

**Н.А. Куличенко, А.В. Шульга, Е.С. Сибирякова, Е.С. Козырев**

Научно-исследовательский институт «Николаевская астрономическая обсерватория»,  
ул. Обсерваторная, 1, Николаев, 54030, Украина, тел. +38 (0512) 47-70-14

## БАЗИСНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ МЕТЕОРОВ В г. НИКОЛАЕВЕ



В 2011 г. в НИИ «Николаевская астрономическая обсерватория» (НИИ «НАО») начаты наблюдения метеоров с использованием телевизионной техники. Метод регистрации метеоров основан на комбинированном методе наблюдений, разработанном в НИИ «НАО» [1]. Особое внимание уделено высокоточной астрометрии и расчету элементов орбит метеороидов. В 2013 г. запущены первые одновременные наблюдения метеоров двумя станциями с малой базой (< 20 км). Проведена оценка величин случайных погрешностей в вычислении экваториальных координат видимого радианта, геоцентрической скорости и элементов гелиоцентрической орбиты метеороида.

*Ключевые слова:* метеор, метеороид, комбинированный метод наблюдений.

К телескопическим относятся метеоры, наблюдаемые фотографическими или телевизионными системами, имеющими поле зрения  $<10^\circ$  (фокусное расстояние объектива  $>50$  мм) [2, 3]. Подавляющее большинство исследователей по всему миру (как любителей, так и профессионалов) используют системы с полями зрения  $>20^\circ$ , которые регистрируют, как правило, метеоры не слабее  $(2-3)^m$  [2]. В некоторых случаях применяются электронно-оптические преобразователи (*image intensifiers*), которые помимо усиления чувствительности системы выполняют также функцию масштабирования изображения и таким образом расширяют поле зрения [4]. Однако такие системы обладают рядом недостатков (высокая стоимость, инерционность, низкое пространственное разрешение). Поэтому в метеорных телескопах НИИ «НАО» электронно-оптические преобразователи не применялись. Для изучения метеоров слабее  $(2-3)^m$  перспективными оказались системы с малым полем зрения и, следовательно, с большим пространственным разрешением [5].

### ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Первые наблюдения метеоров в тестовом режиме были начаты в НИИ «НАО» в 2011 г. В 2013–2015 гг. проводились систематические наблюдения метеоров модернизированным комплексом метеорных телескопов с использованием телевизионных приборов с зарядовой связью (ПЗС) камер Watec. Для наблюдений были использованы оптические системы: объективы Canon 85  $f/1,8$  ( $f = 85$  мм) и ЛОМО  $f/2,0$  ( $f = 100$  мм) [2, 6, 7]. В основу комплекса положена конструкция метеорного телескопа в герметичной водонепроницаемой капсуле [6, 7], позволяющая вести наблюдения без укрытия в автоматическом режиме.

Наблюдения метеоров проводились комбинированным методом [1]. Суть метода заключается в раздельном получении кадров с опорными звездами и кадров с объектом. *Первое* преимущество метода заключается в возможности получения более точной опорной системы за счет суммирования со смещением большого числа кадров со звездами (750 кадров), что является необходимым условием для систем с малыми полями зрения ( $<10^\circ$ ). *Второе*

преимущество выражается в одновременной возможности регистрировать объект с максимальной частотой смены кадров (50 полукадров в секунду в режиме черезстрочной развертки), что увеличивает временное разрешение измерений и в результате улучшает точность определения кинематических параметров. Средняя квадратическая погрешность опорной системы составляет (3–6)", максимум распределения звезд по звездной величине –  $10^m$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

В 2011–2016 гг. системой телевизионных метеорных телескопов НИИ «НАО» было зарегистрировано 9377 односторонних метеорных траекторий. В 2013 г. с марта по май работала выносная базисная станция (телескопы № 2, № 4 в таблице) на расстоянии 5 км от станции НИИ «НАО» (телескопы № 1, № 3 в таблице).

Координаты станции НИИ «НАО»  $\phi = 46^\circ.9716N$ ;  $\lambda = 31^\circ.9730E$ . Координаты выносной станции  $\phi = 46^\circ.9550N$ ;  $\lambda = 32^\circ.0394E$ .

