



УДК 523.6+521

Комплексы малых тел в Солнечной системе

А.К. Терентьева, С.И. Барабанов

Институт астрономии РАН

В данной работе рассматриваются обнаруженные нами три комплекса малых тел Солнечной системы. Первый комплекс малых тел связан с периодической кометой Финлея. В его состав входят: метеорит Мерчисон, упавший 28 сентября 1969 г. в Австралии, болидный рой, пять астероидов, комета D/1978 R1 Ханеды–Кампоса и, возможно, комета 1770 I Лекселя со своим семейством малых метеорных роев. Далее, нами найдены обширные рои метеорных тел, связанные с большими роями SOHO комет. Так, семейство кометы C/SOHO (2002 V5), состоящее из 20 комет, и большой рой мелких метеорных тел, выявленный по радиолокационным наблюдениям (191 орбита), составляют второй комплекс малых тел. К третьему комплексу малых тел принадлежит комета C/SOHO (2001 D1) с двумя роями метеорных тел, найденными по радиолокационным наблюдениям (155 орбит). В состав этого широкого кометно-метеорного комплекса входит также поток майских Скорпионид с яркими метеорами и болидами.

КОМПЛЕКСИ МАЛИХ ТІЛ В СОНЯЧНІЙ СИСТЕМІ, Терентьева А.К., Барабанов С.И. — У даній роботі розглядаються виявлені нами три комплекси малих тіл Сонячної системи. Перший комплекс малих тіл пов'язаний з періодичною кометою Фінлея. До його складу входять: метеорит Мерчисон, що впав 28 вересня 1969 в Австралії, болидної рій, п'ять астероїдів, комета D/1978 R1 Ханеда–Кампоса і, можливо, комета 1770 I Лекселя зі своїм сімейством малих метеорних роїв. Далі, нами знайдені великі рої метеорних тіл, пов'язані з великими роями SOHO комет. Так, сімейство комети C/SOHO (2002 V5), що складається з 20 комет, і великий рій дрібних метеорних тіл, виявлений за радіолокаційними спостереженнями (191 орбіта), складають другий комплекс малих тіл. До третього комплексу малих тіл належить комета C/SOHO (2001 D1) з двома роями метеорних тіл, знайденими за радіолокаційними спостереженнями (155 орбіт). До складу цього широкого кометно-метеорного комплексу входить також потік травневих Скорпіонід з яскравими метеорами і болидами.

COMPLEXES OF MINOR BODIES IN THE SOLAR SYSTEM, by Terentjeva A.K., Barabanov S.I. — In this paper three complexes of minor bodies in the Solar System are considered. First complex is related with periodic comet Finlay. It includes meteorite Murchison, fall on 1969 September 28 in Australia, fireball stream, five asteroids, comet Haneda–Campos (D/1978 R1), and perhaps, comet Lexell (1770 I) with its family of minor meteor streams. The family of comet C/SOHO (2002 V5), consisting of 20 comets, and a large shower of small meteoroids, detected by radar observations (191 orbit), are the second complex of small bodies. The C/SOHO (2001 D1) with two showers of meteoric bodies, found by radar observations (155 orbits) belongs to the third complex of small bodies. The composition of the comet and meteor wide complex also includes a showers of the May Skorpionid with bright meteors and fireballs.

Ключевые слова: комплексы малых тел; комета Финлея; метеорит Мерчисон; комета Ханеды–Кампоса (D/1978 R1), комета Лекселя (1770 I); семейство кометы C/SOHO (2002 V5); комета C/SOHO (2001 D1).

Key words: complexes of minor bodies; comet Finlay; meteorite Murchison; comet Haneda–Campos (D/1978 R1); comet Lexell (1770 I); comet C/SOHO (2002 V5) family; comet C/SOHO (2001 D1).

