

УДК 52-13, 52-14

**Н. С. Бахтигараев¹, П. А. Левкина¹, Л. В. Рыхлова¹,
В. В. Чазов², А. В. Сергеев^{1,3}, Н. В. Карпов^{1,3}**

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

²Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ
Университетский проспект 13, Москва, Россия, 119991
vadimchazov@yandex.ru

³Международный центр астрономических и медико-экологических исследований
Национальной академии наук Украины
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680
karpov@mao.kiev.ua

Характеристики малоразмерных фрагментов космического мусора по наблюдениям в обсерватории на пике Терскол

Телескоп «Цейс-2000» Международного центра астрономических и медико-экологических исследований Национальной академии наук Украины (обсерватория на пике Терскол) с апертурой 2 м является крупнейшим в Европе инструментом, регулярно используемым для исследований космического мусора вблизи геостационарной орбиты. Одной из основных задач является обнаружение и определение характеристик малоразмерных фрагментов космического мусора, труднодоступных другим телескопам. Во время наблюдений в фотометрические ночи обнаруживаются 4-5 новых фрагментов от 17 до 20^m, которые ранее не наблюдались. Приводятся параметры орбит и физические характеристики нескольких малоразмерных фрагментов космического мусора, обнаруженных при наблюдениях в Терскольской обсерватории в 2014—2015 гг.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОРОЗМІРНИХ ФРАГМЕНТІВ КОСМІЧНОГО СМІТТЯ ЗА ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ В ОБСЕРВАТОРІЇ НА ПІКУ ТЕРСКОЛ, Бахтігараєв Н. С., Льовкіна П. А., Рихлова Л. В., Чазов В. В., Сергєєв О. В., Карпов М. В. — Телескоп «Цейс-2000» Міжнародного центру астрономічних і медико-екологічних досліджень Національної академії наук України (обсерваторія на піку Терскол) з апертурою 2 м є найбільшим у Європі інструментом, який регулярно

використовується для досліджень космічного сміття поблизу геостационарної орбіти. Одним з основних завдань є виявлення та визначення характеристик малорозмірних фрагментів космічного сміття, недосяжних для інших телескопів. Під час спостережень у фотометричні ночі виявляються 4-5 нових фрагментів 17—20^m, які раніше не спостерігались. Приводяться параметри орбіт та фізичні характеристики кількох малорозмірних фрагментів сміття, виявлених при спостереженнях у Терскольській обсерваторії в 2014—2015 рр.

CHARACTERISTICS OF SMALL-SIZED SPACE DEBRIS OBJECTS USING TERSKOL OBSERVATORY MEASUREMENTS, by Bakhtigaraev N. S., Levkina P. A., Rykhlova L. V., Chazov V. V., Sergeev A. V., Karpov N. V. — The Zeiss-2000 telescope of Terskol observatory with a two-meter aperture is the largest optical instrument in Europe that is regularly used to investigate space debris (SD) in the geostationary region. One of the main purposes is the detection and characterization of small fragments of debris, difficult to approach for smaller telescopes. During each photometric night we usually detect 4-5 unknown fragments of 17th to 20th magnitude. In this article we present orbital parameters and physical characteristics of several small-sized fragments of the space debris detected during observations at Terskol observatory in 2014—2015.

Введение. В рамках международной программы «Астрономия в Приэльбрусье» [<http://www.inasan.ru/rus/terskol/research.html>] при помощи телескопа «Цейс-2000» Международного центра астрономических и медико-экологических исследований Национальной академии наук Украины (обсерватория на пике Терскол) [4] осуществляется исследование объектов космического мусора (КМ) [3]. Основной задачей является обнаружение и определение характеристик малоразмерных фрагментов космического мусора, труднодоступных телескопам с меньшей апертурой. Во время оптических наблюдений в фотометрические ночи обнаруживаются четыре-пять новых, ранее не наблюдавшихся фрагментов. Хотя большая часть обнаруженных фрагментов далее не сопровождается вследствие недостаточного количества крупных телескопов, регулярно участвующих в научных программах исследований КМ, полученные данные о новых объектах важны для изучения заселённости околоземного космического пространства (ОКП) малоразмерными фрагментами. Определение их орбитальных и физических свойств может помочь понять причины и степень засорения ОКП космическим мусором.

