

**СВОЙСТВА МОЩНЫХ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ КАТАЛОГА ХНУРЭ****Введение**

Наряду с астероидами и кометами метеороидные потоки составляют важную популяцию малых тел Солнечной системы. Метеороидный поток состоит из достаточно большого количества метеороидов, имеющих общее происхождение, т.е. отделившихся от одного и того же родительского тела – кометы или астероида. Скорости выброса метеороидов с поверхности родительских тел намного меньше, чем гелиоцентрическая скорость самого родительского тела, следовательно, средняя орбита метеороидного потока близка к гелиоцентрической орбите его родительского тела. Из отмеченного следует, что, во-первых, родительское тело потока несет информацию о средней орбите потока и, во-вторых, средняя орбита потока содержит информацию о его родительском теле, причем, и это важно, даже о том родительском теле, которое еще не обнаружено.

Настоящая работа посвящена выявлению областей пространства элементов орбит малых тел Солнечной системы, в которых концентрируется максимум метеорного вещества, пересекающего орбиту Земли. В качестве данных использовались выборки элементов орбит астероидов (NEA) и комет (NEC), орбиты которых сближаются с орбитой Земли [1]. На 09.04.2011 было известно таких 7884 астероидов и 156 комет. Также использовался каталог 5160 метеорных потоков, полученный в результате многолетних измерений орбит индивидуальных метеоров на радиолокационном комплексе МАРС ХНУРЭ.

**Методика отбора мощных метеороидных потоков из каталога ХНУРЭ**

Для выделения мощных потоков необходимо, во-первых, учесть условия пересечения средней орбиты потока с орбитой Земли; во-вторых, привести все потоки к одинаковым (стандартным) условиям для сравнения; в-третьих, учесть физический и геометрический факторы селективности радиолокационных наблюдений метеоров.

**1. Определение топоцентрической плотности метеорного потока.**

Чтобы привести метеорные потоки каталога ХНУРЭ к одинаковым условиям относительно их плотности, от числа зарегистрированных метеоров в каждом потоке необходимо перейти к среднечасовому количеству метеоров в каждом потоке. Расчет был проведен по следующей формуле:

$$Q = \frac{1}{n} \sum_i^n N_i / T_i, \quad (1)$$

где  $n$  – может принимать значения от 1 до 7 в зависимости от того, в течение скольких лет из семи (1972 – 1978 гг.) происходило накопление базы орбит индивидуальных метеоров в ХНУРЭ;  $N_i$  – количество метеоров потока, зарегистрированных в течение  $i$ -го года;  $T_i$  – количество часов, в течение которых наблюдался поток в  $i$ -м году.

**2. Переход от топоцентрической плотности метеорного потока к геоцентрической.**

Геоцентрическая плотность  $Q_g$  (плотность, которую имел бы поток до попадания в сферу притяжения движущейся Земли) рассчитывается по формуле [2]:

$$Q_g = Q \frac{4v_g^2 (v \cos(Z) + v_g) \cdot (v + v_g \cos(Z))}{(v^2 + 2vv_g \cos(Z) + v_g^2)^2} = Qk_g, \quad (2)$$

где  $Z$  – зенитное расстояние радианта средней орбиты потока,  $v_g$  и  $v$  – геоцентрическая и топоцентрическая скорости частиц метеорного потока соответственно.

В [3] показано, что для планет земной группы при переходе от топо- к геоцентрическим структурным характеристикам зависимостью от видимого зенитного расстояния радианта  $Z$  можно пренебречь. Поэтому вместо (2) можно использовать выражение

$$Q_g = Q \frac{v_g}{v}. \quad (3)$$

3. Переход от геоцентрической плотности метеорного потока к гелиоцентрической.

Исправленную за движение Земли плотность метеорного потока с учетом (3) можно считать по выражению [2]:

$$Q_h = Q_g \frac{v_h}{v_g} = Q \frac{v_h}{v} = Qk_h, \quad (4)$$

где  $v_h$  – гелиоцентрическая скорость частиц метеорного потока.

4. Учет условия пересечения средней орбиты метеорного потока с орбитой Земли.

Гелиоцентрические характеристики потока относятся к конкретной области орбиты – узлу – месту пересечения орбит Земли и метеорного потока. Очевидно, что положение узла относительно перигелия у разных потоков различно, так что узел находится в разных точках их орбит.

Обычно метеорный поток аппроксимируют эллиптическим тором с переменными по форме и размерам поперечными сечениями, что объясняется различным влиянием гравитационного поля Солнца на разные части потока и дисперсией элементов орбит метеорных тел. Плотность в перигелии должна быть выше, чем в афелии. Следует ожидать, что «наблюдаемая» в узле гелиоцентрическая плотность частиц у долгопериодических (большая полуось средней орбиты потока более 3 *a.e.*) метеорных роев должна быть близкой к максимально возможной, а у короткопериодических (большая полуось средней орбиты потока менее 1 *a.e.*) – существенно меньше максимальной. Следовательно, сравнение различных роев по «наблюдаемой» гелиоцентрической плотности потока в узле будет некорректным. Поэтому для сравнения структурных характеристик потоков нужно использовать методику, основанную на сравнении плотности потоков в определенной точке орбиты. В качестве такой точки удобнее всего взять перигелий средней орбиты.

Для получения формулы пересчета плотности падающего потока из одной точки орбиты потока в другую воспользуемся выражением из [2]:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left( \frac{1 + e \cos \psi_1}{1 + e \cos \psi_2} \right) \cdot \sqrt{\frac{1 + 2e \cos \psi_1 + e^2}{1 + 2e \cos \psi_2 + e^2}}, \quad (5)$$

где  $e$  – эксцентриситет средней орбиты потока,  $\psi$  – истинная аномалия заданной точки средней орбиты метеорного потока.