В 1938 г. И.С.Астапович [1, 2], занимаясь изучением метеорных комплексов Солнечной системы, открыл, что через точку пространства с координатами $\lambda = 216^\circ$, $\beta = +2^\circ$ на расстоянии около 1 а.е. от Солнца проходят орбиты 10 метеоритов (все хондриты), кометы 1790 III К.Гершель и её семейства (1911 VI и др.), более 20 метеорных роёв (из них 4 больших) и 27 крупных (зачастую детонирующих) болидов. Из десяти метеоритов пять давали обильные каменные дожди. И.С.Астапович [1] пишет: «Падения метеоритов, болидов и наибольшая активность потоков приходились на XIX в. и ныне, по-видимому, прекращаются. Приходится считать, что не позже конца XVIII в. в вышеуказанной точке произошло внезапное разрушение крупного метеорита или кометы, породившее семейство комет и системы малых тел... Причиной разрушения могло быть столкновение с небольшим метеоритом. Этой группе принадлежит крупный поток болидов. Малых метеорных тел в нем, по-видимому, не имеется».

За прошедшие семь десятилетий со времени открытия этого загадочного факта проблема взаимосвязи малых тел значительно продвинулась вперёд в своём решении благодаря многочисленным попыткам, предпринимаемым различными исследователями. Стало известно несколько сотен орбит метеорных роёв по фотографическим и радиолокационным наблюдениям, около сотни орбит болидных роёв, т.е. более крупных метеорных тел, и, наконец, найдены орбиты метеоритов в общей сложности около полусотни, из которых 39 являются выпавшими на Землю, но пока не найденными [3]. Таким образом, заложен некий фундамент для теоретических концепций в космогонии малых тел. Тем не менее, наши

Таблица 1. Семейство малых тел периодической кометы Финлея

Название объекта	Дата (UT)	Исправленный геоцентр. радиант		$V_g(V_\infty)$, км/с	a , а.е.	e	q , а.е.	i , °	ω , °	Ω , °	π , °	ρ , а.е.	Источник
		α , °	δ , °										
Северная (N) группа													
D/1978 R1 Haneda-Campos	IX 26.344	282.5	-1.1	11.3	3.290	0.665	1.101	5.9	240.5	132.3	12.7	0.1349	[6]
2061 Anza	IX 29.581	269.1	-6.2	8.4	2.264	0.537	1.047	3.8	156.5	207.7	4.1	0.05196	[7]
2001 PE1	X 3.823	281.9	-9.1	10.0	2.763	0.600	1.105	3.5	190.7	183.2	13.9	0.1057	[7]
Южная (S) группа													
15P/Finlay	X 3.466	269.7	-37.8	10.2	3.573	0.711	1.034	3.7	323.6	42.0	5.6	0.04900	[6]
Murchison	1969 IX 28.456	268.4	-37	8.4	2.63	0.62	1.00	3.00	358.73	4.47	3.2	-	-
γ -Sgrds	IX 13	270	-31	(12.8)	2.008	0.452	1.003	1.0	8.0	350.1	358.1	-	№48[8]
4015 Wilson-Harrington	IX 5.636	283.4	-34.4	9.1	2.638	0.624	0.993	2.8	91.3	270.6	1.8	0.04716	[7]
2000 PF5	IX 4.125	259.4	-45.2	11.3	3.199	0.652	1.113	6.1	52.2	298.9	351.1	0.1343	[7]
1997 YM3	X 5.945	290.4	-37.4	10.6	3.263	0.668	1.084	3.9	75.5	302.0	17.5	0.1091	[7]

Примечание: Орбитальные элементы болидного роя γ -Sgrds даны в Эпохе 1950.0; для остальных объектов — в Эпохе 2000.0.

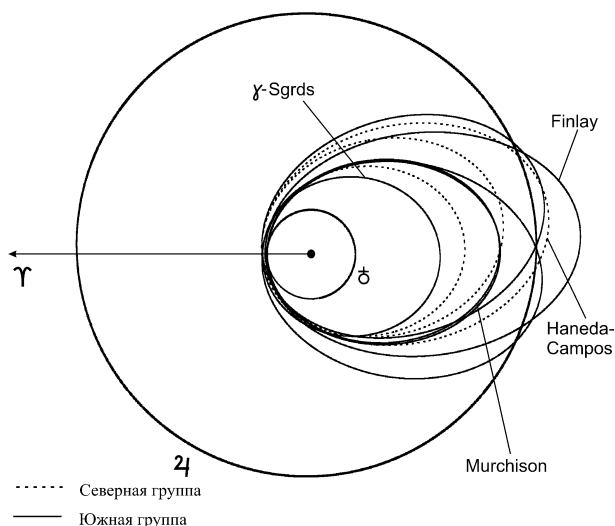


Рис. 1. Семейство малых тел периодической кометы Финлея (орбиты совмещены с плоскостью эклиптики)

