

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКА СОВМЕСТНЫХ ФОТО-РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ МЕТЕОРОВ В ТАДЖИКИСТАНЕ

### Введение

Общепризнано, что одним из наиболее перспективных методов исследования явления метеора в Земной атмосфере являются одновременные оптические (фотографические, электронно-оптические, видео и телевизионные) и базисные радиолокационные наблюдения одних и тех же метеоров. При комбинированном методе наблюдений метеоров существенно расширяется объем полученной информации, необходимой не только для изучения вопросов физико-кинематических и динамических характеристик метеоров, но и появляется возможность исследовать физико-химические процессы, происходящие при взаимодействии метеорного тела с Земной атмосферой.

Исходя из ценности и важности результатов оптико-радиолокационных наблюдений метеоров в решении прикладных и теоретических задач метеорной физики, геофизики, области исследования космического пространства в последние два десятилетия в ряде обсерваторий научно-исследовательских учреждений таких стран мира, как США, Канада, Япония и страны Европы и т.д., были организованы и проведены одновременные оптико-радиолокационные наблюдения метеоров [1 – 5]. Такие наблюдения впервые были проведены в СССР в Таджикистане [6], где в результате получено 7 общих совместных метеоров со скоростями  $60,1 \div 71,6$  км/с и звездной величиной от  $-2,4^m$  до  $-7,0^m$ .

Что касается данных, полученных по результатам одновременных радио-оптических наблюдений, то они в основном относятся к метеорам слабее  $+1$  абсолютной звездной величины. Единственный яркий болид, завершившийся падением, метеорит Гринсби, который зарегистрирован комплексом радио-оптических и сейсмических аппаратур, имеет звездную величину  $-14,8^m$  [1]. Следовательно, представляет интерес накопление наблюдательных материалов по результатам одновременных радио-оптических наблюдений метеоров, охватывающих метеоры ярче  $+1$  абсолютной звездной величины в широком диапазоне скоростей.

### Комплексная оптическая и радиолокационная наблюдательная аппаратура Института астрофизики АН РТ

Для всестороннего исследования метеорных явлений в Земной атмосфере в широком диапазоне звездных величин в метеорном отделе Института астрофизики АН РТ, начиная со второй половины двадцатого века, были поэтапно введены и внедрены в действие следующие оптические методы исследования метеоров: визуально-телескопические, фотографические, телевизионные и камеры болидной сети. Для исследования физико-кинематических характеристик метеороидов и изучения свойства Земной атмосферы в метеорной зоне силами сотрудников радио-телевизионной лаборатории метеорного отдела, были сконструированы три комплекса радиолокационной аппаратуры МИР-1, МИР-2, МИР-3 [7] и радиолокационный комплекс Горизонт [8]. На базе фотографических и радиолокационных аппаратур по ряду национальных и международных программ были организованы и проведены одновременные наблюдения за активностью метеорных потоков и спорадического фона. В результате базисных фотографических наблюдений метеорных потоков и спорадического фона было получено более 500 фотографических снимков, результаты фотометрической и астрометрической редукации опубликованы в [9].

### Поиск совместных метеоров по результатам фотографических и радиолокационных наблюдений

В настоящей работе на основании опубликованных данных в Сводном каталоге элементов орбит и кривых блеска метеоров, сфотографированных в Институте астрофизики АН РТ,

и данных первичных радиолокационных наблюдений метеоров, полученных на киноплёнке КН-4 на комплексе МИР-2 [7] за 1977-1980 гг. в ГисАО, произведен поиск одних и тех же метеоров, среди зарегистрированных одновременно фотографическими и радиолокационными аппаратами. При этом по данным, приведенным в каталоге, для каждого периода наблюдений проведен поиск наличия наблюдательного материала среди базы данных наблюдений, полученных на комплексе МИР-2. Далее для заданного периода радионаблюдений, совпадающих с периодом фотографических наблюдений, определены поправки на ход часов за каждые сутки, то есть построен график зависимости  $\Delta t$  за сутки. Далее с учетом поправок на время проведен поиск фотографических метеоров среди радиолокационных записей по первичным данным наблюдений на киноплёнке. Метеоры, совпадающие по времени полета за указанный период, занесены в специальный журнал первичной обработки. Фотографических метеоров, совпадающих по времени полета среди радиолокационных данных, оказалось более 40.

Следующий этап поиска общих фото-радиолокационных метеоров осуществлялся путем сопоставления радиолокационной дальности среди фотографических дальностей начала и конца следа. Для совместного метеора радиолокационная дальность должна находиться внутри или ближе к фотографическим дальностям начала и конца следа метеора, так как радиолокатор чувствительнее фотографических камер (он регистрирует метеоры ярче  $+7^m$  звездной величины). При этом по данным обработки первичного наблюдательного материала каждого фото-радиолокационного метеора в отдельном журнале записывался его номер, азимут, зенитное расстояние начала и конца следа метеора, дальности начала и конца следа по фотографиям, полученным на метеорном Патруле, расположенном рядом с радиолокационным комплексом МИР-2 в ГисАО.

