

УДК 523.68

МЕТЕОРНЫЙ КОМПЛЕКС ВБЛИЗИ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ: СПОРАДИЧЕСКИЙ ФОН, ПОТОКИ, АССОЦИАЦИИ.

2. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКОВЫХ И СПОРАДИЧЕСКИХ МЕТЕОРНЫХ ТЕЛ

© 1996 г. Ю. И. Волощук, Б. Л. Кащеев

Харьковский государственный технический университет радиоэлектроники, Украина

Поступила в редакцию 20.10.95 г.

После исправления 01.04.96 г.

В предыдущей работе настоящего цикла (Волощук и др. 1995) описана методика выделения потоков метеороидов из выборок большого объема. Из выборки, насчитывающей 119, 236 орбит радио-метеоров, выделены 4 156 кластеров с заполнением $N > 6$, из них 3 118 с $N > 10$. К классу метеоров, орбиты которых с высокой вероятностью группируются в пространстве элементов орбит, отнесено 52 932 метеора, к спорадическим – 36 979 метеоров. В настоящей работе анализируются распределения характеристик общих типов, исправленные за геометрический, аппаратный, физический и астрономический факторы замечаемости, т.е. распределения метеороидов с массами больше 10^{-5} г, пересекающих сферу радиусом 1 а. е. вокруг Солнца. Показано, что распределения радиантов, одномерные, двумерные и трехмерные распределения элементов орбит потоковых и спорадических метеороидов резко отличаются друг от друга, что связано в первую очередь с их происхождением. Приведены оценки соотношения устойчивых и неустойчивых орбит, плоской и сферической составляющих комплекса мелких метеороидов Солнечной системы.

ВВЕДЕНИЕ

В период с января 1974 г. по декабрь 1978 г. в Харькове с помощью метеорной автоматической радиолокационной системы (МАРС), описание и технические характеристики которой приведены в работах Волощука и др. (1989) и Кащеева и др. (1976), было получено было 150 000 орбит индивидуальных метеоров. В работе Волощука и др. (1995) описана многошаговая процедура выделения потоков из выборки большого объема, приведены результаты кластер-анализа и распределения скоростей, элементов орбит и координат радиантов всех метеоров выборки (119 236 метеоров), потоковых (52 932 метеора) и спорадических метеоров (36 979).

Известно, что эти выборки искажены селективностью самого радиолокационного метода и аппаратуры, а также астрономической избирательностью. В настоящей работе анализируются распределения радиантов и элементов орбит потоковых и спорадических метеороидов, исправленные за геометрический, аппаратный, физический и астрономический факторы замечаемости, т.е. распределения метеороидов с массами больше 10^{-5} г, пересекающих сферу радиусом 1 а. е. вокруг Солнца.

Факторы замечаемости и их учет при переходе от “видимых” к “истинным” распределениям па-

раметров метеороидов. Учет факторов замечаемости проводят обычно весовым методом, суть которого сводится к приписыванию каждому зарегистрированному метеору веса, обратно пропорционального вероятности его наблюдения. Волощук и др. (1989) рассмотрели недостатки весового метода и предложили метод нелинейного преобразования, позволяющий избавиться от основного из них – невозможности в рамках весового метода исправить распределения в тех диапазонах значений параметров, в которых отсутствуют регистрации (это обычно “хвосты” распределений при малых объемах выборок). Метод нелинейного преобразования эффективен при исправлении одномерных распределений, но сталкивается со значительными трудностями, когда размерность распределения больше единицы. В то же время надежная астрономическая интерпретация невозможна, если использовать только одномерные распределения. По этой причине, а также учитывая большой объем анализируемых выборок, для перехода к исправленным распределениям в настоящей работе использован весовой метод.

Замечаемость радиометеоров можно представить в виде произведения геометрического фактора $1/P_1$, характеризующего относительную замечаемость метеоров с различными координатами

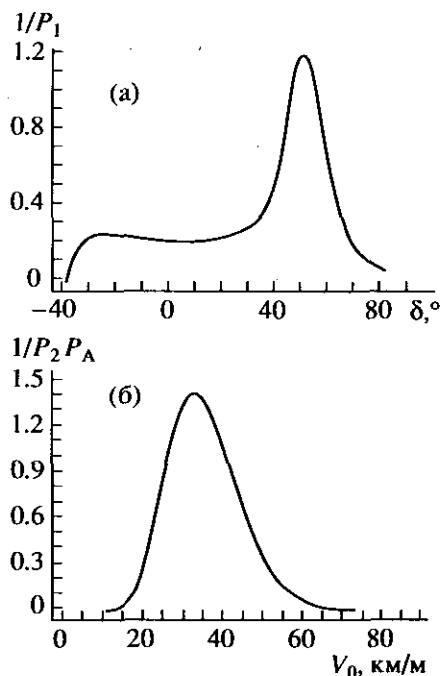


Рис. 1. Оценки факторов замечаемости метеорного радиолокационного комплекса МАРС: а – зависимость геометрического фактора замечаемости от склонения радианта при круглосуточных наблюдениях; б – зависимость произведения физического и аппаратного факторов замечаемости от скорости метеора.

радиантов, физического $1/P_2$ и аппаратного $1/P_A$ факторов, которые выражают относительную замечаемость метеоров с различными скоростями, и астрономического фактора $1/P_3$, зависящего от вероятности встречи с Землей метеорных тел, движущихся по различным орбитам.

На рис. 1А приведен график геометрического фактора замечаемости метеорной автоматической системы МАРС (Кащеев и др. (1976)) при круглосуточных наблюдениях метеоров с различными склонениями радиантов δ . Методика расчета геометрического фактора подробно изложена Кащеевым и др. (1967), где, в частности, показано, что величина $1/P_1$ практически не зависит от скорости метеора V_0 .

Методика расчета физического фактора замечаемости также приведена Кащеевым и др. (1967), однако для того, чтобы ею воспользоваться, необходимо задаться рядом параметров и моделей, которые до настоящего времени достоверно не определены. Это в первую очередь начальный радиус метеорного следа как функция скорости метеорного тела и высоты, зависимость коэффициента амбиполярной диффузии от высоты, коэффициента ионизации от скорости, значений высот и формы кривых ионизации и др.

Волощук и др. (1989) предложили методы оценки произведения $1/P_2$ и $1/P_A$, основанные на статистическом анализе результатов наблюдений, которые не требуют привлечения каких-либо физических моделей процессов образования метеорного следа и отражения радиоволн от него.

На рис. 1Б приведен график зависимости $1/(P_2 P_A)$ от скорости метеора V_0 для комплекса МАРС. Волощук и др. (1989) показали, что минимальная линейная электронная концентрация метеорных следов, которые могут быть зарегистрированы на комплексе МАРС, составляет $6 \times 10^8 \text{ см}^{-1}$ (в режиме регистрации численности). При регистрации орбит радиометеоров пороговый уровень по амплитуде отраженного сигнала приблизительно в 3 раза превосходит значение порога в режиме измерения численности. Поскольку амплитуда отраженного сигнала пропорциональна линейной электронной концентрации следа, получаем, что предельно регистрируемая в режиме определения орбит метеорных тел электронная концентрация составляет приблизительно $(1-2) \times 10^9 \text{ см}^{-1}$.

Лебединец (1980) рассчитал зависимости физического фактора замечаемости от скорости для разных длин волн при разной эффективной чувствительности метеорных радиолокационных станций. Можно отметить, что зависимость, приведенная на рис. 1Б, хорошо согласуется с графиком рис. 4, 8, б, 2 из работы Лебединца (1980).

Астрономический фактор замечаемости P_3 обычно рассчитывают по формуле вероятности встречи метеорного тела с Землей, полученной Эпиком (1951) с учетом изменения долготы восходящего узла и аргумента перигелия под действием возмущений со стороны планет:

$$P_3 = \frac{\pi V_g \sin i}{R_{sc}^2 V_\infty^2} \left(2 - \frac{1}{a} - p \right)^{1/2}, \quad (1)$$

где V_g – геоцентрическая скорость метеора, i – наклонение орбиты, a – большая полуось, p – параметр орбиты, R_{sc} – радиус сферы захвата Земли, V_∞ – внеатмосферная скорость метеора. Астрономический фактор (1) рассчитан на одно обращение метеорного тела вокруг Солнца. Чтобы привести все оценки к одному масштабу времени (одному году) необходимо P_3 домножить на $a^{3/2}$.

Формула (1) справедлива, если $i \neq 0$, перигелийное расстояние $q < 1 \text{ а. е.}$ и афелийное расстояние $a > 1 \text{ а. е.}$ Метеоры, орбиты которых не удовлетворяют этим условиям, хотя и редко, но регистрируются наземными методами.

Следует заметить, что попытки уточнения формулы (1) предпринимались Бельковичем (1983), Андреевым (1984), Бронштэном (1983), Крамером, Шестакой (1983) и др., однако, как правило, каждая новая работа посвященная ре-

шению этой задачи, вызывала вопросов больше, чем давала ответов. Кроме того, как показали Волощук и др. (1989), поправки к астрономическому фактору, вводимые различными авторами к результатам классической работы Эпика (1951), настолько малы, что не оказывают существенно влияния на вид исправленных распределений.

Итак, приписывая каждому зарегистрированному метеору вес, равный $P_1 P_2 P_A P_3 a^{3/2}$, можно перейти от распределений зарегистрированных радиометеоров к исправленным распределениям метеорных тел с массами больше некоторой предельно регистрируемой (для комплекса МАРС это 10^{-5} г), пересекающих сферу радиусом 1 а. е. вокруг Солнца.

Отметим, что при построении исправленных за замечаемость распределений метеорных тел были введены ограничения на значения элементов орбит. Во-первых, рассматривались только эллиптические орбиты; во-вторых, чтобы воспользоваться формулой (1) для расчета астрономического фактора замечаемости, необходимо исключить орбиты метеорных тел, касающиеся орбиты Земли, но не пересекающие ее. Такой отсев уменьшил выборку потоковых метеоров до 50016, спорадических – до 35240 орбит. Кроме того, сравнение исправленных распределений элементов орбит, приведенных в настоящей работе, с данными из других источников наталкивается на определенные трудности. Так, в работе Мак-Кроски, Позен (1961), где обсуждаются одномерные и двумерные распределения орбит фотографических метеоров, при учете факторов селективности не осуществлена привязка к одному масштабу времени, не учтен геометрический фактор замечаемости, связанный с тем, что фотографические наблюдения могут осуществляться только в ночное время, учет физического фактора, как показал Лебединец (1980), проведен не совсем корректно. В работах Кащеева и др. (1967), Лебединца (1980) также не осуществлена привязка к единому масштабу времени. Во многих работах, посвященных анализу данных, полученных радиолокационным методом, не учтено влияние начального радиуса метеорного следа на замечаемость (соответствующие ссылки и последствия этого обсуждал Лебединец (1980)) и др.

