

УДК 523.53

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТЕОРНЫХ ТЕЛ ПО МАССАМ В НЕКОТОРЫХ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКАХ

*Нарзиев М.<sup>1</sup>*

THE DISTRIBUTION OF MASS METEOR BODIES IN METEOR SHOWERS

Narziyev M.

In this paper, we have used the radar observations of May daytimes meteor showers:  $\delta$ -Aquarids,  $\sigma$ -Cetids, Piscids,  $\nu$ -Piscids, May Arietidy and night-times meteor showers: Geminid, the northern and southern  $\delta$ -Aquarids,  $i$ -Aquarids and Quadrantids in 1968–1980 in GisAO. It was found that the numerical values of the  $S$  parameter for the showers meteoroids vary from 1.4–1.9, and meteor streams with a common origin have similar values of the parameter  $S$ .

Keywords: meteoroids, daytime showers, night-time showers, fragmentation, the mass distribution.

Исследование структуры метеорных потоков и особенно распределения метеорных тел по массам (параметр  $S$ ) относится к важнейшим пространственно-временным характеристикам, как метеорных потоков, так и спорадического фона. Данные о распределении метеорных тел по массам представляют большие научные и практические значимости, и в том числе, для определения притока метеорного вещества и знания метеорной обстановки в околоземном пространстве.

Параметр  $S$  в случае оптических наблюдений определяется по интегральным распределениям, по массам, вычисленным по кривым блеска метеоров. А в случаях радиолокационных наблюдений, параметр  $S$  для спорадического фона и некоторых из известных главных ночных метеорных потоков, определялся по интегральным распределениям метеоров по амплитудам или длительностям радиоэхо [1–4]. При этом, параметр  $S$  определялся по общему количеству измеренных длительностей метеоров потока плюс фон, считая, что количество метеоров спорадического фона не оказывает существенное влияние на определение конечных результатов.

Однако, при определении параметра  $S$  по результатам радиолокационных наблюде-

ний метеоров с одного пункта не учитывалось влияние дробления и других фактов на формирование кривой ионизации метеора и предполагалось, что: а) отражение радиоволн от метеорных следов происходит от области максимальной ионизации; б) масса метеорных тел пропорциональна их измеренным значениям длительностей или величины амплитуды отраженных сигналов; и в) распределение метеорных тел по массам тождественно распределениям метеорных тел по длительностям или амплитудам отраженных радиоэхо. Но приемлемость подобных допущений нуждается в экспериментальных подтверждениях.

Для убеждения в надёжности и достоверности полученных данных о распределении метеорных тел по массам, необходимо определить параметр  $S$  по одним и тем же массивам наблюдений, позволяющим одновременно определить параметр  $S$  как по интегральным распределениям метеоров по длительностям радиоэхо, так и по вычисленным значениям масс по кривым ионизации метеоров, отделяемых от спорадического фона по координатам радиантов, скоростей и элементов орбит. В целом параметр  $S$  для метеорных потоков по вычисленным значениям масс ме-

<sup>1</sup>Нарзиев Мирхусен, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник метеорного отдела Института астрофизики АН Республики Таджикистан; e-mail: mirhusseyn\_narzi@mail.ru.

теорных тел по кривым ионизации вообще не был изучен.

Для исследования параметра  $S$  в метеорных потоках и проверки обоснованности выше перечисленных допущений при определении параметра  $S$  использованы результаты базисных радиолокационных наблюдений ряда известных главных ежегодных метеорных потоков с 4–5 пунктов в ГисАО Института астрофизики АН РТ на радиокomплексе МИР-2 [5].

Сначала ограничимся рассмотрением вышеупомянутых предположений. При этом использованы около 700 ионизационных кривых метеоров, полученных по результатам базисных радиолокационных наблюдений метеоров в ГисАО в 1976–1980 гг.

Результаты анализа месторасположения зеркальной точки на ионизационных кривых метеоров показали, что высоты зеркального радиоотражения в среднем расположены на  $0,4 \pm 0,8$  км ниже, чем высоты максимальной ионизации, а среднее значение отношения линейной электронной плотности в точке максимума  $q_m$  и в зеркальной точке  $q$  составляет  $q_m/q = 1,08$ . Эти результаты позволяют в качестве исходного выражения для определения значения линейной электронной плотности в отражающей точке (следовательно, и массы метеороида) использовать формулы, полученные для определения массы метеороида по величине линейной электронной плотности на высоте максимальной ионизации.

