

УДК 520.25

НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КРУПНОГО МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ТЕЛЕСКОПА ПО СЛЕЖЕНИЮ ЗА КОСМИЧЕСКИМ МУСОРОМ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

Аглетдинов В. В., Воропаев В. А., Молотов И. Е., Мохнаткин А. В.,
Андриевский С. М.

RECENT RESULTS OF THE LARGE SPACE DEBRIS MODERNISED TRACKING
TELESCOPE IN THE NORTH CAUCASUS

Agletdinov V. V.* , Voropaev V. A.* , Molotov I. E.* , Mokhnatkin A. V.* , Andrievsky S. M.**

* Keldysh Institute of Applied Mathematics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

** Scientific Research Institute Astronomical Observatory of Odessa I. I. Mechnikov
National University, Odessa, Ukraine
e-mail: artspace3@mail.ru

Abstract. A relatively large aperture optical telescope for monitoring increasing debris population in a geosynchronous orbit (GEO) and a highly elliptical orbit (HEO) was recently repaired and renovated at the Peak Terskol Observatory after the long period of inactivity. The instrument placement at an altitude of 3100 meters provides pristine seeing conditions during on an average 1000 hours per year (about 1500 clear hours in general). This 80-cm telescope K-800, initially Cassegrain, was rebuilt for the observations in the prime focus with CCD technique due to the joint efforts of the International Scientific Optical Network (ISON) project and the Astronomical Observatory of Odessa I. I. Mechnikov National University.

Presently, the instrument with a 228 cm focal length, provided by the large-format $3k \times 3k$ CCD camera with $12 \mu\text{m}$ pixel pitch, has enlarged 55 arc minutes field of view and is able to detect up to 19th magnitude GEO and HEO objects using few second exposures in 2×2 binning readout mode. To summarise, the instrument has unique specifications for its location. Moreover, the K-800 telescope is still under rebuilding, thus further enhancement is expected.

Keywords: telescope, modernisation, observation statistics, space debris, GEO, HEO, observation automation, image processing

Введение

В то время, как большая часть наблюдений космического мусора на низких околоземных орбитах основана на радарных измерениях, оптические инструменты обеспечивают значительное преимущество в эффективности мониторинга растущей популяции космического мусора в областях геостационарных (ГСО) и высокоэллиптических орбит (ВЭО). В основном в таких наблюдениях задействованы наземные пассивные оптические

средства малых и средних апертур (например подсистема для обзорных наблюдений ГСО из 22-см телескопов ОРИ-22 [1]). В качестве таких инструментов часто используются серийные изделия, что в частности снижает затраты на создание и обслуживание наблюдательных пунктов. Серийно выпускаемые телескопы 65-см САНТЕЛ-650А, 40-см САНТЕЛ-400А и 25-см ГАС-250 вошли в состав мини-обсерваторий Роскосмоса ЭОП-1 и ЭОП-2 [2]. Данная тенденция ведет к быстро-

Аглетдинов Владислав Вячеславович, инженер Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: agletdinov@inbox.ru.

Воропаев Виктор Анатольевич, ведущий инженер Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: voropaev@keldysh.ru.

Молотов Игорь Евгеньевич, старший научный сотрудник Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: im62@mail.ru.

Мохнаткин Артём Витальевич, инженер Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail:artspace3@mail.ru.

Андриевский Сергей Михайлович, д-р физ.-мат. наук, профессор, директор Научно-исследовательский института «Астрономическая обсерватория» Одесского национального университета им. И. И. Мечникова; e-mail: scan@deneb1.odessa.ua.



Рис. 1. Общий вид телескопа «К-800» в начале 2017 г.

му разворачиванию оптических средств по всему миру (мини-обсерватории ЭОП-1 установлены в Бюракане (Армения), Научном и Кисловодске (Россия) [2], телескопы ОРИ-22 — в Андрушевке (Украина), Кастельгранде (Италия), Абастумани (Грузия), Китабе (Узбекистан), Благовещенске, Уссурийске и Елизово (Россия) [1]), благодаря чему может быть обеспечено покрытие всей геостационарной области с полнотой в зависимости от средней апертуры телескопов, их характеристик, приёмников излучения, структуры наблюдательных программ и, конечно, средств обработки изображений.