С сентября 2014 г. запущена выносная базисная станция (телескопы № 5, № 7, № 9 в таблице) на расстоянии 11,8 км от станции НИИ «НАО» (телескопы № 6, № 8, № 10 в таблице). Координаты выносной станции  $\phi = 46^\circ.8716N$ ;  $\lambda = 32^\circ.0183E$ .

В таблице представлено количество зарегистрированных метеорных траекторий для пар

базисных телескопов, количество ночей, когда был зарегистрирован хотя бы один метеор, а также количество базисных метеоров. За 2013–2016 гг. из базисных наблюдений получено 1236 одновременных метеорных траекторий.

### ПАРАМЕТРЫ МЕТЕОРНОЙ ТРАЕКТОРИИ, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ПО ОДНОСТОРОННИМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Для метеорных траекторий, полученных в результате односторонних наблюдений, вычисляются следующие параметры: длительность в секундах; угловая длина траектории в градусах; угловая ширина траектории в градусах; интегральная звездная величина метеора; координаты полюса большого круга метеорной траектории (ПБКМТ) и их погрешности в градусах. Эти параметры могут быть использованы для небазисного отождествления метеоров с потоками [3]. Временная длительность наблюдений метеоров находится в пределах 0,05–0,6 с; 70 % метеоров имеют длительность в пределах 0,1–0,2 с. Количество полукадров для одной траектории варьируется от 1 до 30 полукадров, 86 % метеорных траекторий имеют >3 полукадров, что позволяет более надежно определять угловую, а в случае базисного метеора и линейную скорость, а также анализировать ускорение метеора. Ширина траектории 90 % метеоров лежит в пределах (0,01–0,02)°.

Статистика наблюдений для пар базисных телескопов

№ телескопа	Период работы	Азимут, град.	Высота, град.	Поле зрения, град.	$f$ , мм	$D$ , мм	Ночей	Метеоров	Базисных метеоров
1	01.2013–05.2013	6,30	80,50	4,2×3,2	85	$f/1,8$	67	161	18
2		357,7	80,50				18	66	
3	01.2013–07.2013	10,50	80,50	4,2×3,2	85	$f/1,8$	101	185	45
4		353,5	80,50				55	167	
5	06.2013–07.2016	1,79	61,02	4,2×3,2	85	$f/1,8$	317	1083	520
6		3,74	65,25				500	2221	
7	06.2013–07.2016	4,89	50,74	4,2×3,2	85	$f/1,8$	171	605	277
8		10,96	64,48				432	1434	
9	06.2013–07.2016	355,79	59,23	3,6×2,7	100	$f/2,0$	240	820	376
10		359,71	66,12				337	1153	

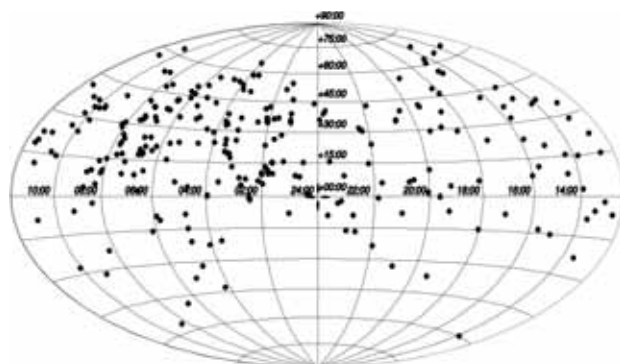


Рис. 1. Карта радиантов индивидуальных метеоров в экваториальной системе

Распределения метеоров по интегральной звездной величине и угловой длине имеют максимумы в значениях  $3^m$  и  $1^\circ$ , что указывает на преобладание неярких и коротких метеорных траекторий, которые характеризуют телескопические метеоры.

Средняя случайная погрешность в определении координат ПБКМТ составляет  $(0,05-0,1)^\circ$ . Количество обработанных траекторий, взятых для статистического анализа, составляет 2869. Зависимость случайной погрешности определения координат ПБКМТ от интегральной звездной величины метеора показывает увеличение ошибки для значений слабее  $2^m$ . Характерным является рост случайной погрешности определения координат ПБКМТ при уменьшении длины наблюдаемой траектории. Значения случайной погрешности определения координат ПБКМТ не превышают  $0,02^\circ$  для звездных величин ярче  $2^m$  и угловых длинах  $>1,5^\circ$  [5, 6].