Анализ одномерных распределений элементов орбит и координат радиантов потоковых и спорадических метеорных тел с массами больше 10^{-5} г., пересекающих сферу радиусом 1 а. е. вокруг Солнца. На рис. 2 приведены группы графиков одномерных распределений потоковых (А) и спорадических (В) метеорных тел. Приведены графики суточного хода численности орбит, распределения геоцентрических (V_g) и гелиоцентрических (V_h) скоростей метеороидов, эксцентриситетов e , перигелийных расстояний q , наклонений i ,

аргументов перигелиев ω , а также распределения радиантов метеороидов по гелиоцентрической долготе $\lambda' - \lambda_a$ и широте β' (λ_a – долгота апекса Земли в момент наблюдения метеора). Сравнивая эти распределения с распределениями, приведенными на рис. 2Б и В в работе Волощука и др. (1995), можно оценить влияние избирательности наблюдений. Однако настоящая работа посвящена решению другого вопроса, а именно: анализу различий в исправленных распределениях потоковых и спорадических метеорных тел. Сразу отметим, что все попарно сравниваемые распределения обоих классов метеорных тел существенно отличаются друг от друга.

В суточном ходе численности потоковых метеороидов четко выражены “апексный”, “солнечный” и “антисолнечный” максимумы. У спорадических метеороидов “солнечный” максимум (с 12 до 14 часов) отсутствует, что объясняется характером распределений радиантов по гелиоцентрической долготе $\lambda' - \lambda_a$ тех и других, приведенных на том же рисунке. Более подробно распределения радиантов будут проанализированы ниже.

Все потоковые метеороиды можно разделить на две группы по значениям геоцентрических скоростей: приблизительно 60% из них движется со скоростями 15–45 км/с, остальные – со скоростями 45–70 км/с, очень мал вклад метеороидов со скоростями 45–47 км/с. Подавляющее большинство спорадических метеороидов имеют скорости, лежащие в узком диапазоне 50–70 км/с.

Распределения гелиоцентрических скоростей V_h спорадических метеороидов концентрируются в узком диапазоне 30–42 км/с, вклад метеороидов со скоростями $V_h < 30$ км/с не превышает 10%. Среди потоковых метеороидов скорость меньше 30 км/с имеет приблизительно каждый пятый. Если воспользоваться приближенной формулой, связывающей значения гелиоцентрической скорости и большой полуоси орбиты:

$$a = 1/(2 - V_h^2), \quad (2)$$

где V_h – гелиоцентрическая скорость метеороида, выраженная в единицах средней орбитальной скорости Земли, получим, что среди спорадических метеороидов только незначительная часть движется по орбитам с $a < 1$ а. е. тогда как приблизительно 20% потоковых метеороидов имеет орбиты с большими полуосями, лежащими в диапазоне 0.5–1 а. е.

Распределения метеороидов по эксцентриситетам во всем диапазоне наклонений в обеих выборках мало отличаются друг от друга, однако различия становятся существенными, если рассматривать отдельные узкие диапазоны значений наклонений орбит. Анализ трехмерных распределений потоковых и спорадических метеороидов

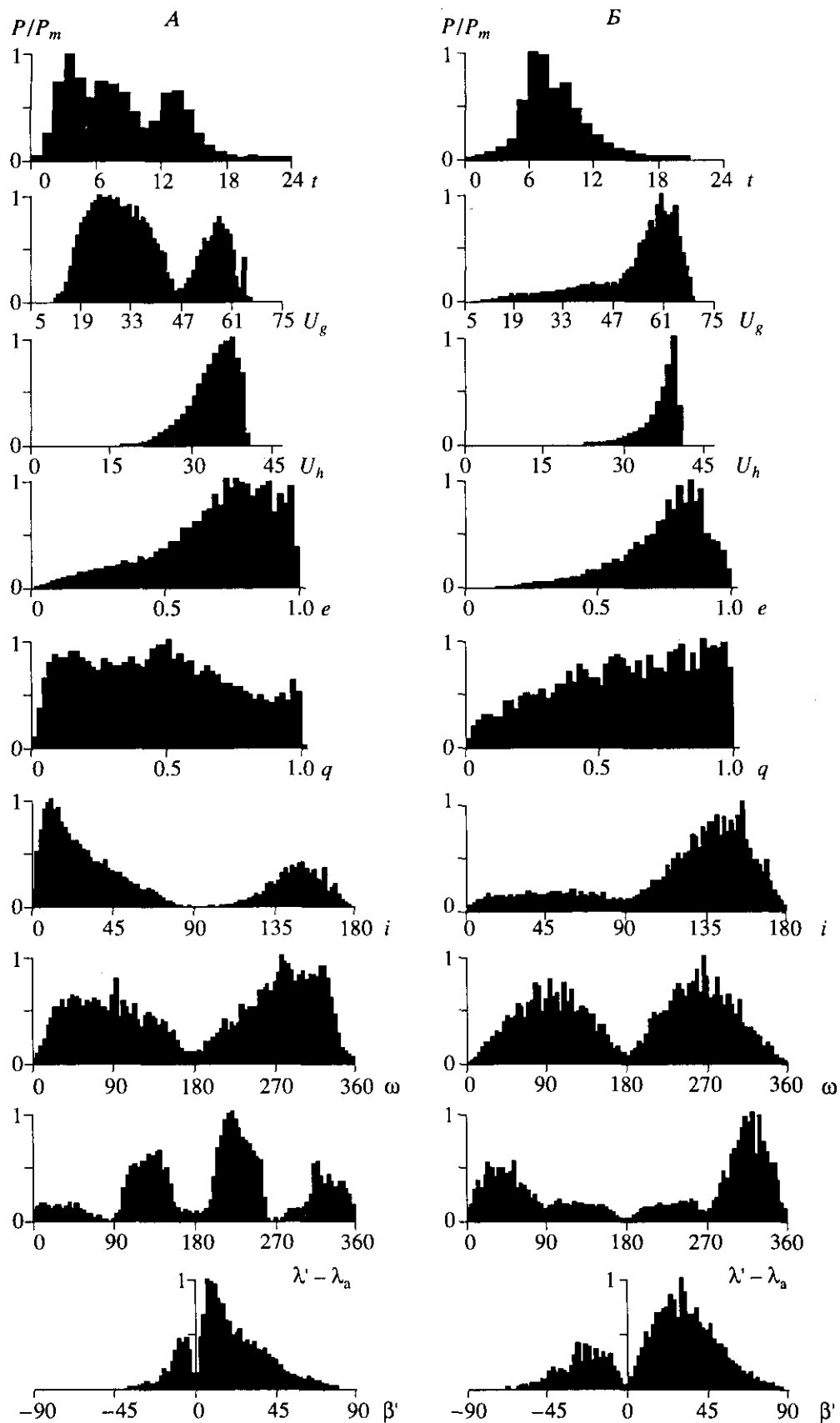


Рис. 2. Одномерные распределения потоковых (А) и спорадических метеороидов (Б).

Таблица 1. Характеристики выборок потоковых и спорадических метеоров и метеороидов, приведенные к одному году

Месяц	Массив	N	$\frac{N_{sh}}{N_{sp}}$	$\frac{P_{sh}}{P_{sp}}$	V_h , км/с		e		q а. е.		i, °	
					App	Virt	App	Virt	App	Virt	App	Virt
I	sh	3041	1.20	0.17	32.95	34.99	0.600	0.685	0.550	0.527	41.9	52.4
	sp	2544			32.14	37.72	0.602	0.756	0.549	0.600	85.7	121.7
II	sh	5081	1.93	0.36	33.27	35.30	0.600	0.693	0.562	0.534	39.0	56.9
	sp	2633			32.12	37.52	0.592	0.753	0.571	0.607	81.2	115.8
III	sh	2289	1.05	0.10	32.76	34.83	0.587	0.705	0.548	0.496	34.0	32.7
	sp	2172			32.09	37.06	0.585	0.748	0.574	0.596	75.1	109.5
IV	sh	5495	2.59	0.52	31.27	33.89	0.545	0.675	0.547	0.508	44.9	41.9
	sp	2118			30.78	36.41	0.587	0.745	0.537	0.574	82.1	113.2
V	sh	2226	1.05	0.27	30.56	33.43	0.586	0.705	0.464	0.433	46.7	52.6
	sp	2124			30.13	35.96	0.580	0.729	0.524	0.580	83.1	119.8
VI	sh	4322	1.71	0.41	29.72	32.50	0.612	0.711	0.426	0.403	51.7	49.1
	sp	2527			29.66	35.95	0.589	0.737	0.508	0.577	89.1	113.6
VII	sh	5600	1.76	0.37	28.65	32.23	0.561	0.665	0.454	0.453	68.7	62.4
	sp	3230			29.70	36.04	0.590	0.738	0.507	0.576	90.8	116.8
VIII	sh	5424	2.01	0.55	28.90	33.09	0.586	0.681	0.437	0.455	75.3	64.2
	sp	2704			29.47	35.99	0.598	0.734	0.496	0.587	93.4	114.7
IX	sh	5296	1.41	0.31	28.96	33.20	0.591	0.706	0.423	0.410	70.1	66.4
	sp	3761			29.90	36.57	0.607	0.749	0.490	0.589	94.1	120.3
X	sh	4543	1.13	0.33	30.79	34.92	0.628	0.738	0.435	0.436	66.4	84.2
	sp	4016			30.42	36.95	0.603	0.750	0.509	0.591	93.8	124.4
XI	sh	2389	1.07	0.19	31.96	34.54	0.626	0.677	0.465	0.496	55.7	64.7
	sp	2229			31.20	37.48	0.601	0.762	0.523	0.581	95.4	127.4
XII	sh	4036	1.48	0.28	32.42	34.26	0.650	0.703	0.449	0.442	51.5	73.2
	sp	2725			31.89	37.53	0.599	0.748	0.548	0.616	90.4	124.6
All	sh	49831	1.52	0.32	30.75	33.93	0.596	0.696	0.477	0.465	56.9	60.7
	spr	32783			30.71	36.90	0.596	0.747	0.525	0.592	88.6	118.8

по большим полуосям, эксцентриситетам и наклонениям орбит приведен ниже.

Наиболее существенно различаются распределения потоковых и спорадических метеороидов по перигелийным расстояниям и наклонениям орбит. Распределение по q , построенное по выборке потоковых метеоров, имеет три экстремума, положения которых согласуются с аналогичным распределением, построенным для потоковых фотографических метеоров Мак-Кроски и Позен (1961). Однако экстремумы в нашем случае, во-первых, менее четко выражены, и, во-вторых, если по фотографическим данным максимум при $q \approx 0.5$ а. е. только намечается, то для более мелких тел он становится глобальным. Для спорадических метеороидов качественно распределение согласуется с аналогичным, построенным по фотографическим наблюдениям.

Распределения мелких метеороидов по наклонениям орбит отличаются от полученных фотографическим методом. Так, у последних практически отсутствуют метеороиды с обратным движением. Если сравнивать распределения наклонений потоковых и спорадических радиометеоров, зарегистрированных аппаратурой средней эффективной чувствительности (Лебединец, 1980), и анализируемых в настоящей работе слабых радиометеоров, то согласие получается очень хорошим.