Однако использование относительно крупных уникальных инструментов также может внести существенный вклад в реализацию научных программ по наблюдению космического мусора. В данном случае, например, могут быть задействованы устаревшие или неработающие телескопы после их соответствующей модернизации — известные случаи — глубокая модернизация 80-см телескопа Ричи-Кретьена в Маяках (Украина) [3] и 50-см камеры Бейкер-Нана в Валенсии (Испания) [4].

1. Описание телескопа «К-800»

Телескоп «К-800» (в прошлом «АТ-80») на пике Терскол (Северный Кавказ), изображенный на рис. 1, впервые был задействован

для выполнения регулярных наблюдений в начале 70-х гг. XX в. После повсеместного прекращения производства фотопластинок наблюдения на инструменте стали невозможны. Впоследствии различными инициативными группами было предпринято несколько попыток восстановить регулярные работы на К-800 посредством переоборудования инструмента для ПЗС-наблюдений. Благодаря совместным усилиям Научной сети оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений (НСОИ АФН) [5] и Астрономической обсерватории Одесского национального университета, предпринятым начиная с 2007 г., летом 2016 г. на К-800 были начаты регулярные наблюдения. В течение года после возобновления постоянной работы инструмент показал неплохие результаты для выполнения различных задач, главным образом наблюдений объектов космического мусора.

Телескоп «К-800» с диаметром главного зеркала 80 см в прошлом имел систему Кассегрена, — теперь ПЗС-приёмник установлен в прямом фокусе, расположение инструмента на высоте около 3100 метров обеспечивает превосходную видимость и высокую проникающую силу. В настоящий момент инструмент имеет фокусное расстояние 228 см и снабжен $3k \times 3k$ ПЗС-камерой FLI Proline PL09000 с

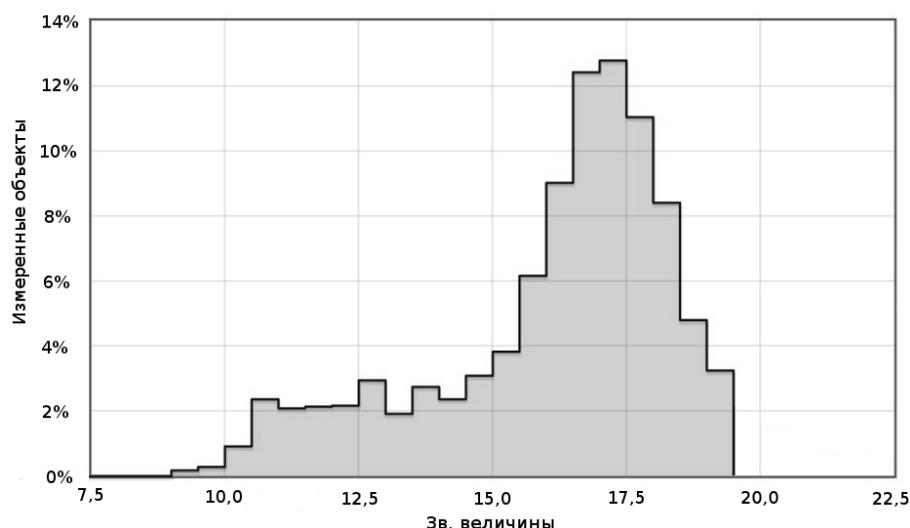


Рис. 2. Процентное распределение всех объектов в области ГСО, измеренных по наблюдениям К-800 во второй половине 2016 года

12 мкм пикселями, что соответствует квадратному полю зрения в 55 угл. мин. Также в прямом фокусе установлен линзовый корректор конструкции Г. В. Борисова и фокусёр FLI Atlas. В качестве управляющего контроллера используется изделие A&I GOTO SYSTEM 2.1, таким образом управление наведением может производиться по протоколу ASCOM различными программными пакетами. Синхронизация механического затвора ПЗС-камеры осуществляется с помощью высокоточных PPS-сигналов GPS-приёмника службы времени собственной разработки [6]. Существующая монтажировка телескопа с установленными шаговыми двигателями позволяет наблюдать относительно медленные геостационарные и высокоэллиптические объекты до 19 (19,2) звёздной величины с помощью 5–10 с экспозиций в режиме бинирования 2×2 . Такие характеристики инструмента являются уникальными для его долготы расположения ($42^\circ 30'$) в рамках задачи мониторинга и обнаружения слабых фрагментов космического мусора на геостационарной орбите. Летом 2017 г. на крыше павильона К-800 был установлен ИК-детектор облачного покрова Lunatico AAG CloudWatcher, после проведения калибровки прибор позволит судить как о количестве ясных часов в наблюдательном пункте, так и об относительной приемлемости ясных часов для наблюдения слабых объектов.