знания в области генетических связей в системе малых тел остаются проблематичными. Космические эксперименты пока не пролили свет на внутреннюю структуру ядра кометы. В связи с этим вполне логичным является высказывание И.Л.Генкина [4] о том, что «нет никаких оснований считать разнообразие ядер меньшим, чем, скажем, разнообразие кометных хвостов. В этом смысле разные модели кометных ядер не обязательно являются взаимно исключающими друг друга». Целый ряд специфических трудностей, возникающих в решении проблемы взаимосвязи малых тел и сформулированных ещё в 1989 г. [3], справедливы до сих пор.

В данной работе мы приводим по результатам своих исследований новые примеры возможных связей в системе малых тел, т.е. некоторых семейств и, в более широком смысле, комплексов малых тел.

«Утром в воскресенье 28 сентября 1969 г. сверкающий дневной болид появился над северной Викторией Австралии, результатом чего было выпадение свыше сотни метеоритных фрагментов на площади 3.5×11.5 км вблизи небольшого сельского посёлка Мерчисон», — пишет Дэвид Сергент, описывая обстоятельства падения метеорита [5]. Метеорит идентифицирован как углистый хондрит типа 2 с необычайно большой массой. Вследствие дневного появления болида траектория его полета не была хорошо известна. Исследование опроса очевидцев, эллипса рассеяния, диаграмм падения позволили найти орбиту метеорита для четырёх возможных значений радианта. Геоцентрическая скорость по данным Холлидея и МакИнтоша была принята равной 8.4 км/с.

Дэвид Сергент [5] заподозрил связь метеорита Мерчисон с периодической кометой Финлея. Он отметил также, что в связи с этим заслуживают внимание два астероида: 1979 VA и 1960 UA. Рассуждая о кометной природе метеорита, Д.Сергент полагает, что метеорит Мерчисон является фрагментом кометы Финлея или все эти объекты могут быть остатками разрушения какой-то другой более крупной

Таблица 2. Возможное семейство малых метеорных роев, связанных с кометой Лекселя 1770 I (таблица приводится по работе [11]). Эпоха 1950.0

Комета и метеорные рои	a (а.е.)	π	P (годы)
	e	Ω	C
	q (а.е.)	i	N
Lexell (1770 I)	–	358.8°	5.60
	0.786	133.9	0.5020
	0.674	1.6	–
North Ophiuchids (94) 16 VI-3 VII	2.74	336.8	–
	0.712	89.9	0.57±0.05
	0.763	6.9	4
South Ophiuchids (94) 16 VI-3 VII	3.48	338.7	–
	0.770	278.0	0.49±0.04
	0.793	4.0	3
ξ -Serpentids (95) 22VI-6 VII	2.86	352.7	–
	0.758	95.2	0.54±0.04
	0.678	5.5	4
Scutids (96) 12-29 VI	3.24	10.0	–
	0.848	91.8	0.47±0.04
	0.482	9.2	4
γ -Scutids (114) 5-14 VIII	2.65	350.0	–
	0.645	133.0	0.59±0.03
	0.935	3.0	2
η -Aquilids (117) 1-16 VIII	3.04	15.0	–
	0.740	133.0	0.52±0.01
	0.785	13.5	2

Примечание: Элементы орбиты кометы приведены по каталогу Портера [12]; элементы орбит метеорных роев — по каталогу [9] (в скобках указан номер роя); P — период обращения кометы (роя) по орбите; C — константа Тиссерана (возмущающая планета — Юпитер). Для роев C взято как среднее из n значений (n — число индивидуальных орбит в рое) со средне-арифметическими отклонениями. Остальные обозначения общеизвестны.