В табл. 1 приведены оценки некоторых параметров выборок потоковых и спорадических метеоров и метеороидов, приведенных к одному году: N – численность, P – суммарный вес орбит потоковых (sh) и спорадических (sp) метеоров, оценки средних V_h , e , q и i , искаженные избирательностью метода измерений (App) и исправленные весовым методом ($Virt$). Как следует из анализа

Таблица 2. Оценки коэффициентов аппроксимирующих полиномов сезонного хода средних, приведенных в табл. 1, и положения максимума и минимума соответствующих параметров

Статистика			A0	A1	A2	A3	Max	Min
V_h	$\frac{N_{sh}}{N_{sp}}$		0.915	0.437	-0.067	0.003	IV-V	XII-I
	$\frac{P_{sh}}{P_{sp}}$		0.098	0.103	-0.010	0	VI-VIII	XII-I
	sh	App	33.703	-0.086	-0.190	0.016	XII-I	VIII
		Virt	36.521	-0.980	0.067	0	XII-I	VII
	sp	App	32.825	-0.300	-0.079	0.008	XII-I	VIII
		Virt	38.808	-0.921	0.084	-0.001	XII-I	VII
	sh	App	0.619	-0.010	0.002	0	XII	V
		Virt	0.696	0	0	0	-	-
	sp	App	0.621	-0.021	0.004	0	X	IV
		Virt	0.775	-0.016	0.002	0	I	V-VI
	sh	App	0.571	0	-0.005	0	I	IX
		Virt	0.575	-0.033	0.002	0	I	VIII
q	App	0.547	0.018	-0.006	0	II	IX	
	Virt	0.614	-0.009	0	0	XII-I	VI-VIII	
l	sh	App	54.195	-16.162	4.256	-0.247	IX	II-III
		Virt	70.365	-18.488	3.625	-0.174	X-XI	III-IV
	sp	App	91.577	-8.889	1.952	-0.102	X	III
		Virt	130.216	-10.368	1.625	-0.068	XI	IV

данных, приведенных в таблице, для всех месяцев года количество потоковых метеоров превышает количество спорадических (в апреле и августе более чем в 2 раза). Учет факторов селективности и переход к плотности потока метеороидов приводит к тому, что в среднем спорадических метеороидов в 3 раза больше, чем потоковых.

Практически все приведенные параметры имеют сезонный ход. Если в качестве независимой переменной взять номер месяца в году и аппроксимировать сезонный ход приведенных в таблице параметров полиномом третьей степени по методу наименьших квадратов, то коэффициенты полиномов будут такими, как приведенные в табл. 2. Практически не меняется в течение года только среднее значение эксцентриситета орбит, хотя и здесь намечается некоторое уменьшение в весенне-летние месяцы. В таблице приведены данные о положении максимумов и минимумов средних значений анализируемых параметров. Как правило, диапазон сезонных вариаций с переходом к исправленным распределениям уменьшается.

Оценки устойчивости орбит потоковых и спорадических метеороидов. Висенте (1985), рассма-

тривая комплекс малых тел как динамическую систему, вводит критерий устойчивости орбит вида:

$$S = \frac{C_{ac} - C_{cr}}{C_{cr}} \quad (3)$$

Здесь C_{ar} – значение некоторого параметра, характеризующего объект системы, C_{cr} – критическое значение этого параметра. Если рассматривается модель ограниченной задачи трех тел, то C – постоянная Якоби. Тогда $S > 0$ соответствует устойчивости объекта системы, $S < 0$ – неустойчивости. Были рассчитаны граничные значения больших полуосей орбит $a^*(e, i)$, таких, что в случае, если для конкретного метеороида $a < a^*(e, i)$, то его орбита является устойчивой по Хиллу, т.е. метеороид на такой орбите не может покинуть область, включающую Солнце и Юпитер, для внутренних относительно Юпитера орбит и, наоборот, проникнуть в эту область для внешних орбит. Анализ зависимости $a^*(e, i)$ согласуется с результатами, полученными Висенте (1985), и показывает, что при фиксированном значении большой полуоси орбиты с ростом e и i устойчивость уменьшается, или, чем меньше эксцентриситет орбиты, тем большее требуется наклонение для того, чтобы движение по такой орбите

Таблица 3. Характеристики выборок устойчивых (*st*) и неустойчивых (*unst*) по Хиппу орбит потоковых и спорадических метеоров и метеороидов

Массив		N	$\frac{N_{sh}}{N_{sp}}$	$\frac{P_{sh}}{P_{sp}}$	Потоковые метеоры				Спорадические метеоры			
					$\frac{N_{st}}{N_{unst}}$	$\frac{P_{st}}{P_{unst}}$	$\frac{N_{st}}{N_{all}}$	$\frac{P_{st}}{P_{all}}$	$\frac{N_{st}}{N_{unst}}$	$\frac{P_{st}}{P_{unst}}$	$\frac{N_{st}}{N_{all}}$	$\frac{P_{st}}{P_{all}}$
st	sh	46404	1.54	0.46	13.36	6.86	0.93	0.87	11.49	1.53	0.92	0.60
	sp	30091										
unst	sh	3473	1.33	0.10	9.93	5.52	0.91	0.85	8.28	1.89	0.89	0.65
	sp	2610										
st j < 90°	sh	34279	2.25	1.37	551.1	16.36	0.998	0.94	19.01	1.45	0.95	0.59
	sp	15204										
unst j < 90°	sh	3451	1.88	0.47	551.1	16.36	0.998	0.94	19.01	1.45	0.95	0.59
	sp	1835										
st j > 90°	sh	12125	0.81	0.18	551.1	16.36	0.998	0.94	19.01	1.45	0.95	0.59
	sp	14887										
unst j > 90°	sh	22	0.03	0.02	551.1	16.36	0.998	0.94	19.01	1.45	0.95	0.59
	sp	783										

было устойчивым. Заметим, что астероиды типа Аполлона и Амура, пересекающие орбиту Земли, имеют отрицательный критерий *S*. Поэтому, если эти объекты являются родительскими телами метеорных потоков, то такие потоки не могут долго существовать, сохраняя компактную форму. Это важно подчеркнуть, поскольку среди орбит слабых радиометеоров и выделенных потоков значительное количество имеют малые размеры и произвольные наклонения (Волощук и др., 1989; Кашеев, Волощук 1994 и др.).

В табл. 3 приведены результаты анализа выборок потоковых и спорадических метеоров и метеороидов на устойчивость орбит, по которым они движутся. Сравнение оценок статистик N_{sh}/N_{sp} и P_{sh}/P_{sp} , приведенных в табл. 3, с аналогичными оценками в строке АП табл. 1 показывает, что отбор только устойчивых орбит увеличивает вклад потоковых метеоров и метеороидов как в случае изменения наклонений во всем диапазоне возможных значений, так и в случае, если ограничиться орбитами с прямым движением. Здесь вклад тел, принадлежащих потокам, превышает вклад спорадических тел. На устойчивых орбитах с обратным движением находятся, в основном, спорадические тела.

Резко отличаются оценки статистики P_{st}/P_{unst} для потоковых и спорадических метеороидов: первая превышает вторую в 4.5 раза, если отбор по *i* не проводить, в 2.5 раз для орбит с прямым движением и в 11.3 раза для орбит с обратным движением. Наконец, из всех потоковых метеороидов 87% движется по устойчивым орбитам. У спорадических таких только 60%. Для орбит с

прямым движением соответствующие оценки составляют 85 и 65%, а для орбит с обратным движением – 94 и 59%.

Анализ многомерных распределений элементов орбит и координат радиантов потоковых и спорадических метеорных тел с массами больше 10^{-5} г, пересекающих сферу радиусом 1 а. е. вокруг Солнца. При анализе двумерных распределений элементов орбит метеоров часто используют точечные диаграммы, где метеор отображается точкой на плоскости, а координаты каждой точки равны значениям соответствующих элементов орбит или координат радианта (см., например, Волощук и др., 1989; Кашеев и др., 1967; Кресак, 1967; Секанина, 1976; Яккия, Уиппл, 1961 и др.). Очевидно, что при переходе к исправленным распределениям такие диаграммы непосредственно построить невозможно (каждая точка уже обладает своим весом $P_1 P_2 P_A P_3 a^{3/2}$). Обычно при построении распределений радиантов или элементов орбит, исправленных за избирательность, область изменения параметров разбивают на некоторое количество равновеликих площадок и среднюю плотность по каждой из них отображают кругом, площадь которого пропорциональна сумме весов метеоров, попавших в соответствующую площадку (см., например, Кашеев и др., 1967; Мак-Кроски, Позен, 1961; Волощук и др. 1989). В настоящей работе для отображения двумерных распределений использованы точечные диаграммы, полученные методом имитационного моделирования по известным одномерным распределениям. О плотности потока метеорных тел с массами больше 10^{-5} г, пересекающих сферу радиусом 1 а. е. вокруг Солнца, можно

судить по интенсивности затемнения соответствующего участка диаграммы. Проверка метода на “видимых” распределениях показала, что двумерные точечные диаграммы, восстановленные из одномерных распределений, во всех деталях совпадают с построенными непосредственно.

На рис. 3 приведены исправленные распределения радиантов в экваториальной системе координат для потоковых (А) и спорадических (Б) метеорных тел. Здесь α – прямое восхождение и δ – склонение радианта. Сравнивая эти распределения, можно отметить, что если для потоковых метеороидов радианты в основном сконцентрированы в диапазоне значений $\alpha > 0^\circ$, то у спорадических метеороидов область повышенной плотности радиантов смещена в левую полуплоскость. Кроме того, видно, что существенно отличаются распределения прямых восхождений радиантов для обоих классов метеороидов в различных диапазонах склонений. Это отчетливо проявляется в распределениях по величине α в полярной системе координат (рис. 4).

В распределении потоковых метеороидов четко выделяется острый максимум при $\alpha \approx 90^\circ$ и $\delta \approx 10\text{--}30^\circ$. В выборке спорадических метеороидов глобальный максимум плотности радиантов приходится на тот же диапазон склонений, но прямое восхождение составляет приблизительно 190° . Общим для обоих классов метеороидов является максимум при $\alpha \approx 230^\circ$ и $\delta \approx -10\text{--}10^\circ$. Как следует из анализа рис. 3 и 4, распределение радиантов в экваториальной системе для потоковых метеороидов четко структурировано: можно выделить 5–6 максимумов в распределении по α , причем каждый из них принадлежит своему диапазону значений δ . Для спорадических метеороидов такие кластеры надежно не выявляются.

На рис. 5 и 6 приведены распределения радиантов потоковых (А) и спорадических (Б) метеороидов в эклиптической гелиоцентрической системе координат ($\lambda' - \lambda_a, \beta'$). Соответствующие одномерные распределения изображены на рис. 2, а “видимые”, искаженные факторами селективности распределения, – на рис. 3, В и С статьи Волощука и др. (1995). Сравнивая последние с приведенными на рис. 5, можно отметить, что в исправленных распределениях произошли существенные изменения: полностью отсутствуют максимумы при $\lambda' - \lambda_a = 180^\circ$ и 0° в распределении потоковых метеороидов, в распределении спорадических метеороидов практически исчезли мощные скопления радиантов с $\lambda' - \lambda_a = 180^\circ \pm 45^\circ$, существенно меньшую роль в общем потоке мелких метеороидов стали играть высокоширотные радианты.

