

*А. В. ДИДЕНКО, Б. И. ДЕМЧЕНКО, А. А. КОМАРОВ, М. В. НИФОНТОВА, Л. А. УСОЛЬЦЕВА*

(ДТОО «Астрофизический институт им. Фесенкова», Алматы, Республика Казахстан)

## **ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ГСС НА 1-М ТЕЛЕСКОПЕ С ПЗС-МАТРИЦЕЙ**

**Аннотация.** Представлены предварительные результаты исследований, связанных с разработкой мето-дики наземных наблюдений и программного комплекса для получения и обработки координатной и фотомет-рической информации о малоразмерных фрагментах космического мусора, находящихся на геостационарных орбитах. В качестве основы исследований использованы имеющиеся наработки, в том числе и разработанный ранее комплекс программ информационной базы данных по ГСС и идентификации космических объек-тов. Для оценки возможностей системы ПЗС-матрица – телескоп проведены наблюдения звездных полей и ряда ГСС на 1-м телескопе Тянь-шанской обсерватории с ПЗС-матрицей ALTA U10. Результаты показывают, что разрабатываемая методика наблюдений малоразмерных ГСС и их обработки может быть использована для получения координатной информации.

**Ключевые слова:** космический мусор, геостационарная орбита, информационная база данных, ПЗС-матрица.

**Тірек сөздер:** ғарыштағы қоқыс, геостационарлы орбита, ақпараттық мәліметтер базасы, ЗБА-матрицасы.

**Keywords:** space debris, geostationary orbit, information database, CCD-camera.

ПЗС-матрицы используются наземными службами наблюдений для поиска и сопровождения малоразмерных объектов на высоких орбитах уже в течение многих лет. Тем не менее, проблемы модернизации применяемой аппаратуры, совершенствования методик наблюдения и обработки получаемой информации нельзя считать решенными. Как правило, для каждого конкретного пунк-та наблюдений (ПН) подбирается (разрабатывается или дорабатывается) своя методика. Дело в том, что в выполнении таких работ участвуют не специализированные, а обычные оптические инструменты, имеющиеся в ПН. В зависимости от финансовых возможностей обсерваторий они дооснащаются светоприемниками, необходимым вспомогательным оборудованием и соответст-вующим программным обеспечением. При этом приходится решать ряд новых задач, связанных с автоматической обработкой ПЗС-кадров; поиском и построением наиболее оптимальных стратегий наблюдения для разных классов орбит в зависимости от типа используемого телескопа; автома-тической сортировкой и идентификацией полученных координатных измерений по каждому из наблюдавшихся объектов. Следует подчеркнуть, что стоимость ПЗС-матриц, которые могут быть использованы для

получения координатной и фотометрической информации о фрагментах космического мусора (КМ), очень высока.

Работы в этом направлении активно развиваются многими международными организациями и кооперациями, и РК не является исключением. Регулярное сопровождение работающих аппаратов и крупных фрагментов КМ на геостационарных орбитах (ГСО) проводится в Астрофизическом институте им. В. Г. Фесенкова с начала 1980-х годов. Наземными пунктами наблюдений РК конт-ролируется геостационарная зона в диапазоне долгот подспутниковых точек от  $10^\circ$  до  $140^\circ$  в.д. Существующая база данных (БД) и Зональный каталог геостационарных объектов по состоянию на начало 2013 года включают координатную информацию для 1063 ГСС не слабее  $15^m,5$  в том числе – для 270 из них – фотометрическую. В их составе только 266 корректируемых (работающих аппаратов), все остальные – отработавшие свой срок (пассивные) спутники и крупные фрагменты космического мусора.

В качестве базового пункта наблюдений ГСС в Астрофизическом институте им. В. Г. Фесенкова использовался 70-см телескоп АЗТ-8, расположенный в районе Каменского плато. Но в последние годы условия наблюдений здесь существенно ухудшились из-за городской подсветки. Поэтому было принято решение о переносе наблюдений ГСС на 1-м телескоп Цейсса Тянь-Шаньской обсерватории и переходе на ПЗС-матрицу для того, чтобы обеспечить получение информации о малоразмерных фрагментах КМ.

В связи с этим необходимо было разработать (или адаптировать имеющиеся) методику проведения наблюдений и программное обеспечение. За основу этих исследований принят многолетний опыт наблюдений ГСС и программный комплекс, предназначенный для их обработки и получения информации о пространственно-временной ориентации, стабилизации и идентификации КА [1, 2]. Адаптация программного обеспечения к наблюдениям с ПЗС-матрицей предусматривала включение в основной комплекс автономных программ, учитывающих специфику наблюдаемых объектов и используемого приемника, комплекс программ проверки оборудования.