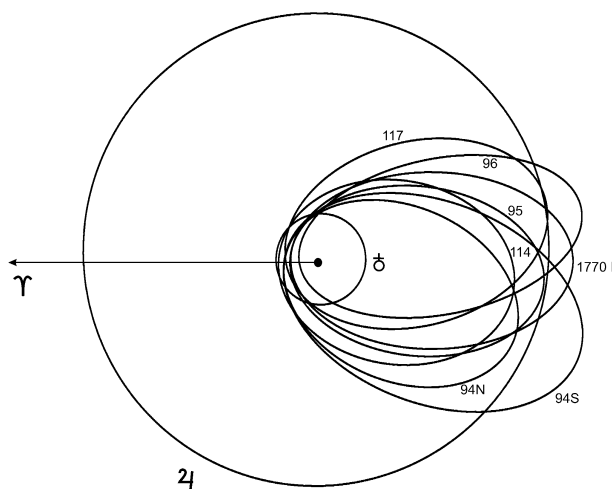


Рис. 2. Возможное семейство малых метеорных роев, связанных с кометой Лекселя 1770 I (орбиты совмещены с плоскостью эклиптики)

кометы. Интересно заметить, пишет он, что астероид 1979 VA — это один из немногих астероидов типа Аполлона, у которого выявлена углистая природа (фотоэлектрические наблюдения, 1979 г.), что «поддерживает кандидатуру этого объекта как потухшего кометного ядра».

Мы провели детальное исследование семейства малых тел кометы Финлея и пришли к следующим результатам. В состав этого большого семейства входят: две кометы, пять астероидов, метеорит и болидный рой (табл. 1, рис. 1). В этом семействе нами выделены две группы радиантов и соответствующих им орбит, являющиеся как бы аналогами N, S-ветвей в метеорных роях. Северная и южная группы радиантов, симметричных относительно эклиптики, действуют (в течение месяца) на площади $30^\circ \times 40^\circ$, имеющей форму эллипса, центр которого лежит на эклиптике, а большая полуось перпендикулярна к ней. Эта характерная особенность для эклиптикальных и близэклиптикальных роев с N, S-ветвями была обнаружена А.К.Терентьевой в 1966 г. [9]. Для метеорита Мерчисон в табл. 1 даны средние значения координат радианта и элементов орбиты (из четырёх возможных вариантов, приведённых в [5]).

Таблица 3. Семейство кометы C/SOHO (2002 V5)

Название объекта	Дата (UT)	Геоцентрический радиант		V_g , км/с	e	q , а.е.	i , °	ω , °	Ω , °	ρ , а.е.	C
		α , °	δ , °								
C/SOHO (2002 V5)	VI 10.732	50.4	21.7	46.8	1.0	0.0506	34.24	19.13	86.61	0.06666	0.0443
C/SOHO (1996 V2)	VI 7.398	48.2	17.5	46.7	1.0	0.0488	33.41	11.84	89.36	0.1307	0.0439
C/SOHO (1999 N5)	VI 13.697	53.1	25.2	46.5	1.0	0.0496	27.08	27.2	82.49	0.01362	0.0473
C/SOHO (2004 W10)	VI 12.215	51.6	24.0	46.5	1.0	0.0467	25.97	25.29	82.11	0.004439	0.0463
C/SOHO (1998 A2)	VI 13.326	51.6	25.1	46.9	1.0	0.041	27.93	26.31	80.78	0.02747	0.0426
C/SOHO (2000 C3)	VI 9.621	49.6	22.5	46.3	1.0	0.0487	24.97	23.47	81.85	0.01370	0.0477
C/SOHO (2000 C4)	VI 9.251	49.4	22.3	46.3	1.0	0.0487	24.97	23.05	81.95	0.01692	0.0477
C/SOHO (2004 V10)	VI 8.880	48.9	22.3	46.3	1.0	0.0488	26.4	22.79	81.86	0.02012	0.0472
C/SOHO (2005 G2)	VI 8.509	48.2	22.5	46.5	1.0	0.0492	26.84	23.53	80.69	0.01542	0.0472
C/SOHO (1999 J6)	VI 8.509	48.5	22.0	46.4	1.0	0.0492	26.53	22.47	81.69	0.02352	0.0473
C/SOHO (2004 V9)	VI 8.139	48.2	22.0	46.3	1.0	0.0492	26.52	22.51	81.51	0.02330	0.0473
C/SOHO (1999 U2)	VI 8.509	48.4	21.8	46.5	1.024	0.0490	26.76	21.89	82.08	0.02797	0.0471
C/SOHO (1998 A3)	VI 9.991	48.8	22.8	46.8	1.0	0.0419	27.35	22.97	80.73	0.006878	0.0433
C/SOHO (1999 P6)	VI 7.768	47.9	21.5	46.4	1.0	0.0494	26.57	21.49	82.01	0.03172	0.0474
C/SOHO (2000 C7)	VI 7.768	47.9	21.7	46.3	1.0	0.0481	24.89	22.34	81.06	0.02096	0.0474
C/SOHO (1999 P9)	VI 7.768	47.8	21.5	46.4	1.0	0.0493	26.55	21.51	81.74	0.03144	0.0473
C/SOHO (1999 P8)	VI 7.398	47.6	21.3	46.4	1.0	0.0494	26.56	21.28	81.85	0.03337	0.0474
C/SOHO (2005 E4)	VI 7.028	47.1	21.6	46.3	1.0	0.0487	26.43	22.24	80.6	0.02432	0.0471
C/SOHO (1998 A4)	VI 8.139	47.6	21.7	46.6	1.0	0.0431	26.87	21.35	81.03	0.01977	0.0441
C/SOHO (2002 R4)	VI 9.991	50.3	21.6	46.4	1.0	0.052	28.31	20.16	85.69	0.05080	0.0478