Распределения, построенные в полярных координатах на рис. 6Б для спорадических метеороидов, позволяют заключить, что изменение ши-

роты практически не влияет на распределения по долготе: во всех сечениях присутствует два максимума при $\lambda' - \lambda_a = \pm 45^\circ$. Для потоковых метеороидов распределения по эклиптической долготе в различных сечениях по широте уже существенно различаются: каждый из четырех максимумов распределения ($\lambda' - \lambda_a = 180^\circ \pm 45^\circ, \lambda' - \lambda_a = \pm 45^\circ$) по-разному проявляется на разных широтах.

На рис. 7 приведены двумерные распределения (Q, i) и их сечения по различным диапазонам наклонений орбит потоковых (рис. 7А) и спорадических метеороидов (рис. 7Б). Анализ этих распределений указывает на слабую зависимость распределений от значений наклонений орбит для спорадических мелких метеорных тел. Этот факт, а также сам вид двумерного распределения (Q, i) для спорадических метеороидов дают основание предположить, что произошли они в основном в результате распада ядер долгопериодических комет. Действительно, все метеороиды, движущиеся по орбитам с $Q > 5$ а. е., имеют кометное происхождение. Если вклад частиц другого происхождения (короткопериодические кометы семейства Юпитера, астероиды пояса) мал, то с уменьшением Q число таких метеороидов должно медленно (из-за влияния эффекта Пойнтинга-Робертсона) убывать. Такую картину мы и наблюдаем в распределениях на рис. 7Б при $i > 90^\circ$. У метеороидов с прямым движением с уменьшением Q наблюдается даже некоторое увеличение количества тел, что указывает на наличие каких-то других источников. Это могут быть короткопериодические кометы семейства Юпитера, астероиды пояса, объекты группы Аполлона.

Анализ распределений рис. 7А показывает, что долгопериодические кометы если и вносят вклад в популяцию потоковых метеороидов, то он незначителен. В следующей статье цикла этот вопрос будет рассмотрен подробнее.

На рис. 8 приведены двумерные распределения (a, e), а на рис. 9 – двумерные распределения (a^{-1}, e) в различных диапазонах наклонения орбит i . Отметим, что распределения (a, e) для спорадических метеороидов (рис. 8Б), слабо зависят от наклонения орбит. Распределения эксцентриситетов в различных сечениях по i статистически неразличимы. Это же можно сказать и о распределениях по a и a^{-1} . По этой причине на рис. 9 для спорадических метеороидов приведено двумерное распределение (a^{-1}, e) для полного диапазона изменения наклонения орбит.

Иная картина наблюдается для потоковых метеороидов. В диапазоне $i = (0\text{--}30^\circ)$ распределение орбит по эксцентриситетам можно сравнить с распределением фотографических потоковых метеороидов из статьи Мак-Кроски и Позен (1961). Если учесть, что фотографические потоковые метеороиды движутся по орбитам с наклонениями

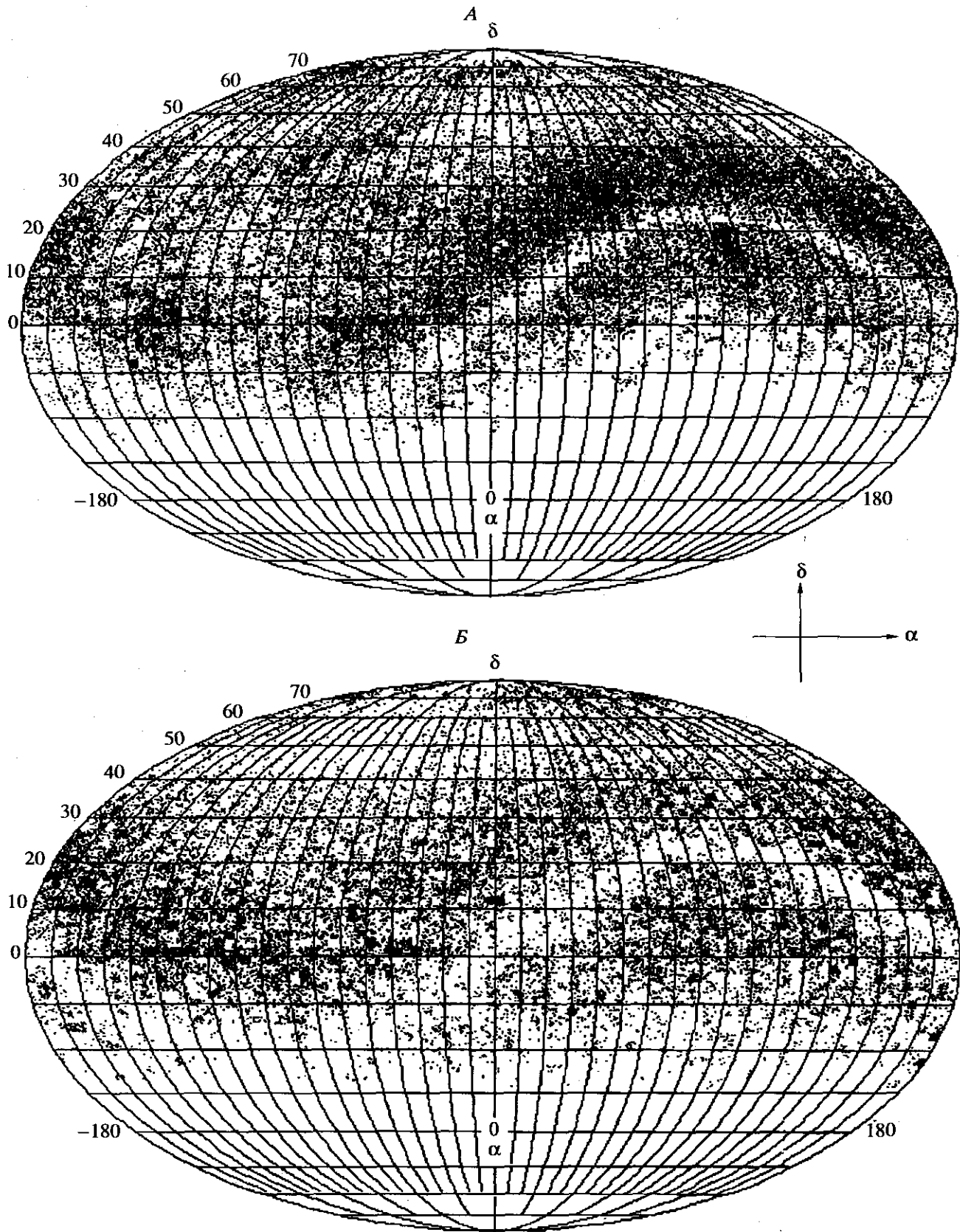


Рис. 3. Распределения радиантов потоковых (А) и спорадических (Б) метеороидов по небесной сфере в экваториальной системе координат – хаммеровская проекция.

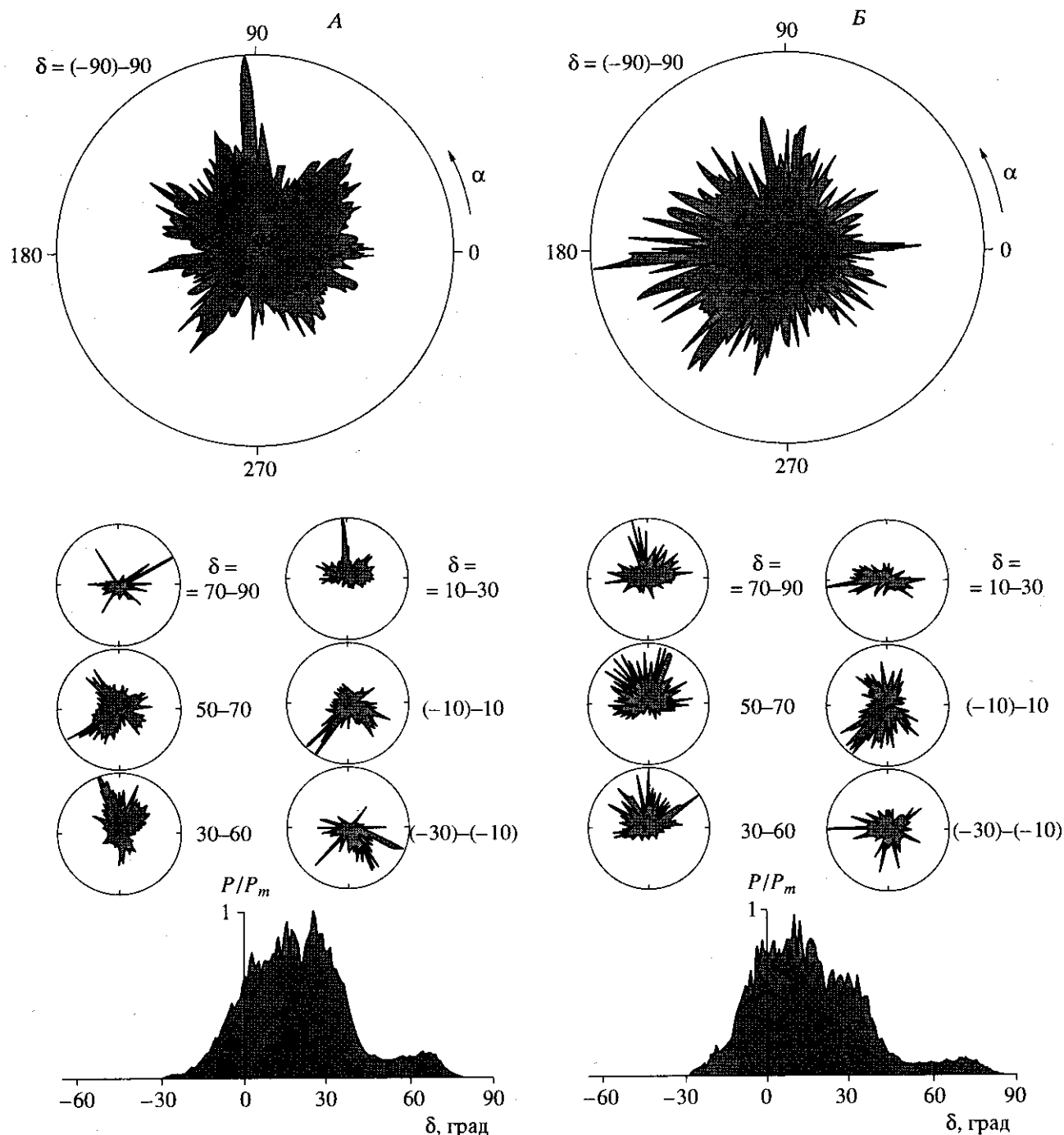


Рис. 4. Распределения радиантов потоковых (А) и спорадических (Б) метеороидов по небесной сфере в экваториальной системе координат (полярные проекции в различных диапазонах склонений радианта) и распределения метеороидов по склонению радианта δ .

меньше 30° , согласие получается очень хорошим. Кстати, Мак-Кроски и Позен (1961) отмечают, что число спорадических метеороидов растет приблизительно как e^2 , что хорошо согласуется с распределением спорадических метеороидов (рис. 8В).