Исходные выражения для определения линейной электронной плотности для метеорных следов переуплотненного типа и массы метеороида без учета влияния дробления и других факторов на формирование кривой ионизации имеют вид [6, 7]

$$q = \frac{\left(\tau + \frac{r^2}{4D}\right) D}{A\lambda^2}, \quad (1)$$

$$A = \frac{e^2}{4\pi^2} mc^2, \quad (2)$$

$$m_o = \frac{9q_m \mu H^* \xi^3}{4\beta \cos Z_r},$$

$$\xi = \frac{Q - \frac{2}{3}Q_n}{Q - Q_n},$$

где  $\tau$  — длительность отражения,  $\lambda$  — длина волны,  $e$ ,  $m$  — заряд и масса электрона,  $c$  — скорость света,  $r$  — начальный радиус следа

и  $D$  — коэффициент амбиполярной диффузии,  $m_0$  — начальная масса метеорного тела,  $\beta$  — коэффициент ионизации,  $Z_r$  — зенитное расстояние радианта,  $\mu$  — масса атома метеорного вещества,  $H^*$  — высота однородной атмосферы,  $Q_n$  — энергия, необходимая для нагревания 1 г метеорного вещества до температуры испарения,  $Q$  — энергия, необходимая для нагревания и испарения 1 г метеорного вещества. Уравнение (1) справедливо тогда, когда уменьшение электронной концентрации в следе происходит только вследствие амбиполярной диффузии. Согласно [8] длительность радиоэхо, с учетом прилипания электронов к нейтральным частицам, турбулентной диффузии и фотоотлипания, для метеоров наблюдаемых в ночное  $\tau_n$  и дневное время  $\tau_d$  определяется выражениями

$$\tau_n = \left[ \frac{3D}{\omega} \left( \tau e^{-k\tau_n} \right) \right]^{1/3} + t, \quad (3)$$

$$\tau_d = \left[ \frac{3D}{\omega} \left( \frac{\tau J}{J+k} - t \right) \right]^{1/3} + t, \quad (4)$$

где  $t$  — постоянная времени мелкомасштабных вихрей,  $\omega$  — удельная энергия диссипации атмосферных вихрей и  $k$  — скорость прилипания.

Учитывая, что  $q_m = q_1$  с учетом (3) и (4) и поправочного коэффициента  $K = 3 \pm 2$ , полученных в [6] (с учетом дробления и других факторов, влияющих на формирование кривой ионизаций), исходные формулы для вычисления масс метеорных тел по измеренным значениям длительности в ночное  $\tau_n$  и дневное время суток  $\tau_d$  получим

$$m_n = \frac{3\mu H^* \xi^3}{4A\lambda^2 \beta} \left\{ \left[ \frac{\omega}{4D} (\tau_n - t)^3 + t \right] e^{kt} + \left( \frac{r^2}{4D} \right) D \right\}, \quad (5)$$

$$m_d = \frac{3\mu H^* \xi^3}{4A\lambda^2 \beta} \left\{ \left[ \frac{\omega}{3D} (\tau_d - t)^3 + t \right] \frac{J+k}{\tau_d J} + \left( \frac{r^2}{4D} \right) D \right\}. \quad (6)$$

Формулы (5) и (6) позволяют на основе измеренных значений длительности радиоэхо с учетом дробления и процессов деионизации вычислить массу метеоров, наблюдаемых в дневное и ночное время суток.