Из (5) следует, что отношение потока в перигелии  $\psi_q = 0$  к потоку в направлении с истинной аномалией  $\psi$ :

$$\frac{Q_q}{Q(\psi)} = \left( \frac{1 + e^2}{1 + e \cos \psi} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 2e \cos \psi + e^2}}. \quad (6)$$

В итоге получим выражение, связывающее топоцентрическую плотность и плотность метеорного потока в перигелии средней орбиты:

$$Q_q = Q \frac{v_h}{v} \frac{1}{\sqrt{1 + 2e \cos(\psi_\Omega) + e^2}} \left( \frac{1 + e^2}{1 + e \cos(\psi_\Omega)} \right) = Qk_q. \quad (7)$$

Угол истинной аномалии в момент наблюдения потока с Земли можно рассчитать по формуле [3]:

$$\cos(\psi_{\Omega}) = \frac{a(1-e^2) - r}{re}, \quad (8)$$

где  $a$  – большая полуось средней орбиты потока,  $r \approx 1 \text{ a. e.}$  – расстояние от Солнца до Земли в момент наблюдения потока.

Из анализа выражения (7) можно сделать следующий вывод:

1) угловое расстояние места орбитальной встречи от перигелия – один из самых существенных факторов астрономической селекции – чем ближе значение истинной аномалии  $\psi_{\Omega}$  к  $\pi$  (т.е. Земля встречает поток вблизи афелия его орбиты), тем больше по величине отношение  $Q_q / Q$ ;

2) для короткопериодических потоков условия орбитальной встречи с Землей является более сильным фактором селективности, чем притяжение и движение Земли, т. к. наблюдаемая гелиоцентрическая плотность потока у долгопериодических роев близка к максимально возможной (встреча потока с Землей происходит вблизи перигелия орбиты потока), а у короткопериодических существенно меньше в перигелии (встреча потока с Землей происходит вблизи афелия орбиты потока). Следовательно, значения плотности потока в перигелии средних орбит короткопериодических роев могут быть существенно выше, чем у долгопериодических.

Необходимо отметить, что функция  $k_q$  (для конкретного потока это коэффициент) в формуле (7) позволяет учесть влияние углового расстояния перигелия на структурные характеристики метеорных потоков – астрономического фактора для потоков. Однако использовать рассчитанные плотности потока в перигелии средней орбиты  $Q_q$  для сравнения метеорных потоков по интенсивности некорректно. Дело в том, что на структурные характеристики метеорных потоков также оказывает влияние гравитация Солнца, и чем меньше значение перигелийного расстояния  $q$  средней орбиты потока, тем сильнее сказывается на характеристиках потока фактор солнечной гравитации. Следовательно, для корректности сравнения потоков необходимо учесть различия в перигелийных расстояниях. Это можно сделать, если плотность  $Q_q$  пронормировать к стандартному гелиоцентрическому расстоянию  $q_{st} = 1 \text{ a. e.}$

Выражение пересчета  $Q_q$  в аналогичные значения  $Q_{qst}$  можно получить из условия равенства общего числа частиц в подобных эллиптических струях, имеющих один и тот же разброс больших полуосей  $a$ , но разные перигелийные расстояния  $q_1$  и  $q_2$ . Общее число частиц в струе, имеющей сечение  $s$  и период обращения  $T$ :

$$dN = QTds = Qa^{3/2}ds, \quad (9)$$

где  $ds$  – площадь элементарной, нормальной потоку в заданной точке его орбиты площадки.

Тогда для рассматриваемых струй справедливо отношение

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{ds_2}{ds_1} \cdot \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^{3/2} = \frac{ds_2}{ds_1} \cdot \left(\frac{q_2}{q_1}\right)^{3/2}. \quad (10)$$

Если в качестве  $ds$  взять кольцевой сектор и учесть, что при переходе от одной точки к другой в направлении перигелия форма и ориентация нормальных элементарных площадок не меняется, то получим

$$\frac{ds_2}{ds_1} = \frac{r_2 dr d\phi}{r_1 dr d\phi} = \frac{q_2}{q_1}. \quad (11)$$

В итоге получим выражение для пересчета плотности потока в перигелии его орбиты в плотность потока в приведенном перигелии:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{ds_2}{ds_1} \cdot \left(\frac{q_2}{q_1}\right)^{3/2} = \frac{q_2}{q_1} \cdot \left(\frac{q_2}{q_1}\right)^{3/2} = \left(\frac{q_2}{q_1}\right)^{5/2}. \quad (12)$$

В нашем случае имеем

$$Q_{qst} = Q_q (q / q_{st})^{5/2} = Q_q q^{5/2} = Qk_q q^{5/2} = Qk_{qst}. \quad (13)$$

Из анализа выражения (13) можно сделать следующие выводы:

1) большую плотность  $Q_{qst}$  будут иметь потоки, пересекающие орбиту Земли в области близкой к перигелию орбиты потока, т.к. в данном случае значение выражения  $q^{5/2}$  стремиться к единице и  $Q_{qst} \approx Q_q$ ;

2) топо- и гелиоцентрические структурные характеристики являются «истинными» в том смысле, что имеют место в соответствующих системах координат, а плотность  $Q_{qst}$  – их фиктивное (вычисленное) значение и необходима только для корректности сравнения потоков по интенсивности.