Результаты наблюдений. Приведём результаты обработки измерений некоторых обнаруженных в 2015 г. новых фрагментов космического мусора. На основе вычисленных предварительных элементов орбиты некоторые из них наблюдались в течение нескольких ночей. Массив полученных топоцентрических положений позволил определить для каждого фрагмента параметры движения и оценку отноше-

Таблица 1. Характеристики новых объектов

Объект	a , км	A/m , м ² /кг	m	T	N
66100	42218.2	4.69	13.9...17.9 ^m	3	360
66200	41857.9	0.62	18.2...19.8	4	753
66500	42090.4	—	15.1...18.7	1	212
66600	40931.0	—	13.4...20.8	1	402
66800	42029.3	11.28	16.5...20.8	3	429
67100	42235.1	—	13.2...17.1	1	160
99900	42268.2	19.16	16.3...18.1	7	621
99906	41780.6	0.01	15.4...18.5	1	102
99919	40075.5	4.39	15.6...19.5	2	113

Таблица 2. Средние элементы орбит объектов

Объект	Время	i , град	Ω , град	e	ω , град	M , град	n	L , град
66100	0.55757	13.397	312.613	0.042281	80.222	284.531	1.000763	71.371
66200	0.53035	13.952	343.994	0.016563	188.105	171.628	1.013828	112.579
66500	0.51342	14.058	323.817	0.045826	186.833	172.523	1.005378	98.512
66600	0.00133	5.990	309.449	0.028306	267.264	89.495	1.048466	269.002
66800	0.488208	9.339	296.319	0.228502	286.579	49.695	1.008642	82.329
67100	0.77377	8.572	257.509	0.567324	344.540	3.5592	1.001186	298.222
90846	0.69684	14.0556	333.555	0.418631	273.774	40.720	1.002316	42.039
90886	0.50126	13.955	343.986	0.018115	188.871	170.809	1.016606	123.074
99919	0.55871	11.153	311.662	0.062092	275.795	77.168	1.082418	70.011

ния средней площади миделева сечения к массе объекта A/m (табл. 1 и 2). Номера объектов в таблицах условные. В графе «блеск» приведён интервал изменений оценок блеска в интегральных звёздных величинах. Символом T обозначено количество наблюдательных ночей, N — число измеренных положений объекта.

Объекты 99900 и 99906 были измерены также на других пунктах и внесены в динамическую базу данных с номерами 90846 и 90886 соответственно (см. табл. 2).

В табл. 2 даны средние элементы орбит объектов в моменты пересечения каждым из них экватора в восходящем узле. Вычисления выполнены на дату 1 ноября 2015 г. (305-й день с начала года). К этой дате необходимо добавить часть суток, указанную в графе «время». Параметры движения, представленные в таблице, по обозначениям и по алгоритму вычислений соответствуют двустрочным элементам базы данных NORAD [5]. Величина среднего движения n вычисляется в оборотах за сутки. В последней графе даны значения географических долгот объектов на моменты вычислений.

Измерения положений и блеска нескольких фрагментов выполнялись непрерывно на интервалах времени порядка одного часа.

Рис. 1. Изменения блеска объекта 66600

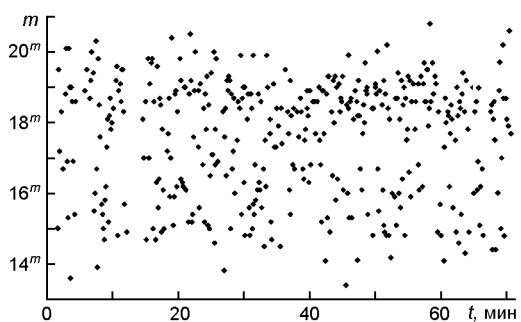


Рис. 2. Изменения блеска объекта 67100

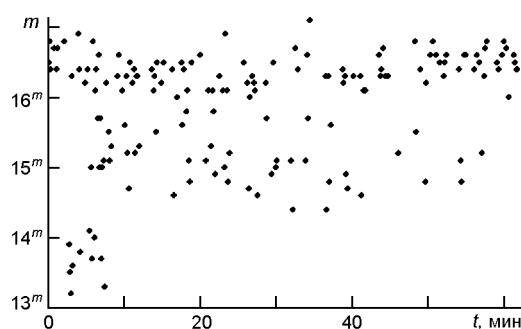
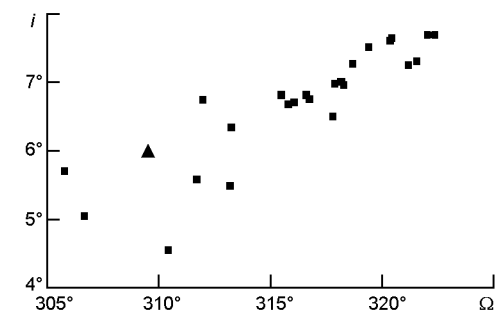


Рис. 3. Положения фрагментов разгонного блока «Transtage» и объекта 66600 (треугольник)



На рис. 1 и 2 представлены изменения блеска объектов 66600 и 67100 соответственно. По оси абсцисс отложено время в минутах, по оси ординат отложена звёздная величина.