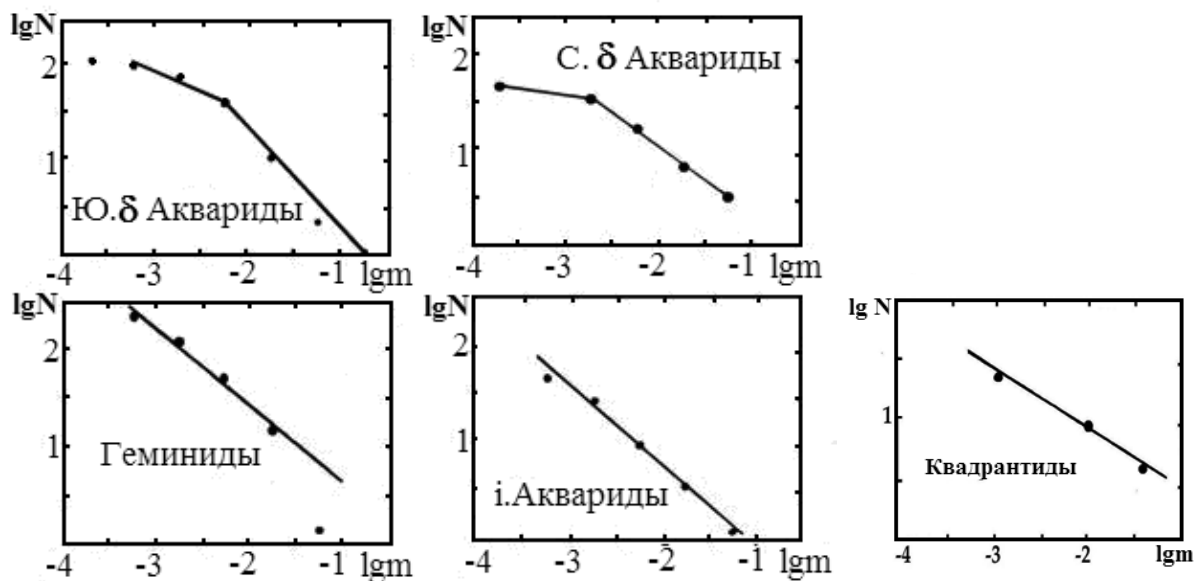


Рис. 1. Интегральное распределение метеорных тел по массам в некоторых ночных метеорных потоках

Для определения масс поточных метеороидов из отдельных циклов радиолокационных наблюдений метеорных потоков использованы результаты базисных радиолокационных наблюдений метеоров, наблюдаемых в период действия ночных потоков таких как Геминиды, Квадрантиды,  $\delta$ -Аквариды и  $i$ -Аквариды в 1976–1980 гг., данные радиолокационных наблюдений метеоров, полученных в период действия потока Геминид в 1968 г. и наблюдательный материал с 6 по 12 мая с 4-х пунктов в 1969 г. в ГиссАО. При этом на основании первичных наблюдательных данных для каждого метеора измерялись  $\tau$  — длительность радиоэхо,  $R$  — дальность до метеорного следа,  $\Delta d$  — разность дальностей между центральным и выносным пунктами,  $\Delta t_i$  — разность времени полёта между центральным и выносным пунктами. По результатам измерения первичных данных и их обработки для каждого метеора определены  $h$  — высоты зеркальной отражающей точки центрального пункта,  $A, Z$  — координаты отражающей точки,  $\alpha_r, \delta_r$  — координаты радианта  $V$ -скорости импульсно-дифракционным [7] и пеленгационно-временными методами [9].

Отбор метеоров, принадлежащих потокам, проводился по координатам радиантов и скоростям, а для потоков с северными и южными ветвями по их элементам орбит [10]. Общее количество метеоров, принадлежа-

щих известным потокам, составляют: 220 — Геминиды, 23 — Квадрантиды, 41 — Северные  $\delta$ -Аквариды, 103-Южные  $\delta$ -Аквариды, 89 —  $i$ -Аквариды, 100 —  $\eta$ -Аквариды, 27 —  $\gamma$ -Пегасиды, 106 —  $\nu$ -Писциды, 91 —  $o$ -Цетиды, 49 — С.М. Ариэтиды, 36 — Ю.М. Ариэтиды. Для вычисления значения  $r, D$  и  $k$  нами использованы формулы приведенные в [6].

Определяя из наблюдений  $q_m, N^*, \cos Z_r$ , скорость  $V$  и принимая  $\mu, Q, Q_n$  постоянными (причем  $\mu = 3,82 \cdot 10^{-23}$  г,  $Q = 8 \cdot 10^{10}$  эрг/г,  $Q_n = 2 \cdot 10^{10}$  эрг/г) по формулам (5), (6) нами вычислены начальные массы метеорных тел для каждого метеорного потока.