#### ПАРАМЕТРЫ МЕТЕОРОВ, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ИЗ БАЗИСНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

К этим параметрам относятся экваториальные координаты радианта, геоцентрическая и гелиоцентрическая скорости и элементы гелиоцентрической орбиты метеороида (большая полуось, перигелийное расстояние, эксцентриситет, наклонение, аргумент перигелия, долгота восходящего узла). Координаты радиантов

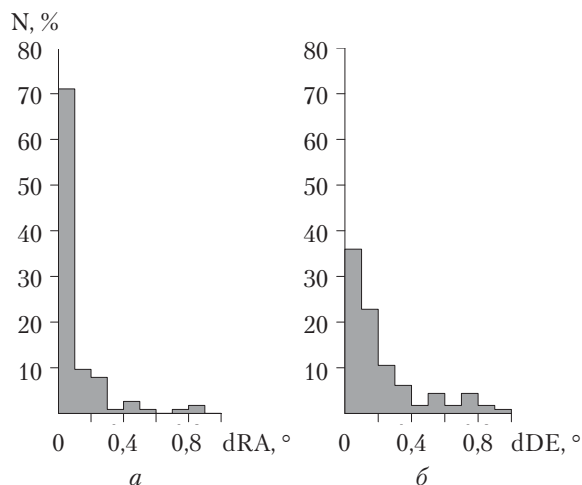


Рис. 2. Распределение стандартных отклонений координат радианта: а — по прямому восхождению; б — по склонению

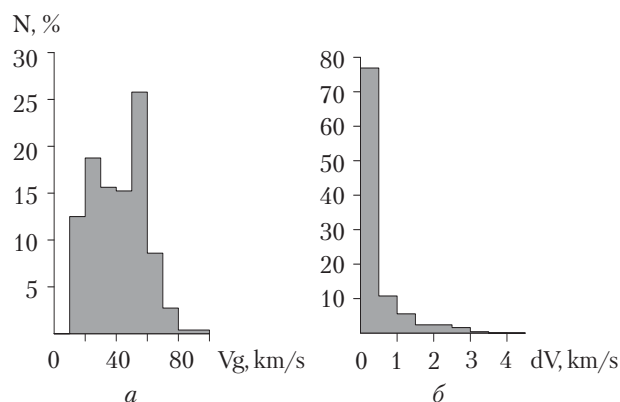
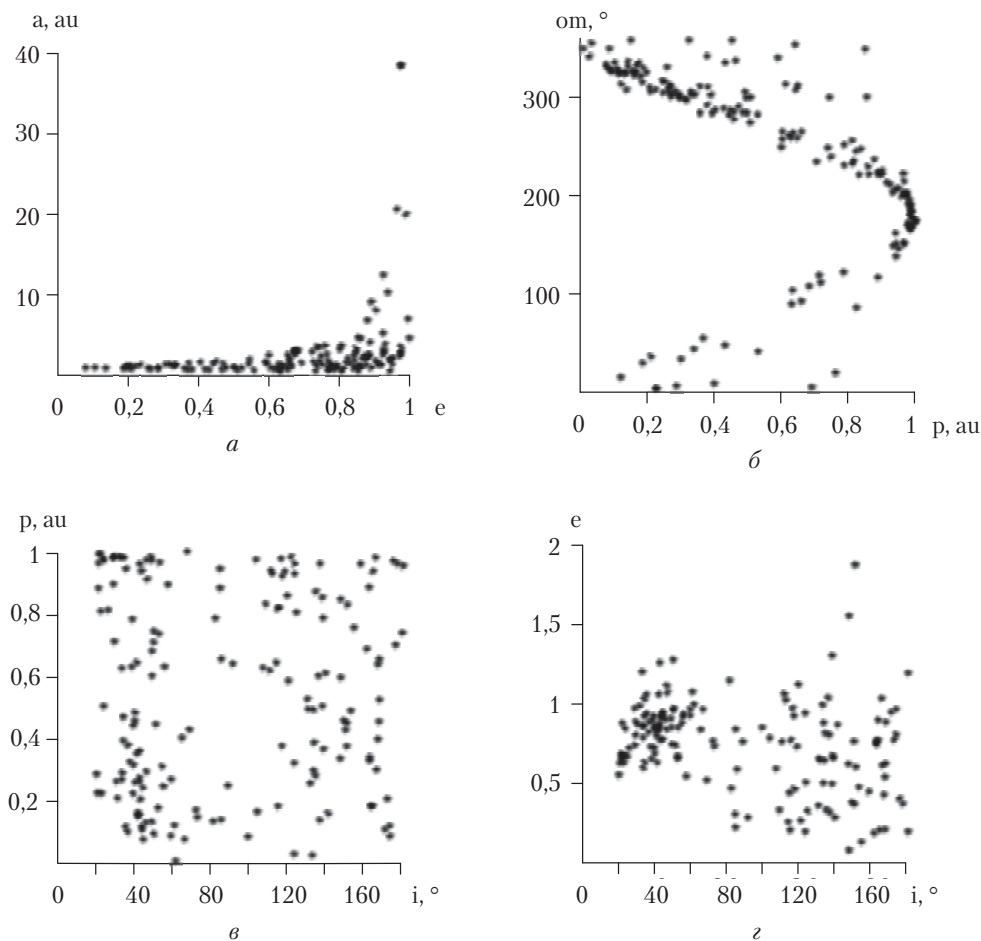