Фотометрические измерения подобных малоразмерных объектов космического мусора с амплитудой изменения блеска 3^m и более необходимы для изучения особенностей характера изменений блеска и определения параметров вращения объекта вокруг центра масс. Уточнение этих физических характеристик позволяет облегчить задачу сопровождения и подтверждения орбит таких объектов.

При отождествлении фрагментов КМ на основе координатной информации наиболее значимыми для процедуры отождествления элементами орбиты являются углы наклона плоскости орбиты и долготы восходящего узла относительно плоскости экватора, i и соответственно. В монографии [2] показано, что фрагменты космического мусора на диаграмме «долгота восходящего узла — угол наклона» образуют скопления.

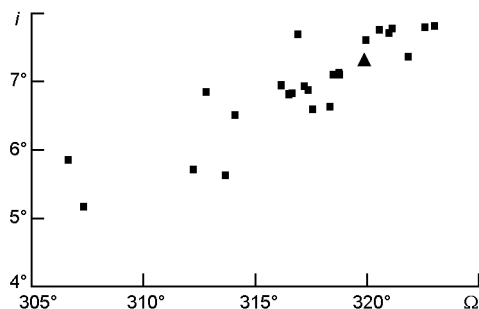


Рис. 4. Положения фрагментов разгонного блока «Transtage» и объекта 90758 (треугольник)

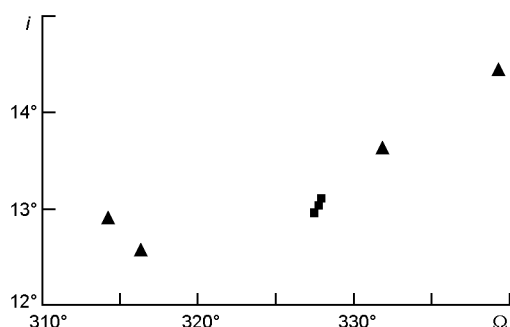


Рис. 5. Положения фрагментов разрушения 77092А (квадратики) и новых объектов (треугольники)

На рис. 3 квадратиками обозначены положения фрагментов объекта 68081E (разгонный блок «Transtage», взорвавшийся на ГСО в 1992 г. [1]). Элементы орбит фрагментов «Transtage» заимствованы в базе параметров движения NORAD [5]. Треугольник соответствует положению объекта 66600 (табл. 1). По оси абсцисс отложены значения долготы восходящего узла в градусах. По оси ординат отложены значения угла наклона в градусах.

Возможно, что новый объект является одним из фрагментов разгонного блока с международным номером 68081E.

В ходе наблюдений в июле 2015 г. было подтверждено открытие нового объекта с номером 90758. На рис. 4 представлена диаграмма «долгота восходящего узла — угол наклона» для этого объекта. На диаграмме квадратами отражены положения фрагментов разгонного блока «Transtage» (68081E) по состоянию на дату наблюдений объекта 90758 и положение объекта 90758 (треугольник).

В ходе наблюдательной сессии в ноябре 2014 г. совместно с другими обсерваториями были открыты и на протяжении пяти ночей снабжены измеренными положениями четыре объекта. На диаграмме «долгота восходящего узла — угол наклона» (рис. 5) эти объекты, обозначенные треугольниками, расположены в области скопления фрагментов разрушения спутника 77092А («Экран-2»), обозначенных квадратиками.

Необходимо дальнейшее сопровождение этих объектов и мониторинг всей области скопления фрагментов КА «Экран-2» для обнаружения вероятных новых объектов и изучения поведения уже известных последствий разрушения аппарата.

Заключение. Все объекты, открытые в ходе наблюдений в 2015 г., находятся в режиме циркуляции и имеют большие интервалы изменения блеска.

Для четырёх фрагментов характерно большое численное значение отношения площади миделева сечения к массе (до $20 \text{ м}^2/\text{кг}$). Из анализа табл. 1 и 2 следует, что чем больше отношение площади миделева сечения к массе, тем больше эксцентриситет орбиты объекта.

Показано, что некоторые наблюдавшиеся объекты могут являться результатом известных событий на геостационарной орбите, вызвавших разрушение двух аппаратов — разгонного блока «Transtage» и спутника «Экран-2».

1. Касименко Т. В., Микиша А. М., Рыхлова Л. В., Смирнов М. А. Взрывы на геостационарной орбите // Столкновения в околоземном пространстве (Космический мусор). — М.: Космосинформ, 1995.—С. 159—168.
2. Kiladze R., Sochilina A. Theory of motion of geostationary satellites. —Tbilisi: Iia state university, 2010.—148 p.
3. 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.
4. 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.
5. Vallado D. A., Crawford P., Hujsak R., Kelso T. S. Revisiting Spacetrack Report N 3 // American Institute of Aeronautics and Astronautics. AIAA paper N 2006-6753. 2006.—(<http://celestrak.com/publications/AIAA/2006-6753/>).

Статья поступила в редакцию 01.12.15