Примечание: Все угловые величины даны в Эпохе 2000.0; ρ — кратчайшее расстояние между кометной и земной орбитами в апульсе

Таблица 4. Метеорный рой Скорпионид, связанный с кометой C/SOHO (2001 D1)

Комета и метеорный рой	Дата	Исправленный геоцентр. радиант		$V_g(V_\infty)$, км/с	a , а.е.	e	q , а.е.	i , °	ω , °	Ω , °	π	Источник
		α , °	δ , °									
C/SOHO (2001 D1)	V 8.081	254.2	-25.0	47.5	-	1	0.0326	14.75	213.99	173.84	27.83	[6]
Scods (N)	V 1-19	249	-17	(38.4)	2.13	0.93	0.14	12	323	46	9	№71 [14,9]
Scods (S)		250	-28	(38.0)	1.64	0.93	0.12	16	146	225	12	

Примечание: Теоретический кометный радиант дан для сближения кометной орбиты с земной при $\rho=0.210$ а.е. Все угловые величины для кометы даны в Эпохе 2000.0, для метеорного роя — в Эпохе 1950.0.

Теоретический радиант кометы Финлея совпадает с точностью до 1° со средним радиантом метеорита Мерчисон.

Ещё К.Д.Покровский в 1901 г. в своей незаконченной монографии [10] отмечал вероятную связь кометы 1770 I Лекселя с периодической кометой Финлея. Константы Тиссерана (возмущающая планета

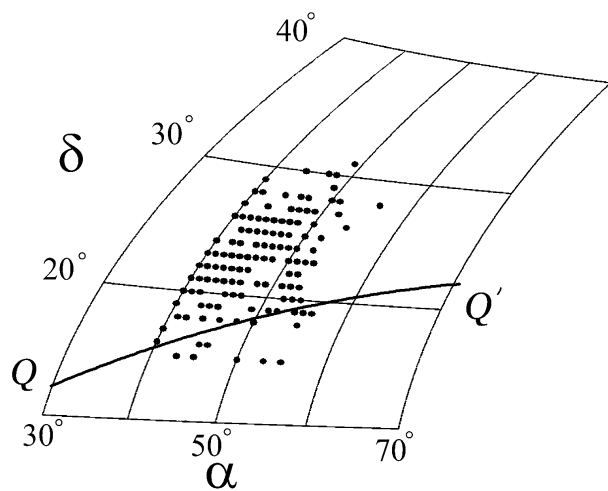


Рис. 3. Распределение радиантов радиометеоров, связанных с семейством кометы C/SOHO (2002 V5) (QQ' — эклиптика)