Таблица 1

N	Дата (День, месяц и год)	Время в UT	$D_n$ (км)	$D_{от}$ (км)	$D_k$ (км)
7709533	12.08.77	11.950	132.6	128	124.3
770981	13.08.77	12.775	140.8	141.6	134.1
771033	13.08.77	12.968	141.1	141.9	135.1
781285с	13.08.78	12.964	114.3	108.0	94.2
790846а	30.07.79	29.863	117.5	125.0	106.5
800992в	12.08.80	11.882	125.0	115	111.5
801061в	13.08.80	12.915	129.1	120	117.0

Метеоров, выполняющих упомянутые требования, оказалось 7 штук. Данные об этих метеорах приведены в табл. 1: в первой колонке – номер метеора по каталогу, во второй – приведены дата, месяц и год наблюдений, в третьей – дата и время полета в долях суток, в четвертой колонке приведены дальность начала  $D_n$ , конца  $D_k$  и измеренная дальность радиолокационного по результатам радиолокационных наблюдений  $D_{от}$ .

Данные атмосферной траектории совместных фото-радиолокационных метеоров, вычисленные по результатам фотографических наблюдений, приведены в табл. 2. Здесь буквой N – обозначен номер метеора по каталогу,  $\alpha_r$  и  $\delta_r$  – координаты радианта,  $V_\infty$  – внеатмосферная скорость,  $Z_r$  – зенитное расстояния радианта,  $h_b$ ,  $h_m$  и  $h_e$  соответственно высоты начала, максимума, конца следа,  $M_m$  – абсолютная звездная величина на высоте максимума блеска метеора и в последнем столбике указана принадлежность метеора к метеорным потокам. Согласно данным, приведенным в таблице, абсолютная звездная величина совместных метеоров находится в диапазоне  $0^m \div -5.2^m$ . Причем 5 метеоров принадлежат метеорному потоку Персеиды, 1 относится к потоку  $\delta$  – Аквариды и 1 к спорадическому фону.

Таблица 2

N	$\alpha_r$	$\delta_r$	$V_\infty$	$\text{Cos } Z_r$	$h_b$	$h_m$	$h_e$	$M_m$	Классификация
7709533	52.3	46.1	60.8	0.486	106.6	94.2	81.9	-2.02	Персеид
770981	317.3	66.3	38.8	0.884	95.6	85.9	82.5	-4.8	Спорадический
771033	46.31	56.6	61.4	0.908	107.2	-	91.7	-2.3	Персеид
781285с	48.65	58.0	61.9	0.844	110.5	94.8	91.9	-3.2	Персеид
790846а	339.1	-16.0	42.7	0.573	93.8	83.8	78.0	-3.6	Ю.δ-Акварид
800992в	45.12	56.7	61.7	0.756	110.8	98.3	91.2	-5.2	Персеид
801061в	49.34	57.8	60.4	0.806	100.0	-	87.6	<-1	Персеид

Для определения значения абсолютной звездной величины на высоте точек радиоотражения на следе метеора по данным, представленным в каталоге, для каждого совместного метеора построен график кривой свечения (зависимость абсолютной звездной величины  $M$  от дальности и высоты). Далее, по измеренным значениям дальности радиоэхо  $D_{от}$ , и по кривой свечения на графике (зависимости  $D \approx f(M)$ ) определены значения абсолютной звездной величины для высоты радиоотражения каждого метеора.

Данные о высоте отражающей точки на следе совместных фото-радиолокационных метеоров, определяемых по результатам комбинированных наблюдений, приведены в табл.3, где  $N$  – номер метеора,  $V_\infty$  – внеатмосферная скорость,  $Z_r$  – зенитное расстояние радианта,  $h_{от}$  – высота отражающей точки,  $M_{от}$  и  $\tau_{от}$  соответственно – абсолютная звездная величина и измеренная длительность радиоэхо на радиолокатор МИР-2. Так как метеоры потока Персеиды дали поворотные следы, то есть радиоотражение от следа начато не с момента полета, а спустя некоторое время  $\Delta t$ , то измеренная длительность радиоэхо с пленки была исправлена поправкой [10]:

$$\Delta \tau = 11.1 \sin \nu \quad (1)$$

здесь  $\nu$  – угол между осью следа и плоскостью нормальной к лучу зрения радиолокатора.