В монографии Волощука и др. (1989) была отмечена ранее не обсуждавшаяся особенность “ви-

димых” двумерных распределений (a , e): наличие глубокой щели, вытянувшейся приблизительно вдоль линии постоянных значений q или p . Она начинает проявляться в распределениях орбит с наклонениями больше 20° . По мере роста i положение ее смещается вправо (в сторону меньших q). Наиболее четко она выражена в диапазоне $i = (40-50^\circ)$. Когда $i > 60^\circ$, из-за стягивания области

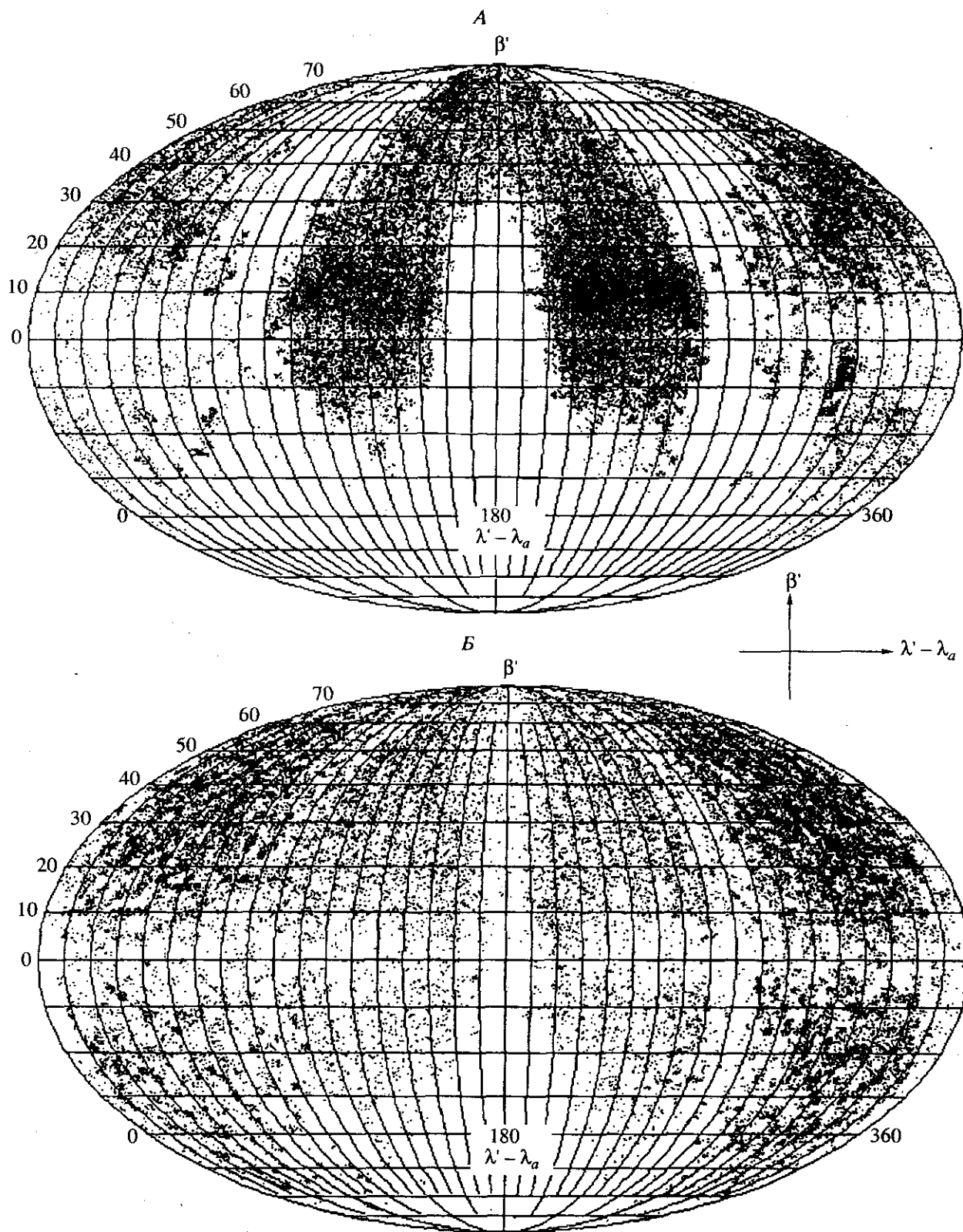


Рис. 5. Распределения радиантов метеороидов по гелиоцентрической небесной сфере относительно апекса Земли (хаммеровская проекция): А – потоковые метеороиды, Б – спорадические метеороиды.

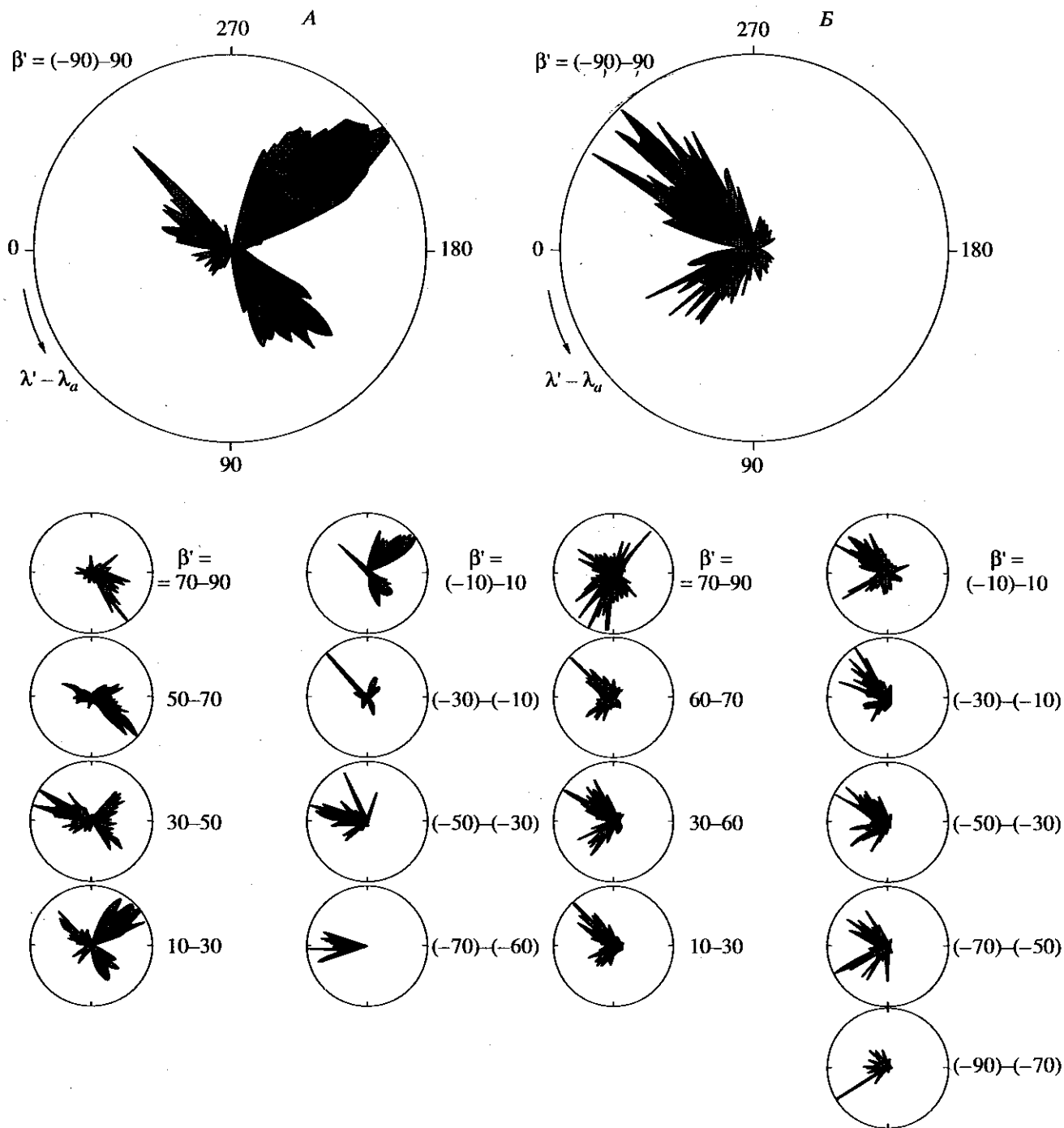


Рис. 6. Распределения радиантов метеороидов по гелиоцентрической небесной сфере относительно апекса Земли (полярные проекции в различных диапазонах гелиоцентрической широты β'): А – потоковые метеороиды, Б – спорадические метеороиды.

орбит метеоров к узкой полосе вблизи $q = 1$ она исчезает. Анализируя распределения, приведенные на рис. 8 и 9, можно сделать следующие выводы: отмеченная в работе Волощука и др. (1989) особенность проявляется, во-первых, и в исправленных распределениях, во-вторых, практически

во всем диапазоне наклонений и, что самое главное, в распределениях только потоковых метеороидов.

Распределения орбит по величине, обратной большой полуоси, приведенные на рис. 9, сравнительно мало отличаются в разных сечениях по i у