Рис. 3. Распределение геоцентрических скоростей метеоров (а) и их стандартных отклонений (б)

(рис. 1) вычислены по правилу Болина, т.е. как координаты «полюса большого круга полюсов метеорных кругов» [3]. Средняя случайная погрешность вычисления экваториальных координат радианта составила  $0,5^\circ$  для прямого восхождения и  $0,4^\circ$  для склонения (рис. 2). Около 80 % метеорных траекторий имеют погрешность меньше  $0,2^\circ$ , что сопоставимо с точностью вычисления радиантов, публикуемых в журнале Международной метеорной организации (IMO WGN) [8, 9]. Также возможны аномальные значения погрешностей ( $>2^\circ$  и достигающие десятков градусов), что наблюдается и в зарубеж-



**Рис. 4.** Элементы гелиоцентрических орбит метеороидов, зависимости: *a* — большой полуоси от эксцентриситета; *б* — аргумента перигелия от перигелийного расстояния; *в* — перигелийного расстояния от наклонения; *z* — эксцентриситета от наклонения

ных каталогах. Это связано с пространственным расположением реальной траектории метеора по отношению к линии базиса. Если траектория и линия базиса находятся в одной плоскости, то вычисление координат радианта становится невозможным, так как наблюдаемые с двух станций проекции траекторий не дадут точки пересечения, которая, согласно принципу Ольберса, и является радиантом [3]. Порядка 10 % наблюдаемых метеорных траекторий ориентированы под малым углом к линии базиса и поэтому имеют аномальные значения погрешностей вычисления экваториальных координат радианта.

Из 1236 базисных метеоров для 347 были рассчитаны параметры атмосферной траектории (видимая и геоцентрическая скорости и высоты над уровнем моря) и элементы гелиоцентрических орбит, а также были исправлены координаты радиантов за суточную аберрацию и зенитное притяжение [3]. Ключевыми линейными параметрами атмосферной траектории являются наклонная дальность (перпендикуляр от наблюдателя до метеорной траектории) и высота. Основная масса метеоров (>80 %) была зафиксирована при наклонных дальностях 70–130 км и на высотах середины траектории 70–150 км. Следует