Следующий этап переоборудования инструмента будет включать установку ПЗС-

камеры с более крупной $2k \times 2k$ матрицей с 24 мкм пикселями, оснащение турелью со стандартными светофильтрами UBVR1, замену шаговых двигателей на двигатели постоянного тока с энкодерами и переалюминирование главного зеркала. Таким образом квадратное поле зрения инструмента может быть увеличено до 65–75 угловых мин., будет расширен круг задач по фотометрии космического мусора и астероидов, сближающихся с Землёй (АСЗ), на несколько десятых будет увеличена предельная наблюдаемая звёздная величина. Кроме того, рассматривается возможность установки в павильоне К-800 дополнительного инструмента малой апертуры.

2. Статистика наблюдений

Наблюдения на К-800 возможны более 150 ночей в течение около 1,5 тыс. ч. в году, что в сумме с хорошей видимостью и неплохими показателями модернизированного инструмента обеспечивает необходимые условия для эффективного наблюдения объектов на ГСО и ВЭО. Как правило, проводки объектов космического мусора осуществляются в полуавтоматическом режиме: наведение по целеуказаниям, съёмка объектов, обработка размеченных снимков — автоматически, выявление объектов на ПЗС-снимках — вручную оператором. В среднем до 1 тыс. измерений могут быть получены при благоприятных условиях в течение одной ясной ночи после обработки ПЗС-снимков в программ-

Таблица 1. Сводная статистика наблюдений на телескопе «К-800» в 2016–2017 гг.

2016–2017 гг.	Кол. ночей	Измер.	Проводки	Обслуж. объекты	Новые и потер. КО	ПЭ
Август	20	9 580	812	477	19	> 2 824
Сентябрь	11	7 579	806	406	13	> 218
Октябрь	4	4 336	498	221	4	568
Ноябрь	7	5 784	676	376	2	> 12
Декабрь	12	6 628	739	340	2	877
Январь	3	2 040	207	198	1	420
Февраль	5	2 240	207	179	2	713
Март	6	4 540	384	330	2	1340
Апрель	5	2 614	75	64	0	8
Май	21	4 752	405	264	4	2 157
Июнь	16	4 246	502	330	7	1 982
Июль	23	10 170	675	428	8	3311
Август	18	4 404	532	360	9	1 480
Всего	151	68 913	6 518	3 973	73	> 15 910

ном пакете APX [7]. Полученные измерения оперативно отправляются в Центр сбора и обработки информации по объектам техногенного происхождения (ЦСИТО) РАН в ИМП им. М. В. Келдыша РАН.

На протяжении второй половины 2016 г. была оценена эффективность использования инструмента для мониторинга малоразмерных объектов космического мусора в области ГСО.

Полученное распределение (рис. 2) включает в себя все объекты, попавшие в поле зрения инструмента, и имеет максимум около 17 зв. вел.

Таким образом, наблюдательные данные К-800 могут быть использованы для верификации модели популяции малоразмерной фракции космического мусора. Сводная статистика наблюдений модернизированного телескопа «К-800» представлена в табл. 1, где ПЭ — показатель эффективности согласно методике З. Н. Хуторовского (ПАО «МАК «Вымпел»). Всего за 13 мес. регулярной работы инструмента была 151 наблюдательная ночь, около 30 наблюдательных ночей было потеряно в данном промежутке по техническим или организационным причинам. Стоит отметить, что инструмент регулярно участвует в наблюдениях оптических послесвечений гамма-всплесков и АСЗ (в 2012 г. наблюдательному пункту был присвоен код Центра малых планет — D05).

Заключение

К-800 является успешным примером модернизации и вовлечения в научные исследования устаревшего неработающего телескопа средней апертуры. Данный инструмент некоторое время будет сохранять лидирующее место по проникающей способности среди телескопов, чье наблюдательное время полностью используется для задач НСОИ АФН, более того планируется дальнейшее техническое переоснащение инструмента для ещё большего увеличения его характеристик. Предполагается, что в такой ситуации среди прочего будет целесообразным увеличить количество наблюдательного времени, выделяемого на послесвечения гамма-всплесков и АСЗ.