Основная проблема, возникающая при работе с ПЗС-матрицей, – небольшое поле зрения установки, в которое попадает мало опорных звезд. В системе 1-м телескоп Цейсса – ALTA U-10 оно составляет всего  $7,4 \times 7,4$ . Поэтому при проведении наблюдений логично использовать метод «прямых» отсчетов», а в качестве опорного астрометрического каталога – упакованный вариант ТУСНО-2. При этом в обработку наблюдений включаются все звезды, наблюдаемые в течение ночи, а не только те, которые расположены в непосредственной близости от ГСС. Это позволяет свести до минимума время, необходимое для наблюдения опорных звезд по трассе движения объекта, и проводить поисковые работы. Данный метод апробирован при работе ПН в г. Приозерске.

Основные требования, предъявляемые к методике наблюдений, сводятся к периодическому учету геометрических искажений оптической системы канала регистрации изображения, корректному определению центра тяжести изображения звезд и объекта, использованию внутренне согласованного астрометрического каталога опорных звезд. Для учета геометрических искажений канала регистрации астрометрической

информации предлагается использовать калибровочную тест – решетку, установленную на входе в систему.

В основной комплекс программ получения и обработки астрометрической информации с использованием метода «прямых» отсчетов и ПЗС-матрицы включены: управляющая программа, прием и предварительная обработка ПЗС-кадра, обработка калибровочной (дисторсионной) решетки, астрометрическая обработка, формирование файла результатов астрометрической обработки. Кроме этого есть автономные программы, обеспечивающие работу основного комплекса, в том числе привязку получаемой информации к сигналам точного времени, комплекс программ проверки оборудования.

Во второй половине 2012 г. было проведено несколько сеансов пробных наблюдений звездных полей и ГСС для оценки возможностей системы ПЗС-матрица – телескоп и работоспособности программного обеспечения. При регистрации точного времени использовалась синхронизация системных часов ПК с NTP-серверами, передающими информацию о точном времени по протоколу NTP. При этом учитывалась задержка по времени, связанная с прохождением сигналов по сети INTERNET. Работу телескопа обеспечивали Н.В. Личкановский и И.В. Рудаков под руководством М. Кругова.

В качестве примера на рисунках 1 и 2 показаны изображения звездного поля и ГСС Казсат-2, полученные в августе 2012 г.

Рисунок 1 – Снимок звездного поля вблизи планетарной

туманности М 5, получен 25.08.2012 в кассегреневском фокусе

1-м телескопа Цейсс Тянь-Шаньской обсерватории,

ПЗС-камера ALTA U10, поле зрения  $7',4 \times 7',4$ , экспозиция 240 секунд. Стрелкой отмечена звезда  $19,^m7$

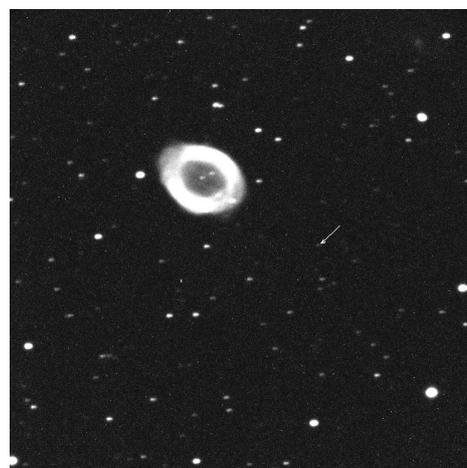




Рисунок 2 – Снимки ГСС Kazsat-2, полученные в Кассегреновском фокусе 1-м телескопа Тянь-Шаньской обсерватории

с ПЗС-камерой ALTA U10: слева – с остановленным часовым ведением, справа – с часовым ведением, экспозиция 10 сек.

#### Список наблюдавшихся геостационарных спутников

№	Название ГСС	Международ. номер	Дата наблюдений	Кол-во снимков	Звездная величина	$\sigma$
1	Kazsat-2	11035B	18.08.2012	16	12. <sup>m</sup> 5	$\pm 15''$
			25.08.2012	24		
2	NROL-32 (USA 223)	10063A	18.08.2012	16	8.2	$\pm 15''$
			25.08.2012	10		
3	EXPRESS-AM 2	05010A	18.08.2012	18	12.0	$\pm 18''$
			25.08.2012	14		
4	Фрагмент	90002	18.08.2012	10	16.8	$\pm \pm 20''$
5	ORION 4	09001A	18.08.2012	10	8.4	$\pm 17''$
			25.08.2012	14		

Список наблюдавшихся геостационарных спутников приведен в таблице, там же указаны их международные номера, даты наблюдений, количество полученных кадров,

звездные величины объектов. В последнем столбце – результаты оценки «внешней» точности (величина среднеквадратической ошибки  $\sigma$ ). Для этих оценок мы использовали результаты наблюдений тех же самых ГСС на ПН КОС «Сажень» полигона Сары-Шаган (РК) и Уссурийске (РФ).