отметить, что при малых базисах (<30 км) и неоптимальном угле пересечения полей зрения телескопов наблюдается некоторое завышение значений линейных параметров, поэтому из 481 двухсторонних траекторий, наблюдаемых в 2013–2014 гг., орбиты и атмосферные параметры были вычислены для 347 траекторий. В дальнейшем предполагается изменить направления телескопов с целью оптимизации базиса и более точного определения параметров траектории. Распределение метеоров по скоростям (рис. 3) свидетельствует о преобладании метеоров кометного происхождения (пик на 60 км/с) над астероидными (пик на 10–15 км/с) [10, 11]. В результате проведенных расчетов формируется каталог гелиоцентрических орбит метеороидов с включением в него параметров атмосферной траектории и экваториальных координат исправленных радиантов. Графическое представление элементов орбит метеороидов приведено на рис. 4. Стандартное отклонение в вычислении скорости составило в среднем 0,5 км/с. Случайная погрешность вычисления элементов гелиоцентрических орбит оценивалась в виде следующих среднеквадратических отклонений:

- ✦ большой полуоси — 3,5 а.е.;
- ✦ эксцентриситета — 0,03;
- ✦ наклона — 0,6°;
- ✦ аргумента перигелия — 1,4°.

### ВЫВОДЫ

В 2011–2016 гг. получены наблюдения 9377 метеоров; 1236 из них — по результатам базисных наблюдений. Определены координаты полюса большого круга метеорной траектории со случайной погрешностью (0,05–0,1)° и экваториальные координаты видимых радиантов метеоров со случайной погрешностью (0,4–0,5)°. Для 347 метеоров получены элементы гелиоцентрической орбиты, параметры атмосферной траектории и исправлены координаты радиантов. Формируется каталог гелиоцентрических орбит метеороидов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Shulga O., Kozyryev Y., Sybiryakova Y. *Observation of NEO having high apparent rates with Mobitel telescope*. Proc. Of Gaia follow up network for solar system objects workshop held at IMCCE, Paris observatory, France. 2011. С. 97–100.
2. Куличенко Н.А., Шульга А.В., Козырев Е.С., Сибирякова Е.С. Использование ТВ-камер для наблюдений метеоров. *Космічна наука і технологія*. 2012. Т. 18, № 6. С. 67–72.
3. Астапович И.С. Метеорные явления в атмосфере Земли. Москва: Физматгиз, 1958. 640 с.
4. Kozak P.M., Rozhilo A.A., Taranukha Y.G. *Some features of digital kinematic and photometrical processing of faint TV meteors*. Proceedings of the Meteoroids 2001 Conference, Kiruna, Sweden. 2001. С. 337–342.
5. Горбанев Ю.М. Одесский телевизионный метеорный патруль. *Odessa Astronomical Publications*. 2009. № 22. С. 60–67.
6. Куличенко Н.А., Шульга А.В., Козырев Е.С., Сибирякова Е.С. Телевизионные наблюдения метеоров в НИИ НАО. *Вісник Астрономічної школи*. 2013. Т. 9, № 1–2. С. 107–110.
7. Kulichenko N., Shulga O., Kozyryev Y., Sybiryakova Y. Double station observation of meteors in Nikolaev. *WGN, Journal of the International Meteor Organization*. 2015. No. 3. С. 81–84.
8. Johannink C. Results of the CAMS project in 2012. *WGN, Journal of the International Meteor Organization*. 2013. No. 6. С. 184–189.
9. Korlevic K., Segon D., Andreic Z., Novoselnik F., Vida D., Skokic I., Novoselnik F., Vida D., Skokic I. Croatian Meteor Network Catalogues of Orbits for 2008 and 2009. *Journal of the International Meteor Organization*. 2013. No. 2. С. 48–51.
10. Ueda M., Fujiwara Y. Television Meteor Radiant Mapping. *Earth, Moon, and Planets*. 1995. No. 1–3. С. 585–603.
11. Steel D. Meteoroid Orbits. *Space Science Reviews*. 1996. No. 3–4. С. 507–553.