Согласно данным, представленным в табл. 3, высоты отражающей точки на следе метеоров расположены в широком диапазоне от 89,0 км до 107,2 км. Следовательно, длительности радиоэхо для узкого диапазона звездной величины метеоров потока Персеиды отличаются друг от друга более чем в пять раз.

Таблица 3

N	$V$ км/с	$\text{Cos } Z_r$	$h_{от}$ (км)	$M_{от}$	$\tau$ (с.)
7709533	60,8	0,846	89,0	-1,9	23,0
770981	38,8	0,884	96,5	-2,13	0,68
771033	61,4	0,908	107,5	-1,5	4,05
781285 с	61,9	0,884	105,0	-2,0	4,2
790846 а	42,7	0,573	93,8	-0,5	5,3
800992 в	61,7	0,756	94,0	-3,4	35,0
801061 в	60,4	0,806	100,0	<-1,0	16,0

Измеренная абсолютная звездная величина для высоты точки радиоотражения метеоров находится в диапазоне  $0^m \div -3,4^m$ , а их соответствующая измеренная длительность радиоэхо находится в интервале  $0,68 \div 35$  с.

Таким образом, в результате поиска среди зарегистрированных данных фотографических и радиолокационных наблюдений в Таджикистане выявлены 7 совместных метеоров. Следовательно, представляет интерес поиск совместных метеоров, охватывающий широкий диапазон скоростей среди базы данных, включая односторонние фотографические снимки зарегистрированных в пункте ГисАО, где расположен комплекс МИР-2.

## Выводы

1. В результате фильтрации данных базисных фотографических наблюдений метеоров и первичных данных радиолокационных наблюдений в ГисАО за 1977 – 1980 гг. выявлены 7 совместных метеоров, одновременно зарегистрированных фотографическими и радиолокационными аппаратами.

2. Анализ данных атмосферной траектории совместных фото-радиолокационных метеоров показывает, что 5 метеоров принадлежат к метеорному потоку Персеиды, 1- к потоку  $\delta$ - Аквариды и один – к спорадическому фону.

3. По кривым свечения и данным радиолокационных измерений для высоты точки радиоотражения определены значения абсолютной звездной величины и длительности радиоэхо метеоров, которые заключаются в диапазоне  $0^m \div -3,4^m$  и  $0,68 \div 35$  с соответственно.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Международного Научно-Технического Центра по проекту T-2113.*

**Список литературы:** 1. *P. Brown, P. J. A. McCausland, M. Fries, E. Silber, W. N. Edwards, D. K. Wong, R. J. Weryk, J. Fries, and Z. Krzeminski.* The fall of the Grimsby meteorite – I: Fireball dynamics and orbit from radar, video, and infrasound records. *Meteoritics & Planetary Science* 1–25 (2011). 2. *Y. Fujiwara, M. Ueda, T. Nakamura, M. Tsutsumi.* Simultaneous observations of meteors with the radar and TV systems. *Earth, Moon, and Planets*, 1995. SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS), p.277-282. 3. *Nishimura K, Sato T, Nakamura T, Masayoshi A.* High Sensitivity Radar-Optical Observations of Faint Meteors. *IEICE TRANS. COMMUN.*, VOL. E84–C, NO. 12 DECEMBER, p. 1877-1884, 2001. 4. *Weryk Robert J, Brown Peter G.* Comparisons of Simultaneously detected radar and electro-optical meteors. *Meteoroids 2007 – Barcelona, June 11-15*, p. 19. 5. *Weryk, R.J., Brown, P.G.*, 2012. Simultaneous radar and video meteors – I: metric comparisons. *Planetary and Space Science* 62, 132–152. 6. *Бабаджанов П.Б.* Свечение и ионизация метеоров // ДАН СССР. – 1969. – Т.184, № 4. – С. 800-802. 7. *Чеботарев Р.П., Сидорин В.Н., Полушкин Г.А.* и др. Комплекс аппаратуры для радиолокационных исследований метеоров в Душанбе // Бюлл. Ин-та астрофиз. АН Тадж. ССР. – 1970. – № 55. – С. 25-28. 8. *Рубцов Л.Н., Лазарев Р.Г., Андреев Г.в., Алимов О.* Исследование параметров РЛС Гиссарской астрономической обсерватории для наблюдения слабых метеоров // Изв-я АН Таджикской ССР. – 1977. – № 3(65). – С.44-52. 9. *Сводный каталог элементов орбит и кривых блеска метеоров, сфотографированных в Институте астрофизики АН Таджикистана (Душанбе)* ; отв. ред. П.Б. Бабаджанов. – Душанбе : Дониш, 2006. – 208 с. 10. *Manning L.A.* *J. Geophys. Res.* – 1959. – 64, № 10. – P. 1415.

*Институт астрофизики  
Академия наук Республики Таджикистан*

*Поступила в редколлегию 20.03.2016*