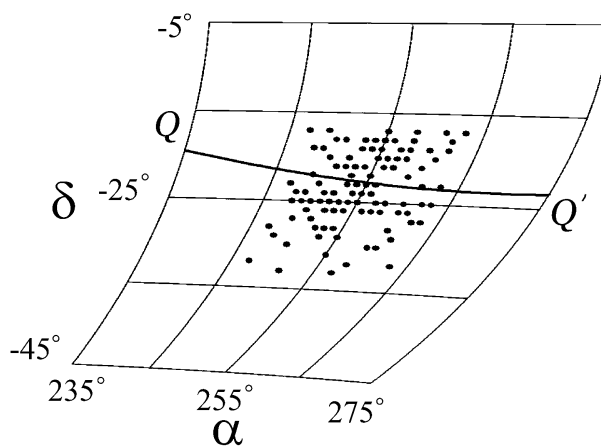


Рис. 4. Распределение радиантов майских радиометеоров, связанных с семейством кометы C/SOHO (2001 D1) (QQ' — эклиптика)

— Юпитер) для них соответственно равны $C = 0.5020$ и 0.5033 . Если это так, то имеет место большой обширный комплекс малых тел, так как по исследованиям А.К. Терентьевой существует семейство пяти малых метеорных роев, связанных с кометой Лекселя [11].

Известно, что комета Лекселя катастрофически изменяла свою орбиту под влиянием возмущений при тесных сближениях с Юпитером в 1767 и 1779 гг. Большие возмущения при тесном сближении с Юпитером в 1779 г. удалили кометную орбиту от земной и с тех пор комета не наблюдается. Метеорные рои (табл. 2, рис. 2) могли остаться как реликты этой кометы и соответствующие потоки продолжают наблюдаться, сильно различаясь вместе с тем, по дате активности (июнь–август) и положению радиантов (до 45°). Как отмечено в [11], «наблюдателей (В.Д.Деннинг, И.С.Астапович) всегда удивляло сходство физических свойств метеоров этих потоков».

Радянты рассматриваемого большого комплекса малых тел действуют на огромной эллипсоидальной площади размером $40^\circ \times 50^\circ$. Причем, теоретический радиант кометы Лекселя и прилегающие к нему радианты метеорных потоков Скутид и γ -Скутид из ее семейства (табл. 2) занимают промежуточное положение между радиантами северной и южной групп (табл. 1), составляя как бы эклиптикальную группу данного комплекса малых тел. Земля проходит через всю эту систему тел на протяжении почти четырех месяцев.

Нами обнаружены обширные рои метеорных тел, связанные с большими роями SOHO комет или с отдельными SOHO кометами. В результате исследования каталогов комет [6] было выявлено семейство комет C/SOHO (2002 V5), состоящее из 20 комет (табл. 3). Большое сходство значений C константы Тиссерана говорит о том, что эта компактная группа комет некогда могла составлять единое целое. Теоретические радианты этих комет расположены на небольшом угловом расстоянии от Солнца (до 30°), поэтому их метеоры недоступны оптическим наблюдениям. В то же время по радиолокационным наблюдениям (в Аделаиде, Гарварде и Обнинске [13]) нами найдена 191 орбита метеорных тел, связанных с этим SOHO кометным семейством. Рисунок 3 иллюстрирует распределение радиантов данных радиометеоров. Весь рой мелких метеорных тел, порождающий сумеречный поток метеоров, встречает Землю в течение 20 дней, с 2 по 22 июня.

С кометой C/SOHO (2001 D1) возможно связан замечательный поток Скорпионид ярких метеоров и болидов (№ 71 [14, 9]) с большой площадью радиации, с двумя N, S-ветвями и действующий с 1 по 19 мая (максимум активности 12 мая) (табл. 4). Как и для больших роев период обращения роя здесь также меньше периода обращения связанной с ним кометы. Комета имеет апульс с орбитой Земли 26 марта в районе восходящего узла орбиты при $\rho = 0.0577$ а.е., а при $\rho = 0.210$ а.е. 8 мая теоретический кометный радиант сходен с радиантом потока Скорпионид. Для обоих моментов сближения кометной орбиты с земной по радиолокационным наблюдениям в Магадише, Гарварде, Харькове, Обнинске и Аделаиде в общей сложности нами выявлено 155 орбит метеорных тел, связанных с кометой C/SOHO (2001 D1). Два больших роя метеорных тел встречают Землю с 21 по 29 марта и с 3 по 21 мая. На рис. 4 представлено распределение радиантов майских радиометеоров. Скорее всего, мы имеем дело с достаточно широким (более 0.2 а.е.) роем метеорных тел, действующим непрерывно в течение двух месяцев.

