

УДК 52-13, 52-14

**Н. С. Бахтигараев<sup>1</sup>, П. А. Левкина<sup>1</sup>,  
Л. В. Рыхлова<sup>1</sup>, А. В. Сергеев<sup>1,2</sup>, В. К. Тарадий<sup>1,2</sup>,  
Н. В. Карпов<sup>1,2</sup>, В. В. Чазов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт астрономии Российской академии наук  
ул. Пятницкая 48, Москва, Россия, 119017  
ayvazovskaya2008@yandex.ru, rykhlova@inasan.ru

<sup>2</sup>Международный центр астрономических и медико-экологических исследований  
Национальной академии наук Украины  
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680  
v.tarady@gmail.com, karpov@mao.kiev.ua

<sup>3</sup>Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ  
Университетский проспект 13, Москва, Россия, 119991  
vadimchazov@yandex.ru

## **Исследование космического мусора в обсерватории на пике Терскол**

*В рамках международной программы «Астрономия в Приэльбрусье» на наблюдательном комплексе телескопа «Цейс-2000» Международного центра астрономических и медико-экологических исследований Национальной академии наук Украины (обсерватория на пике Терскол) проводятся исследования объектов космического мусора по данным оптических измерений. Целями исследования являются: обнаружение, каталогизация и определение физических характеристик малоразмерных фрагментов космического мусора, поддержание каталогов орбит, исследование влияния негравитационных возмущений на орбитальное движение и эволюцию орбит таких фрагментов.*

*ДОСЛІДЖЕННЯ КОСМІЧНОГО СМІТТЯ В ОБСЕРВАТОРІЇ НА ПІКУ ТЕРСКОЛ, Бахтігараєв Н. С., Льовкіна П. А., Рихлова Л. В., Сергєєв О. В., Тарадій В. К., Карпов М. В., Чазов В. В. — В рамках міжнародної програми «Астрономія у Приельбруссі» на спостережному комплексі телескопа «Цейс-2000» Міжнародного центру астрономічних і медико-екологічних досліджень Національної академії наук України (обсерваторія на піку Терскол) проводяться дослідження об'єктів космічного сміття за даними оптичних вимірювань. Метою досліджень є виявлення, каталогізація і визначення фізичних характеристик малорозмірних фрагментів космічного сміття, підтримання*

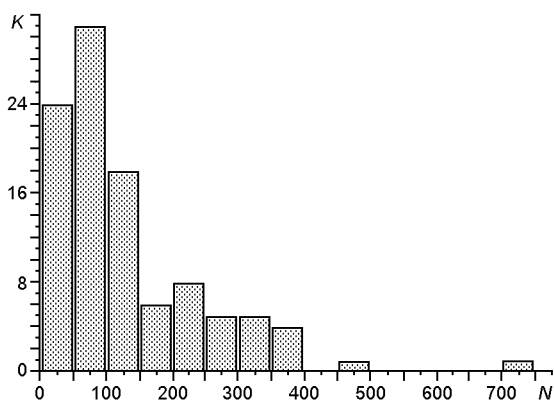
каталогів орбіт, дослідження впливу негравітаційних збурень на орбітальний рух та еволюцію орбіт таких фрагментів.

*INVESTIGATIONS OF SPACE DEBRIS IN THE TERSKOL OBSERVATORY, by Bakhtigaraev N. S., Levkina P. A., Rykhlova L. V., Sergeev A. V., Taradiy V. K., Karpov N. V., Chazov V. V. — As part of the international program «Astronomy in the Elbrus region» a study of space debris objects using optical measurements carried out at an observation complex of Zeiss-2000 telescope in the Terskol observatory. Objectives of the study are: research of technogenic pollution of near-Earth space, detection and cataloging of small space debris, orbit catalogs maintenance, determination of physical characteristics of such fragments.*

**Общая статистика наблюдений.** Ежегодно для исследования околоземного космического пространства и фрагментов космического мусора на телескопе «Цейс-2000» Международного центра астрономических и медико-экологических исследований Национальной академии наук Украины (обсерватория на пике Терскол) проводится 2—4 наблюдательных сеанса по 7—14 ночей. С июня 2009 г. по ноябрь 2014 г. были осуществлены оптические наблюдения порядка 500 фрагментов космического мусора. За это время получено более 50000 наборов параметров этих объектов. Под полученными наборами параметров подразумеваются измерения моментов времени UTC, топцентрических координат и оценок блеска объектов во время наблюдений.

На рис. 1 показано распределение количества наблюдавшихся объектов относительно всего массива измерений.

Рис. 1. Распределение количества  $K$  наблюдавшихся объектов относительно всего массива  $N$  измерений



На рис. 2 показано распределение количества  $K$  объектов по значениям углов наклона орбит (всего 178 объектов).

В таблице представлено распределение количества наборов параметров по значениям эксцентриситета орбиты.