Анализ вычисленных значений масс метеороидов показывает, что их значения для метеорного потока  $\eta$ -Аквариды заключаются в диапазоне  $10^{-4} \div 10^{-1}$  г.,  $o$ -Цетиды в интервале  $10^{-4} \div 10^{-1}$  г.,  $\nu$ -Писциды в диапазоне  $5, 10^{-4} \div 5, 10^{-1}$  г.,  $\gamma$ -Пегасиды в интервале  $10^{-4} \div 5, 10^{-1}$  г., майские Ариэтиды  $5, 10^{-4} \div 10^{-1}$  г.

Максимум распределения метеорных тел по массам для  $\eta$ -Аквариды находится в диапазоне  $10^{-3} \div 5, 10^{-2}$  г., для  $\nu$ -Писциды  $10^{-2} \div 5, 10^{-2}$  г., для  $o$ -Цетиды  $10^{-3} \div 5, 10^{-3}$  г.,  $\gamma$ -Пегасиды  $10^{-3} \div 5, 10^{-3}$  г., майские Ариэтиды  $5, 10^{-3} \div 10^{-2}$  г.

Максимум распределения для ночных метеорных потоков Северных и Южных  $\delta$ -Акварид находится в интервале  $5 \cdot 10^{-3} \div 10^{-2}$  г., у метеорных потоков Се-

Таблица 1. Параметр  $S$  для ряда ночных метеорных потоков

Потоки	$S$ по различ. источникам				
	Наст. работа	[4]	[2]	[3]	[1]
С. $\delta$ -Аквариды	1,76	–	–	–	–
Ю. $\delta$ -Аквариды	1,7	–	–	–	–
Геминиды	1,8	1,7	1,7	1,6–1,9	1,7
Квадрантиды	1,6	1,8	1,6–1,8	–	–
$i$ -Аквариды	1,86	–	–	–	–

верных  $i$ -Акварид  $10^{-2} \div 5 \cdot 10^{-2}$  г. и Южных  $i$ -Акварид  $5 \cdot 10^{-3} \div 10^{-2}$  г.

На основе вычисленных значений масс метеоров нами для каждого метеорного потока построена гистограмма интегрального распределения метеоров по массам. Графики интегрального распределения метеорных тел по массам в некоторых ночных и дневных метеорных потоках приведены на рис. 1 и 2. Однако из данных, приведенных как для ночных, так и дневных метеорных потоков наблюдаются кривые с изломом.

Из данных, представленных для метеорных потоков, следует, что графики зависимости  $\lg N$  от  $\lg m$  имеют в целом три вида. Для первого вида распределения в зависимости  $\lg N$  от  $\lg m$  характерно линейное уменьшение масс частиц. К этим группам относятся метеорные потоки Геминиды,  $i$ -Аквариды, Пегасиды и Северные майские Ариэтиды. Ко второй группе распределения относятся кривые с одним резко выраженным изломом. К этим группам кривых относятся метеорные потоки Северные и Южные  $\delta$ -Аквариды, Писциды,  $\nu$ -Писциды и Южные майские Ариэтиды. К третьему виду кривых распределения по массам относятся кривые с двумя изломами. К этим группам распределений относится дневной метеорный поток  $\eta$ -Аквариды и  $\sigma$ -Цетиды. Излом в области меньших масс может обуславливаться чувствительностью аппаратуры. Поэтому, нами для определения параметра  $S$  использована область наиболее статистической обеспеченности масс метеороидов  $10^{-3}$ – $10^{-1}$  г. Далее зависимость  $\lg N$  от  $\lg m$  для каждого линейного участка кривых, можно представить в виде

$$\lg N = a - b \lg m,$$

где  $a = \text{const}$ ,  $b$  — показатель интегрального закона распределения по массам, и методом наименьших квадратов найдены величины  $a$  и  $b$  для каждого потока. Результаты определения параметра  $S$  отдельно для ночных и

дневных метеорных потоков представлены в табл. 1 и 2.

В [3] структуры метеорных потоков Квадрантиды, Геминиды и Персеиды были исследованы по результатам систематических радиолокационных наблюдений метеоров за 1965–1973 гг.

Среднее значение параметра  $S$ , найденного для метеорного потока Геминиды автором за указанный период составляет 1,68. Такое значение параметра  $S$  для Геминид получено и нами по интегральным распределениям метеоров по массам для этого же периода наблюдений за 1968 г. Этот факт говорит о надежности результатов определения параметра  $S$  по интегральным распределениям метеорных тел по длительностям радиоэхо, вычисленных с учетом процессов деионизации и дробления метеороидов.