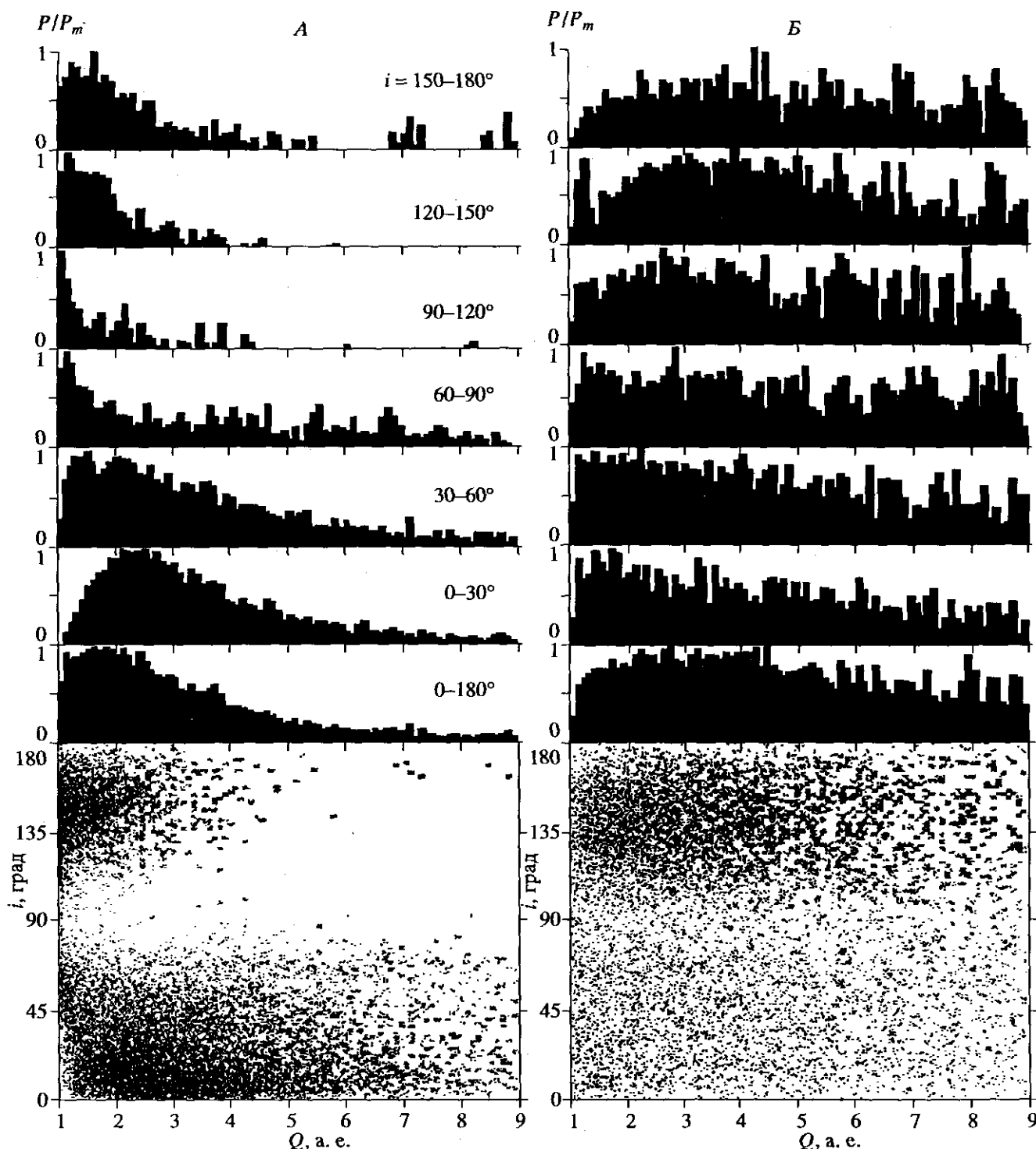


Рис. 7. Двумерные распределения потоковых (А) и спорадических (Б) метеороидов по афелийным расстояниям (Q) и наклонениям (i) орбит и их сечения в различных диапазонах наклонений.

потоковых и практически не отличаются у спорадических метеороидов, но различия между распределениями для обоих классов метеороидов существенны.

На рис. 10, А1 и А2 приведены двумерные распределения (q, i) и (e, i) потоковых метеороидов, а

на рис. 10, Б1 и Б2 такие же распределения по выборке спорадических метеороидов. Можно отметить, что распределения орбит радиометеоров потоков (А) обладают более четко выраженными структурными особенностями. Потоковые метеороиды, движущиеся по орбитам с прямым движением, распределены практически равномерно

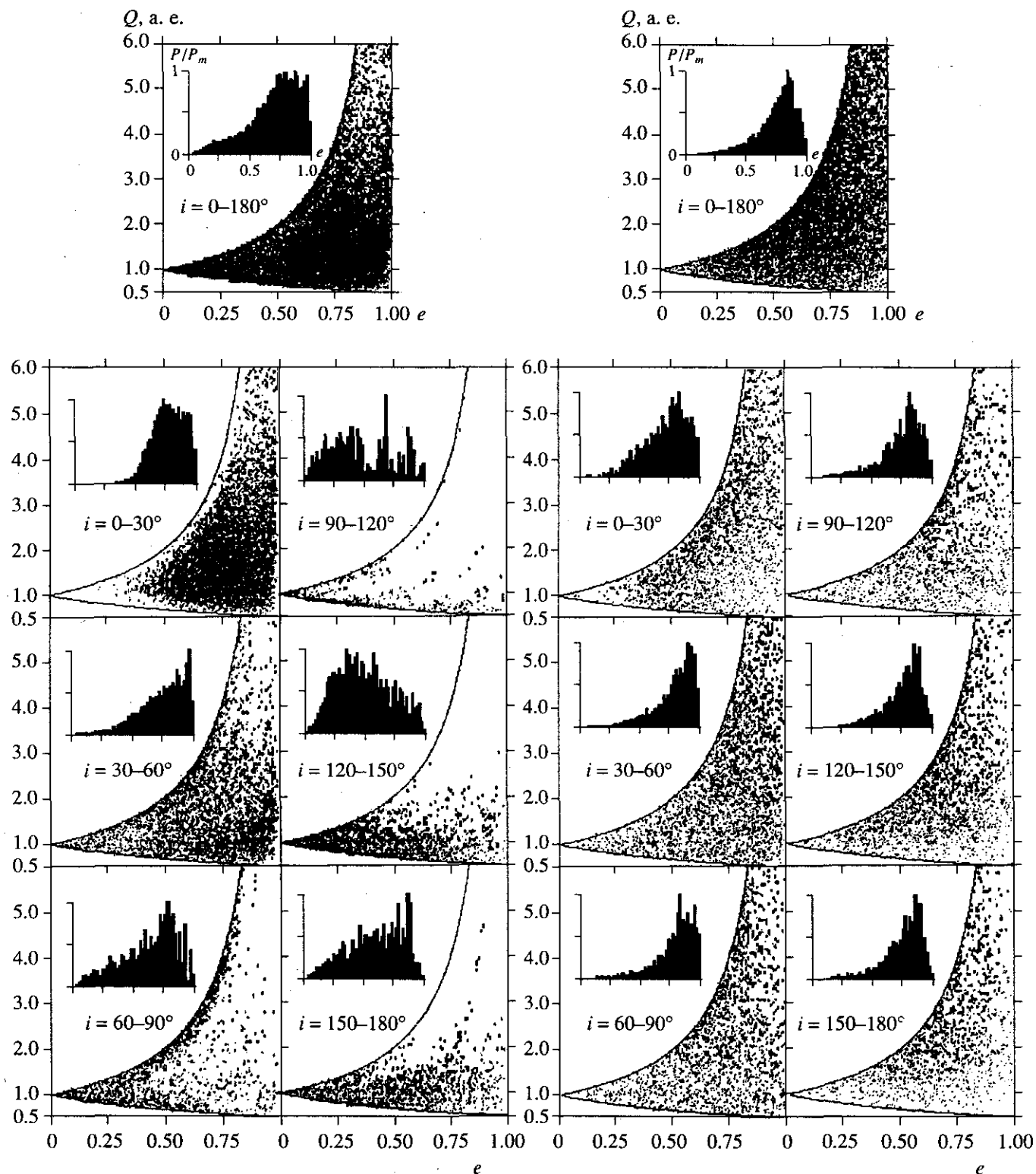


Рис. 8. Двумерные распределения орбит потоковых (А) и спорадических (Б) метеороидов по большим полуосям и эксцентриситетам в различных диапазонах наклонений орбит. В поле каждого двумерного распределения приведены нормированные к максимуму одномерные распределения орбит метеороидов по эксцентриситетам. Кривые $a = (1 - e)^{-1}$ и $a = (1 + e)^{-1}$ определяют граничные условия пересечения орбиты метеороида с орбитой Земли.

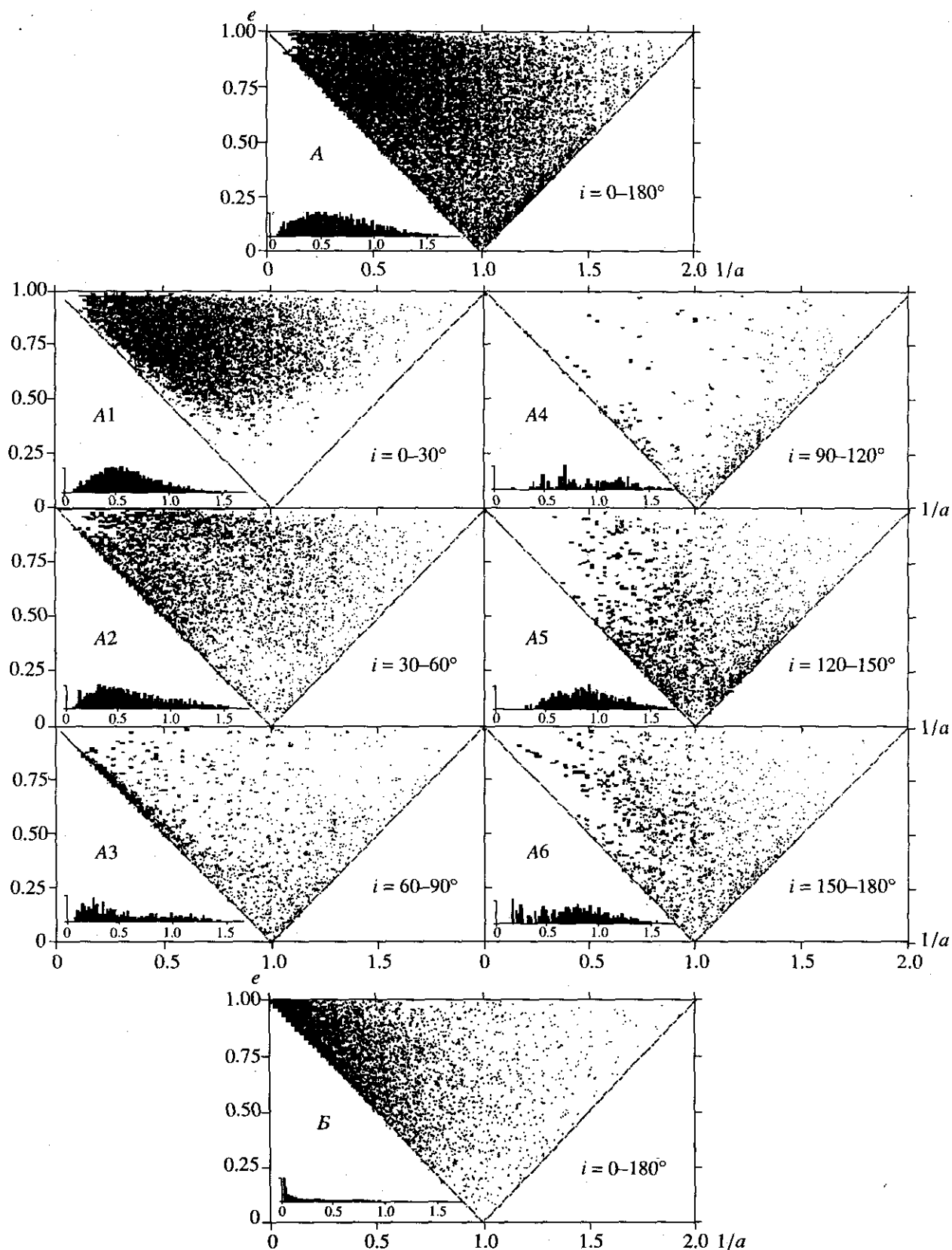


Рис. 9. Двумерные распределения орбит потоковых (А) и спорадических (В) метеороидов по a^{-1} и e в различных диапазонах наклонений орбит. В поле каждого двумерного распределения приведены нормированные к максимуму одномерные распределения орбит метеороидов по величине, обратной большой полуоси орбиты. Прямые $e = 1 - a^{-1}$ и $e = a^{-1} - 1$ определяют граничные условия пересечения орбиты метеороида с орбитой Земли.