Литература

1. Молотов И. Е., Агапов В. М., Ибрагимов М. А. и др. Глобальная система мониторинга геостационарной орбиты. // Материалы международной конференции «Околосемная астрономия-2007». Нальчик: Изд. М. и В. Котляровы. 2008. С. 309–314.
2. Molotov I., Agapov V., Makarov Yu. et al. EOP-1/EOP-2 mini-observatories for space debris observations: characteristics, tasks and first results of operation // Proceedings of the 65th International Astronautical Congress, Toronto, Canada. 2014. ISSN 1995-6258, IAC-14, A6, 1, 4, x23058, 4 pages.
3. Andrievsky S. M., Molotov I. E., Fashchevsky N. N. et al. A new 800 mm automatic telescope

- // Odessa Astronomical Publications. 2013. Vol. 26/1. pp. 6–25.
4. Octavi F., Jorge N., Luis M. J. et al. Telescope Fabra ROA Montsec: A New Robotic Wide Field Baker-Nunn Facility // Publications of the Astronomical Society of Pacific. 2013. Vol. 125. Issue 927. p. 522.
 5. Молотов И. Е., Агапов В. М., Куприянов В. В. и др. Научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений // Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове. 2009. № 219. Вып. 1. С. 233–248.
 6. Русаков О. П., Куприянов В. В. Устройство для синхронизации наблюдений со службой точного времени GPS на базе модуля «Trimble Resolution T» // Радиотехнические тетради. 2008. № 36. С. 25.
 7. Куприянов В. В. Астрометрическая редукция ПЗС-обзоров области ГСО в системе APEX II // Радиотехнические тетради. 2008. № 36. С. 34–35.
- References**
1. Molotov I. E., Agapov V. M., Ibragimov M. A. et al. Global'naya sistema monitoringa geostacionarnoj orbity [The global system for the geostationary orbit monitoring]. Materialy mezhdunarodnoj konferentsii «Okolozemnaya astronomiya-2007». Nal'chik: Izd. M. i V. Kotlyarovy [Transactions of the International Conference Near-Earth Astronomy-2017. Nalchik: M. and V. Kotlyarovy], 2008, pp. 309–314. (In Russian)
 2. Molotov I., Agapov V., Makarov Yu. et al. EOP-1/EOP-2 mini-observatories for space debris observations: characteristics, tasks and first results of operation. Proceedings of the 65th International Astronautical Congress, Toronto, Canada, 2014, ISSN 1995-6258, IAC-14, A6, 1, 4, x23058, 4 pages.
 3. Andrievsky S. M., Molotov I. E., Fashchevsky N. N. et al. A new 800 mm automatic telescope. Odessa Astronomical Publications, 2013, vol. 26/1, pp. 6–25.
 4. Octavi F., Jorge N., Luis M. J. et al. Telescope Fabra ROA Montsec: A New Robotic Wide Field Baker-Nunn Facility. Publications of the Astronomical Society of Pacific, 2013, vol. 125, issue 927, p. 522.
 5. Molotov I. E., Agapov V. M., Kouprianov V. V. et al. Nauchnaya set' opticheskikh instrumentov dlya astrometricheskikh i fotometricheskikh nablyudeniy [Scientific network of optical instruments for astrometric and photometric observations]. *Izvestiya Glavnoy astronomicheskoy obsekvatorii v Pulkove* [Transactions of the Central Astronomical Observatory at Pulkovo], 2009, no. 219, iss. 1, pp. 233–248. (In Russian)
 6. Rusakov O. P., Kouprianov V. V. Ustroystvo dlya sinkhronizatsii nablyudeniy so sluzhboy tochnogo vremeni GPS na baze modulya "Trimble Resolution T" [Device for synchronization of observations with service of GPS precise time on base of "Trimble Resolution T" module]. *Radiotekhnicheskiye tetradi* [Radio Engineering Notebooks], 2008, no. 36, p. 25. (In Russian)
 7. Kouprianov V. V. Astrometricheskaya reduktsiya PZS-obzorov oblasti GSO v sisteme APEX II [Astrometric reduction of CCD surveys of the GEO region using the APEX II software toolkit]. *Radiotekhnicheskiye tetradi* [Radio Engineering Notebooks], 2008, no. 36, pp. 34–35. (In Russian)