446, Is. 1. – P. L31-L35. 6. *Lindblad B.A., Neslusan L., Porubcan V., Svoren.* IAU Meteor Database of photographic orbits version 2003 // *EM&P* – 2003. – V. 93. – P. 249. 7. *Meteoritical Bulletin Database* (<http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php>). 8. *Summary catalogue of orbital elements and light curves of the meteors photographed in the Institute of Astrophysics, Tajik Academy of Sciences (Dushanbe).* Editor P.B. Babadzhonov, Dushanbe // *Donish*. – 2006. – P. 280. 9. *ReVelle D.O.* Fireball dynamics, energetics, ablation, luminosity and fragmentation modeling // *Proceeding Asteroids, Comets, Meteors, 2002*, (ESA-SP-500, 127). 10. *Near Earth Object Program* (http://neo.jpl.nasa.gov/cgi-bin/neo_elem). 11. *Southworth R.B., Hawkins G.S.* Statistics of meteor streams // *Smith. Contrib. Astrophys.* – 1963. – V. 7. – P. 261-285. 12. *Konovalova N.A., Madiedo J.M., Trigo-Rodriguez J.M.* Meteorite-Dropping Sporadic Fireball with an Asteroidal Origin and Its Parent Body // *L&PSci conf.*, 2015, abstr. #1194.pdf.

*Институт астрофизики
Академия наук Республики Таджикистан*

Поступила в редколлегию 20.03.2016