5. Учет физического и геометрического факторов замечаемости [4-5] для каждого метеорного потока проводится путем расчета весового коэффициента:

$$W_\Sigma = \sum_{i=1}^N (P_{\phi i} \cdot P_{z i})^{-1}, \quad (14)$$

где  $N$  – количество метеоров в данном потоке,  $P_{\phi i}$  и  $P_{z i}$  – физический и геометрический фактор замечаемости для  $i$ -го метеороида соответственно.

В итоге получим выражения для плотности  $Q_q^W$  метеорного потока в перигелии средней орбиты и плотности  $Q_{qst}^W$  в стандартном перигелии средней орбиты метеорного потока:

$$\begin{aligned} Q_q^W &= Qk_q W_\Sigma \\ Q_{qst}^W &= Qk_q W_\Sigma q^{5/2}. \end{aligned} \quad (15)$$

Согласно данной методике были отобраны 200 самых мощных потоков из каталога ХНУРЭ, параметры которых приведены в табл. 1. Здесь столбец I – номер метеорного потока в каталоге ХНУРЭ; столбец II – топоцентрическая плотность потока  $Q$ ; столбец III – ранг потока по плотности  $Q$ ; столбец IV – плотность потока в перигелии средней орбиты  $Q_q^W$ ; столбец V – ранг потока по плотности  $Q_q^W$ ; столбец VI – плотность потока в стандартном перигелии средней орбиты  $Q_{qst}^W$ ; столбец VII – ранг потока по плотности  $Q_{qst}^W$ ; столбец VIII – большая полуось средней орбиты потока в *a.e.*; столбец IX – эксцентриситет средней орбиты потока; столбец X – наклонение средней орбиты потока.

Стоит также отметить, что для 200 рассматриваемых потоков максимальное и минимальное значения плотности  $Q_{qst}^W$  равны 68.07 и 4.80 соответственно, среднее значение, нижняя и верхняя квартили составляют 10.22, 5.92 и 11.38 соответственно. Для всего каталога из 5160 потоков минимальное значение  $Q_{qst}^W = 0.002$ , среднее значение, нижняя и верхняя квартили составляют 1.04, 0.13 и 0.96 соответственно. Следовательно, можно утверждать, что в областях пространства элементов орбит рассматриваемых 200 метеорных потоков концентрируется максимум метеорного вещества, пересекающего орбиту Земли.