В работе [11] 40 лет назад отмечалось, что «параболические кометы (с периодом обращения в десятки тысячелетий) могут сопровождаться метеорными роями, достигающими значительной ширины... и при определенных обстоятельствах ширина роя может быть сравнима с расстоянием Земли от Солнца. А это значит, что при прохождении через перигелий такого роя земная орбита может целиком оказаться внутри него. Еще Скиапарелли рассчитал, что прохождение подобного роя во времени может занимать сотни лет... Следовательно, на протяжении года Земля может непрерывно встречать метеоры из этого роя; геоцентрический радиант его будет описывать по небу замкнутую кривую, а геоцентрическая скорость будет плавно изменяться... В разных частях роя плотность метеорных частиц может быть разной и местами достигать до нуля». Замечание это касалось обычных комет и с большим наклоном. Могут ли SOHO кометы породить нечто подобное — вопрос будущих исследований.

Таким образом, приведенные нами результаты по изучению SOHO кометно-метеорных комплексов подтверждают выдвинутую Ю.М.Горбаневым и Е.Ф.Князьковой [15] гипотезу об образовании метеорных роев вблизи Солнца короткоперигелийными кометами. SOHO кометы являются источником как мелких, так и крупных болидообразующих метеорных тел.

1. Астапович И.С. О результатах изучения орбит 66 метеоритов // Астрон. журнал. — 1939. — **16**. — Вып. 6. — С. 15–45.
2. Астапович И.С. Некоторые вопросы происхождения метеорной материи // Астрон. журнал. — 1941. — **18**, Вып. 1. — С. 58–72.

3. *Терентьева А.К.* Малые тела Солнечной системы: орбиты метеоритов, взаимосвязь, “зеркальная симметрия” в С-распределении // Письма в АЖ. — 1989. — **15**, №3. — С. 258–269.
4. *Генкин И.Л.* // Деп. В КазНИИНТИ 24.06.86. — № 1363–Ка.
5. *Seargent D.A.J.* Is the Murchison meteorite a fragment of periodic comet Finlay? // WGN (Journal of the IMO). — 1988. — **16-4**. — P. 111–117.
6. <http://ssd.jpl.nasa.gov/dat/ELEMENTS.COMET>.
7. http://neo.jpl.nasa.gov/cgi-bin/neo_elem.
8. *Terentjeva A.K.* Fireball streams // In “Asteroids, Comets, Meteors III” (Lagerkvist C.-I., Rickman H., Lindblad B.A., Lindgren M., editors). — Uppsala University, Sweden, 1990. — P. 579–584.
9. *Терентьева А.К.* Малые метеорные рои // Сб. Исследование метеоров. — № 1 (Серия “Результаты исследований по международным геофизическим проектам”). — М.: Наука, 1966. — С. 62–132.
10. *Покровский К.Д.* Происхождение периодических комет. Часть I. — Юрьев: 1901.
11. *Terenteva A.K.* Investigation of minor meteor streams // In Physics and dynamics of meteors (Kresák L. and Millman P.M., editors). — Dordrecht–Holland, 1968. — P. 408–427.
12. *Porter J.G.* Catalogue of cometary orbits, 1960 // Mem. BAA. — 1961. — **39**. — № 3.
13. The IAU meteor data center in Lund. — Sweden.
14. *Терентьева А.К.* Орбиты малых метеорных роёв (Дополнение) // Астрон. циркуляр АН СССР. — 1963. — № 264. — С. 1–8.
15. *Горбанёв Ю.М., Князькова Е.Ф.* Молодые метеорные рои вблизи Солнца. I. Статистическая связь метеоров с семействами короткопериодических комет // Астрон. вестник. — 2003. — **37**, № 6. — С. 555–568.

Поступила в редакцию 24.10.2011