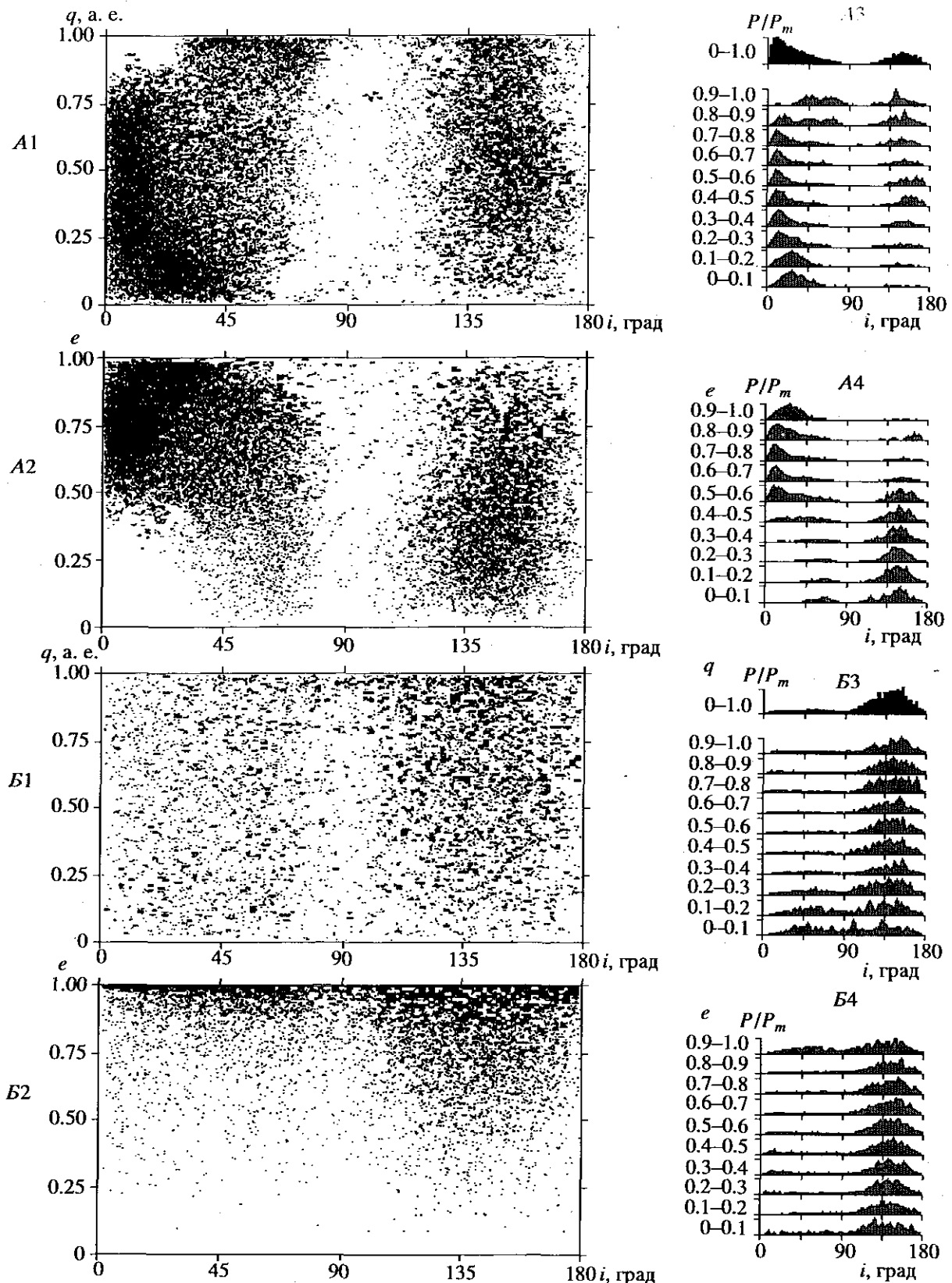


Рис. 10. Двумерные распределения потоковых и спорадических метеороидов по (q, i) и (e, i) : A1 – распределение (q, i) потоковых метеороидов; A2 – распределение (e, i) потоковых метеороидов; A3 – распределения орбит потоковых метеороидов по наклонениям орбит в различных диапазонах перигелийного расстояния; A4 – распределения орбит потоковых метеороидов по наклонениям орбит в различных диапазонах эксцентриситета; B3 и B4 – то же, что и A3, A4, но для спорадических метеороидов.

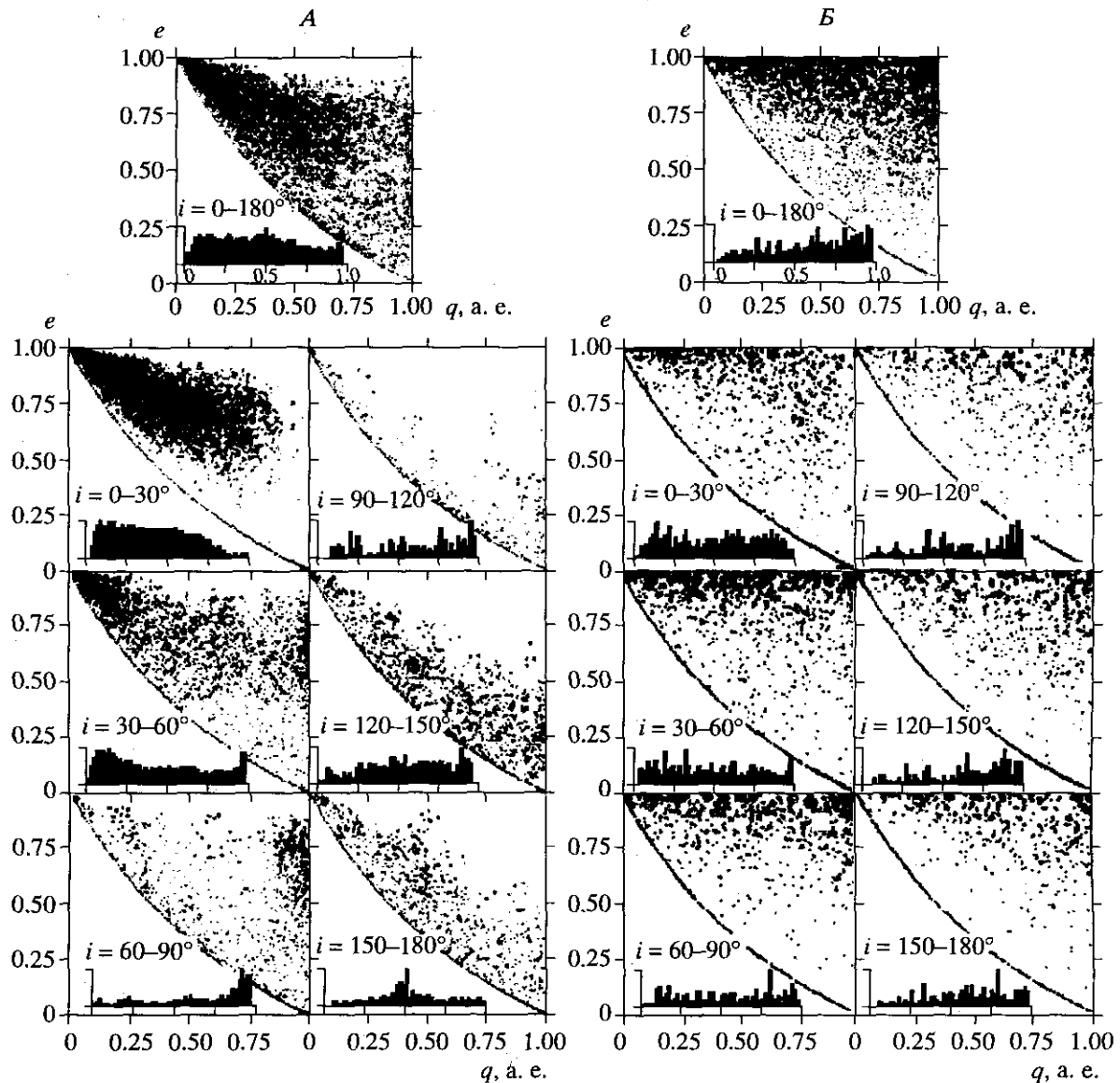


Рис. 11. Двумерные распределения орбит потоковых (А) и спорадических (Б) метеороидов по перигелийным расстояниям и эксцентриситетам в различных диапазонах наклонений орбит. В поле каждого двумерного распределения приведены нормированные к максимуму одномерные распределения орбит метеороидов по перигелийным расстояниям. Кривая $e = (1 - q)/(1 + q)$ определяет условие пересечения орбиты метеороида с орбитой Земли.

по q для орбит с наклонением меньше приблизительно 60° (см. рис. 11А), и только при $q > 0.9$ отсутствуют орбиты с $i < 30^\circ$. Эксцентриситеты орбит с прямым движением преимущественно больше 0.5. Потоковые метеороиды с обратным движением находятся преимущественно на орбитах с $q > 0.4$ и $e < 0.6$.

У спорадических метеороидов значения q и e практически не влияют на распределение по наклонениям i .

На рис. 11 приведены двумерные распределения орбит потоковых (А) и спорадических (Б) метеороидов по q и e в различных диапазонах накло-

нений i . В поле каждого распределения показано одномерное распределение орбит по перигелийным расстояниям. Соответствующие одномерные распределения эксцентриситетов приведены на рис. 7.

Мак-Кроски и Позен (1961), анализируя распределения фотографических метеороидов по q , пришли к заключению, что для выборки, включающей и потоковые, и спорадические метеороиды, численность их растет приблизительно по линейному закону относительно q . У мелких спорадических метеороидов такая закономерность проявляется, если рассматривать всю выборку

Таблица 4. Соотношение количества потоковых и спорадических метеоров и метеорных тел, принадлежащих к “плоской” и сферической составляющей

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметр	$\frac{N_{sh}}{N_{sp}}$	$\frac{P_{sh}}{P_{sp}}$	$\frac{N_{sh}}{N_{all}}$	$\frac{P_{sh}}{P_{all}}$	$\frac{N^{sph}}{N^{pl}}$	$\frac{P^{sph}}{P^{pl}}$	$\frac{N_{sh}^{pl}}{N_{sp}^{pl}}$	$\frac{P_{sh}^{pl}}{P_{sp}^{pl}}$	$\frac{N_{sh}^{pl}}{N_{sp}}$	$\frac{P_{sh}^{pl}}{P_{sh}}$
Оценка	1.52	0.32	0.60	0.24	5.67	16.32	7.39	4.67	0.22	0.20

(рис. 11Б, верхний график). Однако это сходство, вероятно, является случайным, поскольку линейный рост численности определяется вкладом орбит с обратным движением, которые в выборке Мак-Кроски и Позен (1961) практически отсутствуют.

Для потоковых мелких метеороидов распределение перигелийных расстояний при $i < 30^\circ$ в общих чертах согласуется с распределением потоковых метеороидов Мак-Кроски и Позен (1961), однако острый максимум при $q \approx (0.1-0.15)$ а. е. отсутствует.