Таблица 1

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1297	0.07	32	316.09	26	68.07	1	0.779	0.305	132.566	2953	0.03	832	8.26	1322	7.78	101	1.568	0.377	46.211
2130	0.06	86	155.61	72	61.29	2	0.87	0.208	132.58	2422	0.09	8	10.75	1113	7.62	102	0.987	0.117	58.324
4756	0.23	1	3313.48	1	58.24	3	1.195	0.834	22.736	4813	0.04	622	27.8	518	7.55	103	1.778	0.666	4.974
134	0.06	59	198.59	55	34.63	4	1.818	0.726	7.234	1	0.09	11	10.57	1124	7.45	104	0.943	0.078	68.298
3114	0.05	213	117.18	109	28.14	5	0.798	0.291	140.666	2144	0.02	1848	12.06	1030	7.44	105	2.247	0.633	13.739
4071	0.03	1531	97.19	130	24.47	6	0.793	0.274	143.713	1103	0.04	382	132.71	94	7.4	106	1.446	0.782	4.937
2473	0.06	106	88.79	148	22.65	7	0.822	0.296	72.625	4021	0.03	1058	91.76	139	7.35	107	1.183	0.692	169.217
790	0.03	771	107.82	117	22.41	8	2.038	0.738	4.937	1216	0.04	399	70.47	199	7.32	108	1.961	0.794	7.082
4818	0.07	47	39.31	374	22.27	9	0.903	0.118	128.11	4759	0.08	14	17.13	803	7.29	109	0.868	0.182	59.968
672	0.12	3	26.92	538	22.01	10	0.983	0.062	56.816	667	0.08	27	12.08	1029	7.25	110	0.912	0.106	66.841
3319	0.06	72	259.45	39	21.98	11	1.398	0.734	7.884	3207	0.03	1495	7.35	1423	7.2	111	1.186	0.164	142.731
505	0.05	174	67.13	218	21.93	12	2.326	0.725	8.838	666	0.07	40	7.65	1393	7.17	112	1.381	0.294	51.98
3125	0.03	1664	34.27	423	21.59	13	0.979	0.151	150.117	1865	0.03	661	29.36	492	7.17	113	2.031	0.72	5.661
2511	0.04	390	89.62	145	20.83	14	2.219	0.749	7.641	3791	0.01	4718	8.48	1302	7.14	114	0.992	0.059	153.347
715	0.07	38	148.94	77	20.09	15	1.324	0.661	6.825	3306	0.03	1007	18.45	758	7.1	115	0.865	0.211	158.342
75	0.07	42	87.79	152	19.37	16	2.004	0.727	5.059	1220	0.08	22	9.91	1182	7.09	116	0.956	0.085	63.325
1529	0.04	471	84.26	159	18.68	17	1.561	0.649	10.389	2110	0.02	2732	6.97	1467	7.02	117	1.168	0.141	153.449
2698	0.06	113	158.82	71	18	18	1.335	0.686	9.157	835	0.03	1263	165.25	67	6.98	118	1.645	0.829	3.978
4829	0.07	44	96.1	134	17.21	19	1.869	0.731	10.648	1128	0.04	367	145.69	79	6.93	119	1.261	0.765	3.99
4897	0.04	259	42.94	334	17.01	20	2.08	0.668	4.852	176	0.08	15	17.35	796	6.89	120	0.848	0.185	68.143
3103	0.06	95	171.63	65	16.6	21	1.536	0.744	8.108	789	0.03	1078	17.83	777	6.87	121	1.117	0.389	126.661
22	0.09	6	15.49	869	16.43	22	2.686	0.619	71.806	2069	0.05	163	41.7	345	6.86	122	2.026	0.76	4.716
2052	0.03	1099	62.56	232	16.39	23	1.543	0.621	7.564	2556	0.06	69	117.16	110	6.75	123	1.395	0.771	6.664
2730	0.02	2585	14.19	927	14.96	24	1.417	0.279	147.216	4834	0.04	537	6.22	1571	6.75	124	3.153	0.672	39.483
234	0.07	48	130.9	97	14.84	25	1.275	0.672	9.793	2852	0.02	2346	13.06	979	6.72	125	1.923	0.601	12.581
3006	0.04	458	57.08	261	14.67	26	1.854	0.687	6.8	1650	0.03	1529	21.17	670	6.71	126	0.924	0.317	142.077
4577	0.01	4054	17.51	790	14.66	27	1.078	0.136	162.046	4718	0.06	105	8.82	1269	6.7	127	0.985	0.09	45.966
78	0.08	25	22.56	633	14.52	28	0.943	0.111	52.382	4018	0.01	4035	9.62	1210	6.64	128	1.232	0.301	176.326
2350	0.08	12	37.9	388	14.44	29	0.857	0.207	70.387	1364	0.08	16	7.67	1390	6.57	129	1.014	0.073	73.846
2952	0.02	2189	15.25	875	14.31	30	1.175	0.17	153.541	4361	0.03	714	7.34	1424	6.5	130	1.107	0.14	132.583
3038	0.02	2329	21.33	665	14.03	31	1.441	0.413	131.409	611	0.06	88	332.07	24	6.42	131	1.4	0.853	6.236
622	0.07	50	13.13	975	13.97	32	2.711	0.622	44.022	1888	0.05	140	14.84	894	6.41	132	0.874	0.182	63.869
788	0.02	2484	59.66	250	13.94	33	1.561	0.642	144.115	4469	0.04	359	29.67	485	6.39	133	1.82	0.703	7.138
518	0.07	39	15.36	873	13.85	34	2.002	0.521	45.715	2207	0.06	109	17.26	798	6.39	134	0.863	0.221	48.239
106	0.06	108	12.85	986	13.67	35	2.799	0.634	43.403	3687	0.06	104	13.3	967	6.39	135	0.886	0.158	145.036
5084	0.08	21	267.92	38	13.58	36	1.405	0.784	4.509	2381	0.09	10	9.09	1243	6.32	136	0.959	0.099	73.716
541	0.11	4	289.42	29	13.45	37	1.617	0.819	14.928	1797	0.06	74	17.38	795	6.3	137	0.846	0.213	128.052
982	0.13	2	15.59	863	13.02	38	0.994	0.064	63.106	2139	0.05	183	6.16	1579	6.28	138	1.232	0.182	45.474
148	0.04	418	39.96	365	12.8	39	2.091	0.697	23.257	2866	0.02	3634	18.36	762	6.23	139	1.475	0.56	166.215
4824	0.08	26	12.47	1010	12.53	40	1.902	0.473	51.314	1016	0.03	1241	16.77	813	6.23	140	2.122	0.683	7.309
169	0.03	1259	27.22	532	12.34	41	2.818	0.741	7.011	2020	0.03	1543	41.69	346	6.22	141	1.952	0.761	1.908
620	0.06	70	227.08	48	12.31	42	1.609	0.806	13.571	974	0.02	3361	22.92	623	6.2	142	0.808	0.267	152.037
4898	0.03	645	36.64	399	12.2	43	1.899	0.661	2.81	4910	0.04	437	7.68	1388	6.14	143	1.083	0.155	142.807
3016	0.05	196	31.23	465	12.17	44	0.864	0.206	146.687	4760	0.05	143	6.91	1476	6.14	144	1.358	0.298	49.07
4823	0.07	37	12.84	987	11.84	45	1.079	0.103	55.28	4755	0.09	9	627.65	7	6.13	145	1.268	0.876	29.426
3933	0.05	190	102.15	122	11.81	46	1.711	0.753	5.274	4312	0.07	36	7.87	1367	6.08	146	0.982	0.082	59.705