Согласно данным, приведенным в табл. 1, значения параметра  $S$  для ночных метеорных потоков неоднозначно и заключается в интервале  $1,6 \div 1,8$ . Причем, почти одинаковые значения параметра  $S$  имеют метеорные потоки Северные и южные  $\delta$ -Аквариды, которые принадлежат одному метеороидному рою. Близкие значения параметра  $S$  имеют и дневные метеорные потоки  $\sigma$ -Цетиды и Писциды, представляющие Северную и Южную ветви метеорного потока одного роя.

Согласно данным, представленным в табл. 2, параметр  $S$  для дневных метеорных потоков заключается также в широком диапазоне от 1,4 до 1,9.

### Выводы

1. На основании результатов базисных радиолокационных наблюдений метеоров в ГиссАО определены массы метеорных тел в метеорных потоках.

2. Впервые на основе вычисленных масс метеороидов для метеорных потоков  $\delta$ -Аквариды, Квадрантиды, Геминиды,  $i$ -

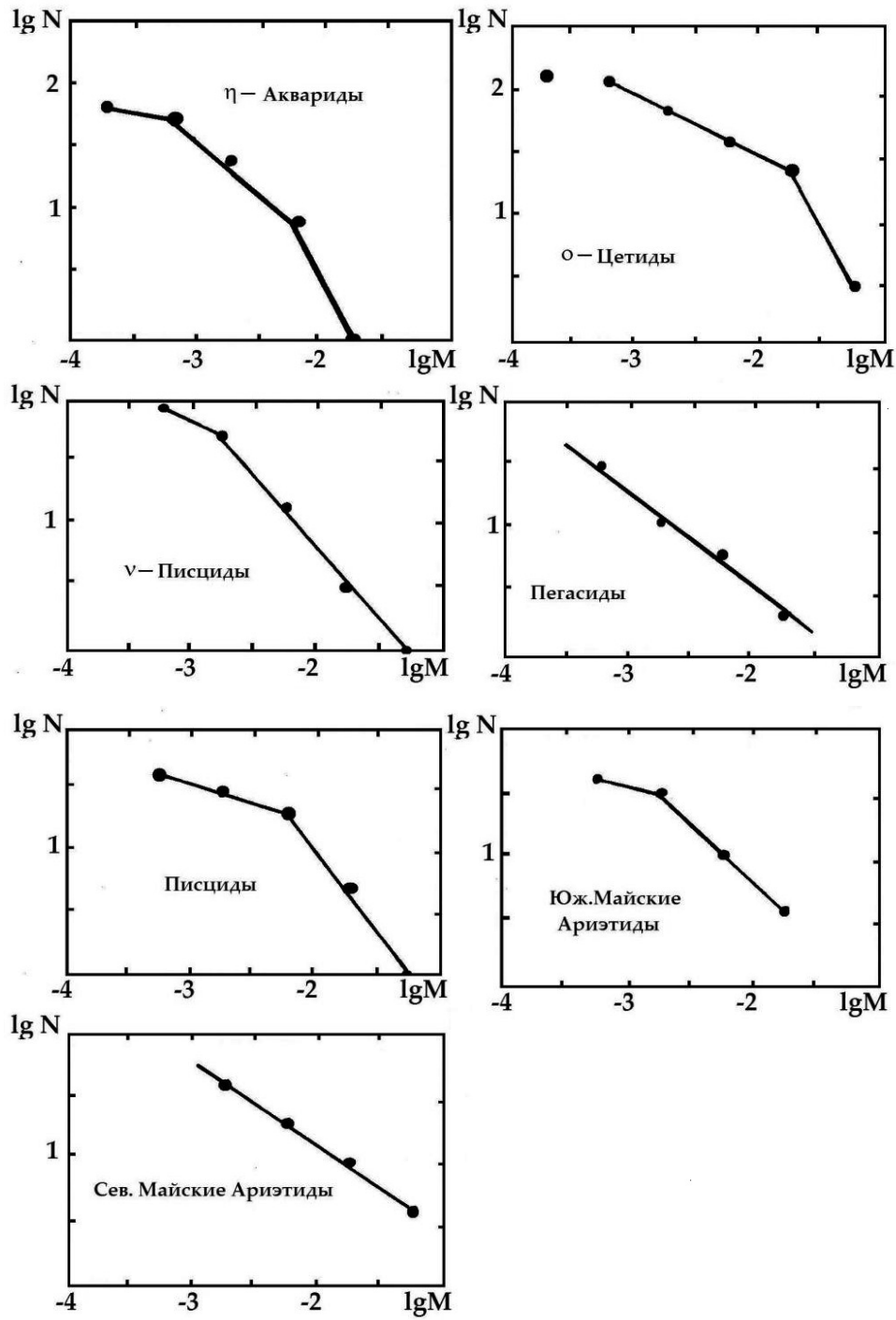


Рис. 2. Интегральное распределение метеорных тел по массам в некоторых майских дневных метеорных потоках

Таблица 2. Параметр  $S$  в некоторых дневных метеорных потоках

Потоки	$S$	Потоки	$S$
$\eta$ -Аквариды	1,8	Писциды	1,4
$o$ -Цетиды	1,4	С.М. Ариэтиды	1,7
$\nu$ -Писциды	1,8	Ю.М. Ариэтиды	1,8
$\gamma$ -Пегасиды	1,6		

Аквариды и майских дневных метеорных потоков  $\eta$ -Аквариды,  $\alpha$ -Цетиды, Писциды,  $\nu$ -Писциды и Ариэтиды определен параметр  $S$ . Выяснено, что параметр  $S$  для метеорных потоков заключен в интервале  $1,4 \div 1,9$ .

3. Определено, что метеорные потоки северных и южных  $\delta$ -Аквариды имеют одинаковый параметр  $S$ , что свидетельствует об их принадлежности к одному метеороидному рою и общности их происхождения.

### Литература

1. Андреев Г. В., Рубцов Л. Н., Рябова Г. О. Структурные характеристики метеорных потоков по радионаблюдениям на  $\lambda = 10$  м / В сб. «Метеорное вещество в межпланетном пространстве». Казань: Изд-во КГУ, 1982. С. 129–130.