Аналогичные распределения более крупных метеороидов анализировались Кашеевым и др. (1967). Был сделан вывод, что двумерное распределение (q, e) почти равномерное, а сгущение при $0.8 < e < 1.0$ и $0 < q < 0.2$ обусловлено потоками Геминид Ариетид и δ Акварид. Если первый вывод не подтверждается для мелких метеороидов, то справедливость второго подтверждается распределениями рис. 11А.

Общий вывод из анализа двумерных распределений (q, e) повторяет то, что отмечено выше для двумерных распределений других параметров орбит: распределения спорадических метеороидов мало зависят от наклонов орбит, тогда как у потоковых метеороидов в различных сечениях по i они резко отличаются.

Лебединец (1980) отмечает, что “плоская” составляющая комплекса орбит метеорных тел ($i < 35^\circ$, $a < 5$ а. е., $q < 0.3$ а. е., $e > 0.7$) вблизи орбиты Земли формируется в основном за счет потоковых метеоров, родительскими телами которых являются короткопериодические кометы. “Сферическая” составляющая (произвольные наклоны, приблизительно равномерное распределение по q , рост численности орбит при изменении эксцентриситета от 0.1 до 1) формируется спорадическими метеорными телами, образующимися в результате распада долгопериодических комет, однако их орбиты уже сильно трансформированы под действием эффекта Пойнтинга-Робертсона. Можно заметить, что эти типы орбит хорошо согласуются с орбитами типа “б” и “а” соответственно по классификации Уиппла (1954), который отмечает, что по орбитам типа “б” (“плоская” со-

ставляющая) движется в 4–5 раз больше метеорных тел, чем по орбитам типа “а” (“сферическая” составляющая). В табл. 4 приведены некоторые оценки. Здесь нижний индекс определяет массив орбит, к которому относятся соответствующая оценка: sh – метеоры или метеорные тела, принадлежащие к потокам или ассоциациям, sp – спорадические метеоры или метеороиды, all – массив, включающий те и другие. Напомним, что массив all включает приблизительно 70% из 119236 орбит банка орбит Харьковского технического университета радиоэлектроники. Не вошедшие в него метеоры многошаговой процедурой кластер-анализа, описанной Волощуком и др. (1995), не были отнесены ни к той, ни к другой группе (приблизительно 25%), еще 5% орбит отсеяны по правилам, описанным выше.

Верхние индексы sph и pl указывают на составляющую – “сферическую” или “плоскую” – комплекса метеорных орбит. Из приведенных выше признаков, по которым орбита может быть отнесена к тому или другому типу, ясно, что “плоская” составляющая может быть выделена из массивов орбит, чего нельзя сказать о “сферической”. В первом приближении оценить вклад последней можно по формуле

$$N^{sph} = N_{sh} + N_{sp} - N^{pl} \quad (4)$$

для численности метеоров или заменой N на P для метеороидов. Очевидно, при этом мы пренебрегли тем, что между “плоской” и “сферической” составляющими нет и не может быть четкой границы. Кроме того, (4) предполагает, что весь комплекс орбит состоит только из двух компонент, что тоже далеко не очевидно. Наконец, мы вынуждены принять, что приблизительно 30% описанных выше орбит, если и искажают результаты, приведенные в табл. 4, то общие закономерности сохраняются.

В первых двух колонках приведены оценки отношения количества потоковых и спорадических метеоров и метеорных тел. Если количество орбит потоковых метеоров в 1.52 раза превышает количество орбит спорадических, то учет факторов селективности, в первую очередь, переход к плотности потока метеороидов с массами выше некоторой фиксированной массы, привел к тому,

что количество спорадических метеороидов в 3 раза превышает количество потоковых. Из оценок, приведенных в 3 и 4 колонках таблицы, вытекает, что потоковые радиометеоры составляют 60% всех классифицированных объектов, тогда как потоковые метеороиды – только 24%.

Данные колонок 5 и 6 указывают на то, что среди радиометеоров орбит “сферической” составляющей приблизительно в 5–6 раз больше, чем орбит “плоской”. Переход к плотности потока метеорных тел с массами больше 10^{-5} г увеличивает эту оценку до 16.3. Этот результат находится в явном противоречии с оценкой Уиппла (1954). Справедливости ради следует отметить, что по его классификации в характеристике орбит типа “б” отсутствует ограничение на перигелийное расстояние, как у Лебединца (1980), однако и в этом случае мощность “сферической” составляющей существенно превосходит мощность “плоской”. Эта особенность распределения орбит мелких метеороидов объяснена Лебединцем (1980).

В колонках 7 и 8 приведены оценки относительного количества орбит “плоской” составляющей потоковых и спорадических метеоров и метеороидов. Как и следовало ожидать, число таких среди потоковых метеоров и метеороидов существенно выше, чем у спорадических, хотя утверждение Лебединца (1980) о том, что по орбитам “плоской” составляющей движется большинство метеорных тел потоков и ассоциаций, не подтверждается. Доказательством этому могут служить оценки, приведенные в 9 и 10 колонках. Кстати, из 501 потока, которые Волощук и др. (1995) использовали в качестве обучающей выборки при кластер-анализе (275 средних орбит потоков из каталога Секанины (1976), 195 орбит из списка Кащеева и др. (1967) и 31 орбита Лебединца (1980)), 65 принадлежат “плоской” составляющей, что составляет 13%. Если учесть, что потоки, отнесенные к “плоской” составляющей, в среднем являются более мощными, согласие с данными таблицы можно считать хорошим.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главный вывод из результатов анализа распределений элементов орбит и радиантов метеороидов с массами больше 10^{-5} г, пересекающих сферу радиусом 1 а. е. вокруг Солнца, состоит в том, что все аналогичные распределения потоковых и спорадических метеорных тел резко отличаются друг от друга. Связано это, во-первых, с происхождением тех и других (этот вопрос подробно рассмотрен в следующей статье данного цикла) и, во-вторых, с возрастом потоковых и спорадических метеороидов. Тот факт, что распределения спорадических метеороидов менее структурированы (имеют большую энтропию, т.е. распределения близки к равномерным) свиде-

тельствует о том, что процессы эволюции их орбит под воздействием гравитационных и негравитационных сил уже сильно трансформировали их орбиты. Оценки вклада потоковых и спорадических метеороидов в комплекс метеорных тел Солнечной системы – плотность потока спорадических метеороидов в 3 раза превышает соответствующую оценку для потоковых метеороидов – указывает на то, что превышение численности потоковых метеоров является следствием селективности методов наблюдений и в первую очередь влияния астрономического фактора.

Настоящая работа выполнена в рамках фонда фундаментальных исследований Национального космического агентства Украины № 09.03.08 “Метеороид”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев Г.В. Учет влияния астрономической селекции на структурные характеристики метеорных потоков // Астрон. вестн. 1984. Т. 18. № 3. 240–248.
- Белькович О.И. Астрономическая селекция при наблюдениях метеоров и методы ее учета // Астрон. вестн. 1983. Т. 17. № 2. С. 108–115.
- Бронштэн В.А. К вопросу об учете астрономической селекции при обработке наблюдений метеоров // Астрон. вестн. 1983. Т. 17. № 3. С. 175–182.
- Висенте (Vicente R.O.). Stability and Origin of the Minor Bodies of the Solar System. Stability of the Solar System and its Minor Natural and Artificial Bodies. 1985. P. 65–79.
- Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л., Кручиненко В.Г. Метеоры и метеорное вещество. Киев: Наук. думка, 1989. 296 с.
- Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л., Подоляка В.А. Метеорный комплекс вблизи орбиты Земли: спорадический фон, потоки, ассоциации. 1. Методика выделения потоков и ассоциаций из выборки орбит индивидуальных метеоров большого объема // Астрон. вестн. 1995. Т. 29. № 5. С. 1–11.
- Кащеев, Волощук (Kashcheyev B.L., Voloshchuk Yu.I.). Structure of Complex Meteor Orbits Near Earth's Orbit // Turk. J. Physics. 18. № 9. 1994. P. 831–837.
- Кащеев Б.Л., Волощук Ю.И., Ткачук А.А. и др. Метеорная автоматизированная радиолокационная система // Метеорные исследования. М., № 4. 1976. С. 11–61.
- Кащеев Б.Л., Лебединец В.Н., Лагутин М.Ф. Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: Наука, 1967. 260 с.
- Крамер Е.Н., Шестака И.С. Метеорная материя в атмосфере Земли и околоземном космическом пространстве. М.: Наука, 1983. 184 с.
- Кресак (Kresak L.). Relation of Meteor Orbits to the Orbits of Comets and Asteroids. Smithsonian. Contribs. Astrophys. 1967. V. 11. P. 9–34.

- Лебединец В.Н. Пыль в верхней атмосфере и космическом пространстве. Метеоры. Л.: Гидрометеониздат, 1980. 247 с.
- Мак-Кроски, Позен (McCrosky R.E., Posen A.). Orbital Elements of Photographic Meteors. *Smithson. Contribs. Astrophys.* 1961. V. 4. № 2. P. 15–84.
- Секанина (Sekanina Z.). Statistical Model of Meteor Streams. IV. A Study of Radio Streams from the Synoptic Year // *Icarus*. 1976. V. 27. P. 265–321.
- Уиннл (Whipple F.L.). Photographic Meteor Orbits and their Distribution in Space // *Astron. J.* 1954. V. 59. № 6. P. 201–217.
- Эпик (Opik E.J.). Collision Probabilities with Planets and the Distribution of interplanetary Matter // *Proc. Roy. Irish Acad.* 1951. V. A54. № 12. P. 165–169.
- Яккия, Уиннл (Jacchia L.G., Whipple F.L.). Precision Orbits of 413 Photographic Meteors. *Smithson. Contribs. Astrophys.* 1961. V. 4. № 4. P. 97–129.

The Meteor Complex near the Earth's Orbit: Sporadic Background, Streams, and Associations. II. A Comparative Analysis of Some Statistical Characteristics of Stream and Sporadic Meteoric Bodies

Yu. I. Voloshchuk and B. L. Kashcheev

Khar'kov State Technical University of Radioelectronics, Khar'kov, Ukraine

In the preceding paper of this cycle (Voloshchuk *et al.*, 1995), a technique for the selection of meteoroid streams from large samples was described. From a sample comprising 119 236 radiometeor orbits, 4156 clusters with filling factors $N > 6$ were selected, 3118 of them having $N > 10$. It was found that 52932 meteors belong to the class that is characterized by orbits grouped together in the space of the orbital elements with high probability, and 36979 meteors were classified as sporadic ones. In this study, the distributions of the characteristics of the meteors of both types are analyzed after their correction for the geometric, the instrumental, the physical, and the astronomical perception coefficient. In other words, the distributions of meteoroids with masses exceeding 10^{-5} g, which cross the sphere of radius 1 AU centered at the Sun, are studied. It is shown that stream and sporadic meteoroids differ sharply in the radiant distributions, as well as in the one-, two-, and three-dimensional distributions of the orbital elements. This difference is primarily due to their origin. Estimates are given for the ratios between stable and unstable orbits and between the plane and the spherical component of the small-meteoroid complex in the Solar System.