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
934	0.02	2158	29.65	486	11.76	47	1.29	0.465	134.505	1965	0.05	155	16.63	818	6	147	0.861	0.227	113.278
1430	0.07	45	28.86	499	11.48	48	0.86	0.196	124.733	4160	0.02	2370	36.4	401	5.99	148	2.324	0.791	158.249
39	0.06	75	10.62	1122	11.41	49	2.884	0.643	65.398	2486	0.03	854	32.53	443	5.98	149	0.771	0.341	112.122
4110	0.02	3540	60.27	246	11.39	50	1.678	0.694	170.655	3124	0.04	435	5.42	1694	5.92	150	2.388	0.566	34.98
4477	0.02	3613	13.34	965	11.38	51	1.743	0.462	145.721	750	0.05	195	513.8	13	5.92	151	1.209	0.861	8.493
1725	0.02	3137	16.07	842	11.15	52	1.06	0.185	165.108	3480	0.06	65	7.27	1430	5.9	152	3.87	0.762	44.834
2559	0.03	721	21.43	662	11.09	53	2.481	0.69	8.753	15	0.04	250	43.88	330	5.89	153	2.254	0.801	18.889
3297	0.02	3608	15.92	850	11.06	54	2.234	0.613	157.756	5058	0.04	518	28.84	500	5.88	154	2.088	0.747	9.254
4587	0.01	4279	12.01	1032	10.9	55	1.132	0.15	171.241	543	0.04	253	305.81	28	5.87	155	1.35	0.848	18.86
3604	0.02	2714	14.01	933	10.83	56	1.3	0.306	150.071	4726	0.02	3120	35.95	405	5.85	156	1.345	0.64	146.06
4962	0.08	13	14.23	923	10.82	57	0.97	0.076	61.236	4918	0.03	763	79.13	178	5.8	157	0.847	0.585	131.481
3313	0.01	4584	11.2	1076	10.75	58	1.134	0.133	170.517	101	0.02	2940	21	678	5.76	158	1.284	0.536	136.967
3763	0.01	3954	11.08	1090	10.72	59	1.272	0.224	152.014	3464	0.03	1023	11.65	1050	5.74	159	1.628	0.537	150.21
2034	0.04	614	25.6	562	10.62	60	0.874	0.195	144.346	2520	0.04	295	8.75	1275	5.72	160	0.952	0.114	53.936
2471	0.05	182	24.02	606	10.61	61	0.879	0.18	125.616	3071	0.02	1917	5	1775	5.63	161	2.3	0.544	62.839
591	0.02	2445	25.29	575	10.43	62	1.096	0.36	143.291	587	0.05	124	32.91	437	5.63	162	2.014	0.755	18.105
231	0.08	19	13.82	946	10.39	63	1.062	0.16	73.977	704	0.04	362	9.4	1221	5.59	163	0.917	0.114	130.548
1330	0.03	1575	25.37	568	10.3	64	1.555	0.552	8.913	4961	0.06	80	15.08	884	5.56	164	0.842	0.203	134.843
3029	0.04	251	15.03	886	10.08	65	1.179	0.277	64.95	3330	0.03	1500	11.91	1038	5.55	165	1.383	0.467	130.72
5034	0.05	173	82.18	162	10.07	66	1.249	0.654	4.967	3690	0.04	290	24.72	584	5.51	166	0.792	0.307	144.914
4077	0.02	1807	11.07	1091	10.07	67	1.102	0.126	145.27	5035	0.03	1363	40.39	361	5.46	167	1.759	0.745	6.273
3978	0.03	1218	45.19	318	10.06	68	0.995	0.449	138.589	4360	0.03	842	5.11	1752	5.44	168	2.884	0.644	33.787
5039	0.06	63	32.6	441	10.02	69	0.821	0.24	146.039	5140	0.01	4235	6.48	1536	5.36	169	1.034	0.104	159.017
4082	0.02	3271	15.66	860	9.98	70	1.146	0.271	144.44	613	0.03	1205	10.45	1131	5.35	170	2.231	0.657	5.665
3966	0.02	1794	10.9	1105	9.76	71	2.531	0.622	32.349	5066	0.05	179	5.25	1720	5.31	171	3.059	0.672	59.651
3051	0.07	51	35.54	409	9.75	72	0.811	0.265	140.049	3692	0.07	31	33.3	432	5.29	172	0.748	0.36	140.599
202	0.05	199	10.27	1146	9.75	73	1.347	0.273	45.025	4565	0.02	2268	31.63	457	5.28	173	0.948	0.485	157.395
2261	0.05	138	13.31	966	9.68	74	0.961	0.084	74.94	4672	0.02	3303	9.92	1180	5.26	174	1.239	0.374	156.139
4207	0.02	2142	38.36	383	9.6	75	1.369	0.58	153.596	665	0.05	194	20.77	688	5.25	175	1.813	0.682	42.214
5006	0.03	952	20.88	682	9.59	76	2.536	0.711	5.378	990	0.03	984	8.82	1267	5.25	176	0.913	0.11	127.833
3801	0.02	3469	14.8	896	9.52	77	0.944	0.112	168.051	469	0.02	2227	39.56	370	5.25	177	1.028	0.566	142.845
1335	0.02	2252	27.29	531	9.52	78	0.843	0.221	146.378	1583	0.01	4146	9.86	1189	5.18	178	0.905	0.145	157.892
4043	0.05	160	71.76	193	9.49	79	1.305	0.659	7.688	4353	0.05	136	5.25	1721	5.18	179	1.661	0.401	46.996
4468	0.06	60	79.83	174	9.44	80	2.068	0.794	4.68	4627	0.06	102	9.15	1239	5.13	180	0.898	0.117	59.959
2039	0.02	2384	40.86	356	9.3	81	1.257	0.56	144.74	2166	0.07	33	8.07	1345	5.11	181	0.955	0.128	63.6
2677	0.02	3095	33.17	434	9.16	82	0.816	0.267	149.678	3072	0.03	1074	9.98	1170	5.09	182	0.96	0.204	136.526
3795	0.04	488	177.71	63	8.93	83	1.89	0.84	6.304	1918	0.02	2558	96.14	133	5.06	183	1.411	0.782	9.532
2319	0.03	632	187.48	59	8.89	84	1.023	0.711	13.024	2238	0.03	748	16.62	819	5.06	184	0.833	0.254	135.5
1417	0.06	57	143.61	82	8.87	85	1.702	0.807	7.818	751	0.05	204	5.49	1679	5.05	185	3.493	0.723	62.935
2875	0.03	1566	59.05	252	8.84	86	2.198	0.787	7.233	1600	0.03	1646	5.9	1613	5.04	186	1.361	0.31	140.198
255	0.02	2731	18.96	742	8.83	87	1.021	0.278	144.334	1015	0.04	397	128.87	101	5.03	187	0.915	0.701	10.773
5133	0.06	90	113.14	112	8.64	88	1.36	0.737	4.465	1190	0.03	670	21.43	663	5.01	188	1.947	0.713	13.878
4508	0.04	392	27.65	525	8.62	89	2.481	0.747	5.815	36	0.05	249	36.02	404	5	189	1.664	0.727	1.436
1834	0.03	837	33.53	429	8.52	90	1.845	0.687	10.158	1360	0.08	29	5.21	1728	4.99	190	1.18	0.167	52.477
4004	0.07	52	227.87	47	8.46	91	1.515	0.823	6.868	40	0.03	787	5.3	1715	4.97	191	2.52	0.613	34.107
4471	0.04	405	19.09	738	8.34	92	2.426	0.704	5.656	2808	0.02	2933	11.97	1034	4.97	192	2.922	0.759	4.353
582	0.03	796	14.64	904	8.32	93	0.945	0.156	145.228	4473	0.08	20	476.76	15	4.96	193	1.654	0.903	15.477
2264	0.06	78	9.8	1192	8.26	94	1.06	0.119	64.201	928	0.05	210	4.91	1792	4.95	194	1.895	0.471	46.771
4820	0.06	82	8.44	1307	8.09	95	1.776	0.446	64.12	4851	0.01	4576	15.25	876	4.93	195	0.985	0.354	165.676
2724	0.01	4764	8.73	1279	8.08	96	1.07	0.094	152.064	4510	0.04	391	11.06	1092	4.87	196	2.264	0.682	6.434
983	0.08	24	12.55	1005	8.02	97	0.939	0.11	52.812	3971	0.02	2394	8.33	1315	4.83	197	3.215	0.75	6.618
4545	0.04	504	35.89	406	7.93	98	1.597	0.658	7.503	324	0.03	1149	35.14	413	4.82	198	1.913	0.764	3.441
626	0.06	62	27.52	528	7.92	99	0.805	0.245	127.151	282	0.06	66	97.39	129	4.81	199	1.084	0.723	6.788
2429	0.02	2587	52.47	281	7.87	100	0.839	0.442	142.613	2046	0.04	255	348.67	20	4.8	200	1.089	0.835	5.088