### REFERENCES

1. Shulga O., Kozyryev Y., and Sybiryakova Y. *Observation of NEO having high apparent rates with Mobitel telescope*. In: Proc. Of Gaia follow up network for solar system objects workshop held at IMCCE, Paris observatory, France, 2011, pp. 97-100.
2. Kulichenko N.A., Shulga A.V., Kozyryev Y.S., Sibiryakova Y.S. Ispoljzovanie TV-kamer dlja nabljudenij meteorov. *Kosmichna nauka i tehnologija* (Space science and technology). 2012. 18(6): 67–72 [in Russian].
3. Astapovich I.S. *Meteor phenomena in Earth atmosphere*. Moscow: Fizmatgiz, 1958 [in Russian].
4. Kozak P.M., Rozhilo A.A., Taranukha Y.G. *Some features of digital kinematic and photometrical processing of*

- faint TV meteors*. In: Proceedings of the Meteoroids 2001 Conference, Kiruna, Sweden, 2001, pp. 337–342
5. Gorbanev Y.M. Odessa Television Meteor Patrol. *Odessa Astronomical Publications*. 2009. 22: 60–67 [in Russian].
  6. Kulichenko N.A., Shulga A.V., Kozyryev Y.S., Sibiryakova Y.S. Televizionnye nabljudeniya meteorov v NII NAO. *Visnyk Astronomichnoji Shkoly* (Astronomical School's Report). 2013. 9(1–2): 107–110 [in Russian].
  7. Kulichenko N., Shulga O., Kozyryev Y., and Sybiryakova Y. Double station observation of meteors in Nikolaev. *WGN, Journal of the International Meteor Organization*. 2015. 43(3): 81–84.
  8. Johannink C. Results of the CAMS project in 2012. *WGN, Journal of the International Meteor Organization*. 2013. 41(6): 184–189.
  9. Korlevic K., Segon D., Andreic Z., Novoselnik F., Vida D., Skokic I. Croatian Meteor Network Catalogues of Orbits for 2008 and 2009. *WGN, Journal of the International Meteor Organization*. 2013. 41(2): 48–51.
  10. Ueda M., Fujiwara Y. Television Meteor Radiant Mapping. *Earth, Moon, and Planets*. 1995. 68(1–3): 585–603.
  11. Steel D. Meteoroid Orbits. *Space Science Reviews*. 1996. 78(3–4): 507–553.

*M.O. Kulichenko, O.V. Shulga,  
Ye.S. Sibiryakova, Ye.S. Kozyryev*

Research Institute «Mykolaiv Astronomical Observatory»,  
1, Observatorna Str., Mykolaiv, 54030, Ukraine,  
tel. +38 (0512) 47-70-14

#### DOUBLE STATION OBSERVATION OF TELESCOPIC METEORS IN MYKOLAIV

Meteor research using TV CCD unintensified techniques was started in 2011 in Nikolaev astronomical observatory (RI «NAO»). The method of meteor registration is based on

the combined observation method developed at RI «NAO». The main accent of the research is made on the precise astrometry and meteoroid orbits calculation. In 2013 first double station meteors with low baseline were observed. Estimation of uncertainties of visible radiant equatorial coordinates, geocentric velocity and heliocentric meteoroid orbit parameters was carried out.

*Keywords:* meteor, meteoroid, combined observation method.

*M.O. Kulichenko, O.V. Shulga,  
Ye.S. Sibiryakova, Ye.S. Kozyrev*

Науково-дослідний інститут  
«Миколаївська астрономічна обсерваторія»,  
вул. Обсерваторна, 1, Миколаїв, 54030 Україна,  
тел. +38 (0512) 47-70-14

#### БАЗИСНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТЕЛЕСКОПІЧНИХ МЕТЕОРИВ У м. МИКОЛАЄВІ

У 2011 р. в НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія» (НДІ «МАО») розпочато дослідження метеорів з використанням телевізійної техніки. Метод реєстрації метеорів заснований на комбінованому методі спостережень, розробленому в НДІ «МАО» [1]. Особливу увагу зосереджено на високоточній астрометрії та розрахунку елементів орбіт метеороїдів. У 2013 р. розпочато перші одночасні спостереження двома станціями з малою базою (< 20 км). Проведена оцінка величин випадкових похибок у розрахунку екваторіальних координат видимого радіанта, геоцентричної швидкості та параметрів геліоцентричної орбіти метеороїда.

*Ключові слова:* метеор, метеороїд, комбінований метод спостережень.

Стаття надійшла до редакції 17.10.16