**Результаты наблюдений избранных объектов.** На основе позиционных наблюдений объектов, полученных в рамках каждого сеанса, было выполнено дифференциальное улучшение элементов орбит. Во

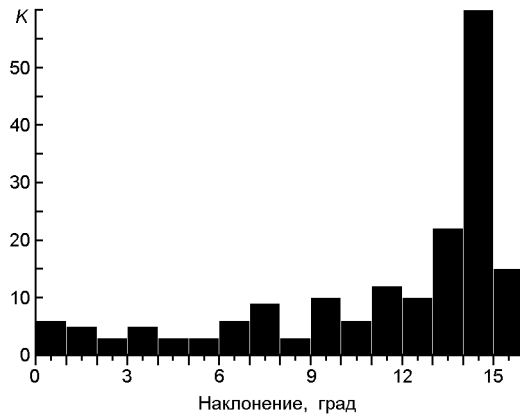


Рис. 2. Распределение количества  $K$  объектов по значениям углов наклоения орбит для 178 объектов

**Распределение количества наборов параметров движения по значениям эксцентриситета орбиты**

$e$	$N$	$e$	$N$
0.0001...0.001	6	0.04...0.1	24
0.001...0.003	26	0.1...0.2	7
0.003...0.006	34	0.21	1
0.006...0.01	27	0.3...0.4	3
0.01...0.04	51	0.44	1

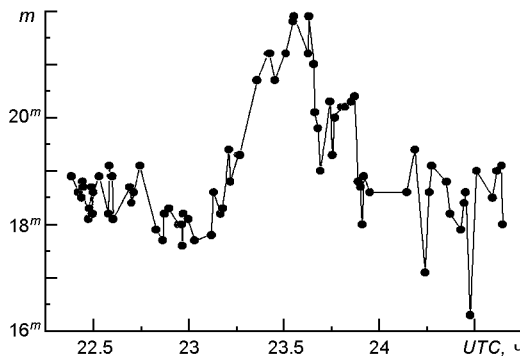


Рис. 3. Изменение блеска  $m$  малоразмерного фрагмента по наблюдениям в ночь с 6 на 7 сентября 2012 г.

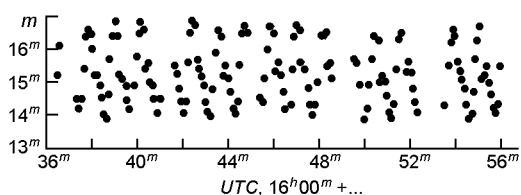
многих случаях вместе с поправками к элементам орбиты удалось получить оценки отношения  $A/m$  площади миделева сечения объекта к его массе.

По данным наблюдений объекта на короткой наблюдательной дуге (порядка 10 ) были вычислены средние параметры движения, а затем определены отклонения от предварительно вычисленных координат для каждого измерения. Невязки по прямому восхождению и склонению составили около 0.15 , что соответствует расчетным значениям инструментальных погрешностей наших наблюдений для этих объектов, около (0.1 ).

В 2012 г. впервые на Терсколе проведены фотометрические измерения объекта в геостационарной области с минимумом блеска слабее  $21^m$ , что соответствует размеру отражающей площади менее 10 см (рис. 3).

**Наблюдения объекта 95633 ИПМ.** В марте 2012 г. в Звенигородской обсерватории Института астрономии Российской академии наук был открыт новый объект на высокоэллиптической орбите. За два месяца были получены длинные серии наблюдений, показавшие резкие колебания блеска в диапазоне от  $12^m$  до  $17^m$ . В декабре 2013 г. в Терсколе были выполнены измерения блеска данного объекта на протяжении 20 мин с интервалом между измерениями 6 с, результаты которых представлены на рис. 4. Видно, что блеск объекта в данном наблюдательном сеансе испытывает быстрые изменения с амплитудой порядка  $3^m$ .

Рис. 4. Быстрые изменения блеска объекта 95633 по наблюдениям на телескопе «Цейс-2000» 12 декабря 2013 г.



Гармонический анализ полученных данных показал наличие двух основных периодов колебаний блеска: 4.5 и 1.3 мин. Амплитуда вариаций блеска оказалось меньшей, чем полученная по наблюдениям в Звенигородской обсерватории, что объясняется различием фазовых углов и топоцентрических расстояний для этих двух обсерваторий.

**Заключение.** Наблюдения техногенного космического мусора в Международном центре астрономических и медико-экологических исследований Национальной академии наук Украины (обсерватория на пике Терскол) в рамках международной программы «Астрономия в Приэльбрусье» [<http://www.inasan.ru/rus/terskol/research.html>] направлены на решение ряда важных задач научного и научно-прикладного характера.

Во-первых, они предоставляют новые экспериментальные данные о малоразмерных фрагментах космического мусора, необходимые для поддержания и пополнения динамического каталога высокоорбитальных космических объектов.

Во-вторых, большой телескоп с двухметровой апертурой даёт возможность изучения изменений блеска малоразмерных объектов КМ до  $22^m$ , что существенно расширяет диапазон вновь открываемых и наблюдаемых объектов и процессов.

В-третьих, применение стабильной штатной аппаратуры обсерватории на пике Терскол и организация наблюдений сеансами в течение всего года предоставляют возможность как изучения долгосрочной эволюции параметров орбит объектов космического мусора, так и исследования длительных вариаций изменений блеска, в том числе и мониторинг параметра «отношение миделевой площади к массе».

Кроме того, проведенные исследования данных обсерватории на пике Терскол показали возможность изучения характеристик объектов КМ даже с одного пункта наблюдений [1].

1. *Levkina P., Bakhtigaraev N., Sergeev A., Chazov V.* Determination of physical characteristics of small-size space debris in GEO // Proc. of the 6th European Conference on Space Debris, 22—25 April 2013, Darmstadt, Germany. ESA SP-723, August 2013.
2. *Tarady V., Yatskiv Ya.* The new 2m RCC telescope in the Northern Caucasus for modern astronomical research // Astron. and Astrophys. Trans.—1997.—N 13. P. 19—21.

Статья поступила в редакцию 01.12.15