## Орбиты метеорных потоков

Среди отобранных потоков при помощи  $D$ -критерия Саутворта – Хокинса [6] был проведен поиск потенциальных родительских тел, где в качестве обучающего каталога выступили выборки элементов орбит астероидов и комет, орбиты которых сближаются с орбитой Земли. При расчетах было принято, что поток можно связать с потенциальным родительским телом, если значение  $D$ -критерия менее 0.2. В результате расчетов было получено, что из 200 потоков 76 можно связать с объектами NEA и NEC. При этом 3 потока связаны с астероидами группы Amors, 4 потока связаны с астероидами группы Atens; 69 потоков связаны с астероидами группы Apollos; 5 потоков связаны одновременно с кометами NEC и с астероидами группы Apollos; только с кометой не связан ни один поток.

На рис. 1 приведена диаграмма наклонение – эксцентриситет ( $i, e$ ) орбит исследуемых метеорных потоков. Здесь символами «○» и «△» обозначены метеорные потоки, для которых были выявлены и не были выявлены потенциальные родительские тела соответственно.

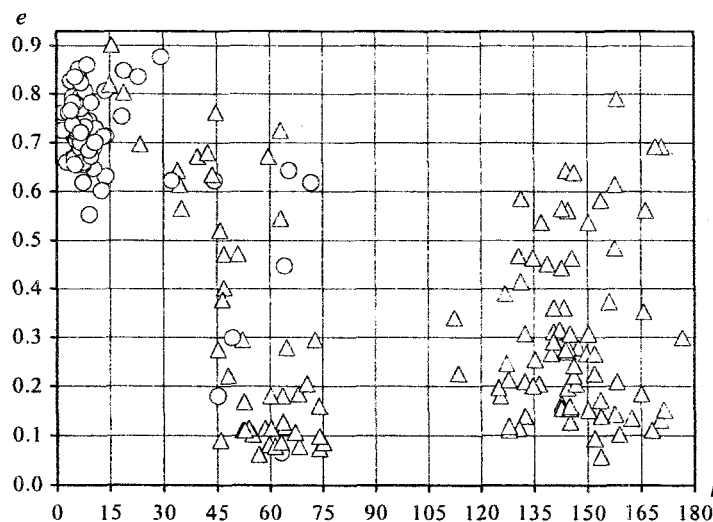


Рис. 1

Из анализа табл. 1 и диаграммы на рис. 1 можно сделать два важных вывода. Во-первых, орбиты потоков сгруппированы в три кластера: 1 кластер – орбиты с прямым движением, наклонением  $i < 30^\circ$  и эксцентриситетом  $e > 0.55$ ; 2 кластер – орбиты с прямым движением и наклонением  $30^\circ < i < 90^\circ$ ; 3 кластер – орбиты с обратным движением  $i > 90^\circ$  и эксцентриситетом  $e < 0.7$ . Во-вторых, в первом кластере находятся 72 потока, 59 из которых связаны с астероидами группы Apollos, 5 потоков одновременно связаны с кометами NEC и с астероидами группы Apollos, и 4 потока связаны с астероидами группы Atens; во втором кластере находятся 52 потока, 5 из которых связаны с астероидами группы Apollos и 3 связаны с астероидами группы Amors; в третьем кластере находятся 76 потоков и ни один не связан с объектами NEA и NEC.

Для 71 орбиты потоков первого кластера выполняются условия: перигелийное расстояние  $q < 1$  а.е. и большая полуось  $a > 1$  а.е., следовательно, данные орбиты можно отнести к пространству орбит астероидов группы Apollos. Отметим также, что 10 орбит потоков имеют кометоподобные орбиты: афелийное расстояние  $Q > 4$  а.е. и эксцентриситет  $e > 0.6$ .