2. Исамутдинов Ш. О. Автореф. дис. . . . канд. физ.-мат. наук. Душанбе. 1973. 20 с.
3. Белькович О. И., Тохтаев В. С., Сулеймонов Н. И. Некоторые структурные особенности метеорных потоков Геминид и Квадрантид / В кн. Взаимодействие метеорного вещества с Землей и оценка притока метеорного вещества на Землю и Луну. Душанбе: Из-во Дониш, 1975. С. 93–99.
4. Светашкова Н. Т. Характеристики падающего потока в эпохи действия метеорных потоков Квадрантид и Леонид. Метеорное вещество в межпланетном пространстве. Казань: Изд-во КГУ, 1982. С. 102–103.
5. Чеботарев Р. П., Сидорин В. Н., Полушкин Г. А. и др. Комплекс аппаратуры для радиолокационных исследований метеоров в Душанбе // Бюлл. Института астрофизики АН Тадж. ССР. 1970. № 55. С. 25–28.
6. Бибарсов Р. Ш., Нарзиев М., Чеботарев Р. П. Определение масс и плотностей метеорных тел по радиолокационным наблюдениям с одного пункта // Астрономический вестник. 1990. Т. 24. № 4. С. 326–332.
7. Лебединцев В. Н. Пыль в верхней атмосфере и космическом пространстве. Метеоры. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 246 с.
8. Бибарсов Р. Ш. Влияние процессов деионизации на длительность метеорного радиоэхо // Бюлл. Ин-та астрофизики АН Тадж. ССР. 1970. № 55. 1970. С. 3–9.
9. Чеботарев Р. П. Возможности пеленгационно-временного радиометода определения радиантов и скоростей индивидуальных метеоров // Кометы и метеоры. 1976. № 24. С. 19–27.
10. Нарзиев М. Исследование метеорных потоков и ассоциации по результатам радиолокационных наблюдений в Таджикистане // Вестник СибГАУ. Вып. 6(39). С. 99–104.

Ключевые слова: метеорные тела, дневные потоки, ночные потоки, дробление, распределение по массам.

Статья поступила 5 октября 2013 г.

Институт астрофизики АН Республики Таджикистан, г. Душанбе

© Нарзиев М., 2013