Построим (см. рис. 2) диаграмму перигелийное расстояние – афелийное расстояние ( $q, Q$ ) орбит метеорных потоков второго кластера. Здесь символом «○» обозначены метеорные потоки, которые связаны с астероидами, символами «△» и «▲» обозначены метеорные потоки, не связанные с потенциальными родительскими телами, средние орбиты которых имеют большую полуось  $a \leq 1$  а.е. и  $a > 1$  а.е. соответственно.

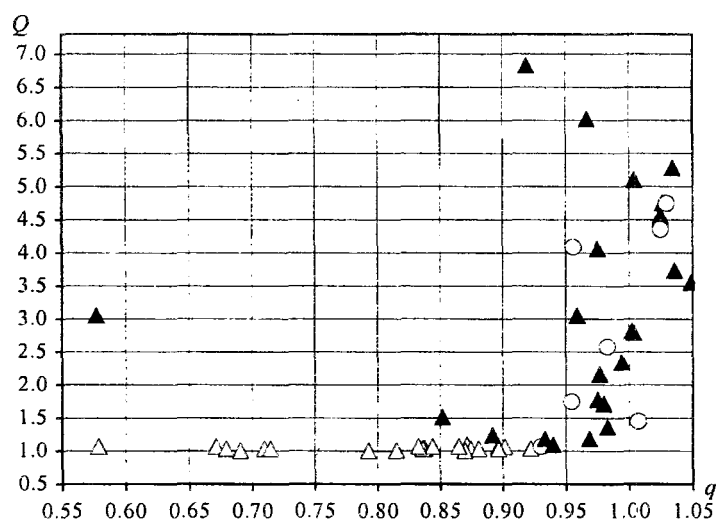


Рис. 2

Как видно из данного рисунка, подавляющее большинство метеорных потоков второго кластера пересекают орбиту Земли либо в перигелии (кластер 2.1), либо в афелии средней орбиты (кластер 2.2).

Для всех орбит потоков кластера 2.1 выполняются условия: большая полуось  $a > 1$  а.е. и афелийное расстояние  $Q > 1$  а.е., следовательно, данные орбиты можно отнести к пространству орбит астероидов групп Apollos, Amors и комет NEC. Для 10 орбит кластера 2.1 выполняются условия: афелийное расстояние  $Q > 4$  а.е. и эксцентриситет  $e > 0.6$ , что говорит в пользу их кометного происхождения. Для остальных потоков с большей степенью вероятности родительскими телами можно считать астероиды. В пользу данного вывода свидетельствует следующее: на настоящий момент известны 773 астероида групп Apollos, Amors и 23 кометы NEC с наклоном  $i > 30^\circ$ . При этом 344 астероида и только 5 комет из них были обнаружены за последние 5 лет.

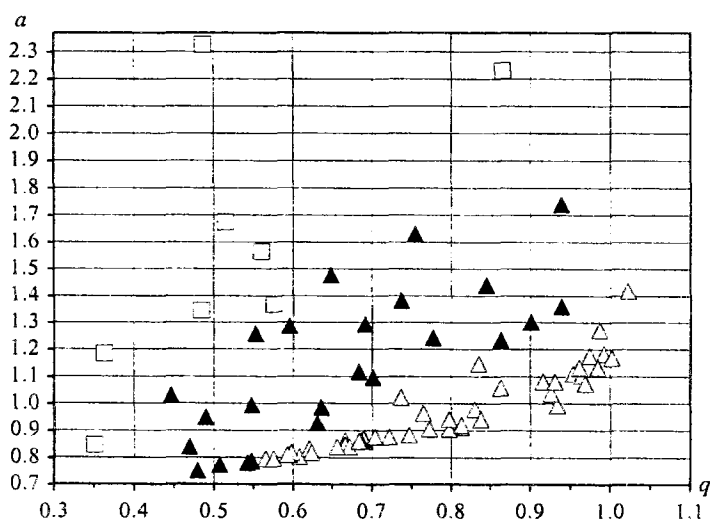


Рис. 3

Для всех орбит потоков кластера 2.2 выполняются условия: афелийное расстояние  $Q > 1$  а.е. и эксцентриситет  $e < 0.3$ , следовательно, данные орбиты можно отнести к пространству орбит астероидов группы Atens, и с высокой степенью вероятности родительскими телами данных потоков можно считать астероиды данной группы. В пользу данного вывода свидетельствует следующее: орбиты всех известных на настоящий момент комет NEC имеют эксцентриситет  $e \geq 0.58$ , в то время как из 651 астероидов группы Atens орбиты 601 астерои-

да имеют эксцентриситет  $e \leq 0.58$ , а орбиты 276 астероидов имеют эксцентриситет  $e < 0.3$ . Также отметим, что, как и в случае астероидов групп Apollos и Amors, за последние 5 лет значительно возросло (с 34 до 57) количество астероидов группы Atens, орбиты которых имеют наклонение  $i > 30^\circ$ .

Построим (см. рис. 3) диаграмму перигелийное расстояние – большая полуось ( $q, a$ ) орбит метеорных потоков третьего кластера. Здесь символами « $\Delta$ », « $\blacktriangle$ » и « $\square$ » обозначены метеорные потоки, эксцентриситеты средних орбит которых удовлетворяют условиям  $e \leq 0.3$ ,  $0.3 < e \leq 0.58$  и  $e > 0.58$  соответственно.

Для всех 76 орбит потоков третьего кластера выполняется условие афелийное расстояние  $Q > 1 \text{ a.e.}$ ; 38 орбит имеют большую полуось  $a \leq 1 \text{ a.e.}$ , что позволяет их отнести к пространству орбит астероидов группы Atens; 37 орбит имеют большую полуось  $a > 1 \text{ a.e.}$ , перигелийное расстояние  $q < 1.017 \text{ a.e.}$ , что позволяет их отнести к пространству орбит астероидов группы Apollos; 1 поток имеет орбиту с большой полуось  $a > 1 \text{ a.e.}$  и перигелийным расстоянием  $q = 1.02 \text{ a.e.}$ , что позволяет данную орбиту отнести к пространству орбит астероидов группы Amors. Отметим также, что 45 орбит потоков имеют эксцентриситет  $e \leq 0.3$  и 68 орбит имеют эксцентриситет  $e < 0.58$ , следовательно, для большинства потоков третьего кластера родительскими телами можно считать астероиды.

В настоящий момент известно всего 2 астероида и 7 комет, имеющих орбиты с обратным движением, причем у всех афелийное расстояние  $Q > 4 \text{ a.e.}$  Среди рассматриваемых в данной статье 76 потоков с ретроградными орбитами есть только один с афелийным расстоянием  $Q > 4 \text{ a.e.}$  Одним из вероятных объяснений данного факта можно считать следующее. В соответствии с теорией извержения для образования комет с обратным движением минимальная скорость продуктов извержения должна быть больше или равна скорости планеты на орбите, т.е. в 2-3 раза превышать минимальную скорость, необходимую для образования гелиоцентрических комет с прямым движением. Поскольку при прочих равных условиях скорость продуктов извержения тем больше, чем меньше их масса, то в среднем ядра комет с обратным движением должны иметь меньшую, чем кометы с прямым движением, массу и, следовательно, меньшую вероятность обнаружения. Впоследствии орбиты ядер потухших комет за счет влияния гравитационных сил могут эволюционировать в астероидоподобные орбиты.

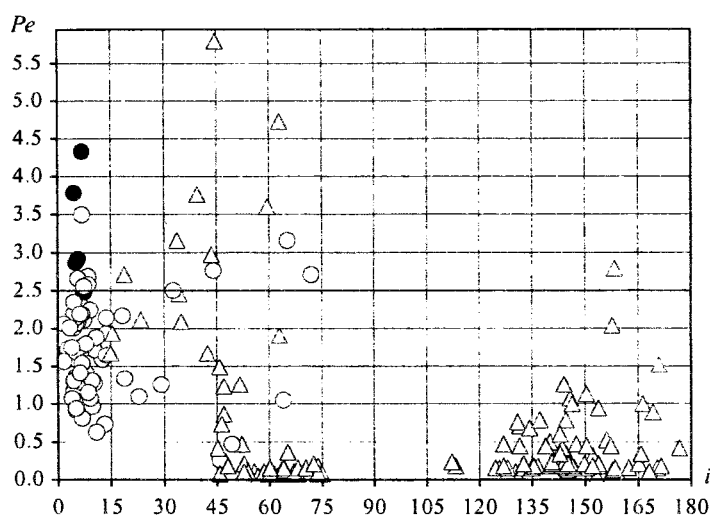


Рис. 4

Подводя итог проведенному анализу двухсот самых мощных потоков из каталога ХНУРЭ, можно сделать вывод, что для большинства потоков родительскими телами можно считать астероиды. Для потоков первого кластера – астероиды группы Apollos, для потоков

второго кластера – астероиды групп Apollos, Amors и Atens, для потоков третьего кластера – астероиды групп Apollos и Atens. Для подтверждения сделанных выводов воспользуемся формальным критерием  $Pe$  [7] разделения орбит на кометные и астероидные:

$$Pe = a^{1.5} e = \begin{cases} > 2.5 & \text{для орбит кометного типа} \\ < 2.5 & \text{для орбит астероидного типа} \end{cases} \quad (16)$$

Построим диаграмму наклонение – критерий  $Pe$  орбит метеорных потоков (см. рис. 4). Здесь символами «○» и «●» обозначены метеорные потоки, для которых были выявлены потенциальные родительские тела – астероиды и кометы соответственно; символом «△» обозначены метеорные потоки, для которых не было выявлено потенциальных родительских тел.

Таким образом, проведен анализ структурных особенностей пространства элементов орбит 200 самых мощных метеорных потоков каталога ХНУРЭ. Показано, что для большинства потоков родительскими телами можно считать астероиды групп Apollos, Amors и Atens.

**Список литературы:** 1. <http://neo.jpl.nasa.gov>. 2. *Андреев Г.В., Бабаджанов П.Б.* Влияние гравитационного поля Земли на структурные характеристики метеорных потоков // Докл. АН ТаджССР. – 1981. – 24, №9. – С. 189-193. 3. *Левин Б.Ю.* Физическая теория метеоров и метеорное вещество в Солнечной системе. – М.: Наука, 1956. – 293 с. 4. *Горелов Д.Ю., Волощук Ю.И.* Уточнение методики учета физического фактора замечаемости при построении истинных распределений параметров радиометеоров // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 149. – С. 62–68. 5. *Горелов Д.Ю., Волощук Ю.И.* Оценка геометрического фактора замечаемости в задаче определения истинных распределений параметров орбит радиометеоров // Прикладная радиоэлектроника : Научн.-техн. журнал. – 2006. – Т. 5. – №4. – С. 519-527. 6. *Southworth R.D., Hawkins G.S.* Statistics of Neteor Streams // Smithson. Contribs. Astrophys. 1963. №7. P.261-285. 7. *Kresak L.* Discrimination between cometary and asteroidal meteors. I. The orbital criteria // Bull. Astron. Inst. Czechosl. 1969. Vol. 20, № 4. P. 177–188.

*Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники*

*Поступила в редколлегию 11.03.2011*