Как видим, величины  $\sigma$  достаточно велики, хотя они и соответствуют стандартам, принятым при построении орбит с нескольких пунктов наблюдений.

Из 450 кадров, полученных в течение двух наблюдательных ночей, только в одном кадре оказалось три каталожных звезды, в восьми – две, во всех остальных – одна или ни одной. В сред-нем в поле зрения  $7,4 \times 7,4$  попадает 0,8 звезды из каталога ГУСНО-2, откуда следует, что применение метода «прямых» отсчетов с использованием всех звезд, наблюдаемых в течение ночи, – это насущная необходимость.

Результаты проведенных наблюдений показали, что основная погрешность связана с приемом сигналов точного времени и его привязкой ко всемирному времени. Необходима доработка самой системы приема сигналов точного времени и ряда вспомогательных программ, связанных этим процессом. В целом разрабатываемая методика наблюдений малоразмерных ГСС и их обработки, безусловно, может быть использована для получения координатной информации.

Очевидно, что для того, чтобы иметь представление о реальной ситуации с засорённостью в области ГСО, следует привлекать все имеющиеся наземные средства слежения за работающими аппаратами и фрагментами КМ. Подключение 1-м телескопа Тянь-Шаньской обсерватории – это вклад РК в решение проблем околоземной астрономии. Телескопы небольшого размера широко используются сейчас наземными ПН во всем мире. Разрабатываемая методика наблюдений и обработки получаемой информации может быть адаптирована на любом из них. Это позволит существенно расширить и дополнить имеющиеся БД, создать основу для формирования архива слабых ГСС, необходимого для изучения их физических свойств и вероятных источников образования. Получаемая информация может быть использована и отечественными, и зарубежными центрами обработки информации для выполнения совместных международных научных программ, при анализе аварийных ситуаций на околоземных орбитах, моделировании обстановки в около-земном космическом пространстве, разработке механизмов контроля за его мирным использованием.

*Работа выполнена в рамках бюджетной программы 002 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности», шифр О.0577.*

## ЛИТЕРАТУРА

1 Диденко А. В., Демченко Б.И., Усольцева Л.А. Автоматизированный комплекс обработки и анализа координатной и фотометрической информации о ГСС // Доклады II Междунар. науч. конф. «Наблюдение околоземных космических объектов», Звенигород, 24–28 января 2008 г. <http://lfvn.astronomer.ru/report/0000027/index/htm>

2. Диденко А.В., Демченко Б.И., Нифонтов С.Г., Нифонтова М.В., Усольцева Л.А. Программный комплекс обработки и анализа координатной и фотометрической информации о ГСС, используемый в АФИФ РК // V Междунар. науч. конф. «Наблюдения околоземных космических объектов», 10-12 ноября 2011, Звенигород, РФ. <http://astronomer.ru/ru/publications-ru/conference-presentations-ru/79-presentation-ru-11-12-12.html>

## REFERENCES

1 Didenko A.V., Demchenko B.I., Usoltseva L.A. Avtomatizirovannyj kompleks obrabotki i analiza koordinatnoj i photometrisheskoj informatzii o GSS. Doklady II Mezgynarodnoy naychnoj konferentzii “Nabljudeniya okolozemnyh kosmicheskikh ob’ektov”, Zvenigorod, 24-28 Janvarja **2008**. (in Russ). <http://lfvn.astronomer.ru/report/0000027/index/htm>

2 Didenko A.V., Demchenko B.I., Nifontov S.G., Nifontova M.V., Usoltseva L.A. Programmnyj kompleks obrabotki i analiza koordinatnoj i photometrisheskoj informatzii o GSS, ispoljzemyj v AFIF RK. V Mezgynarodnaja naychnaja konferentzija “Nabljudeniya okolozemnyh kosmicheskikh ob’ektov”, 10-12 Nojabrja **2011**, Zvenigorod, RF. (in Russ). <http://astronomer.ru/ru/publications-ru/conference-presentations-ru/79-presentation-ru-11-12-12.html>

## Резюме

*А. В. Диденко, Б. И. Демченко, А. А. Комаров, М. В. Нифонтова, Л. А. Усольцева*

(«Фесенков атындағы Астрофизика институты» ЕЖШС, Алматы, Қазақстан Республикасы)

## ЗБА-МАТРИЦАСЫ БАР 1-М ТЕЛЕСКОПТА АЛДЫН АЛА ГСС БАҚЫЛАУ НӘТИЖЕЛЕРІ

Геостационарлы орбиталардағы ғарыш қоқыстарының кіші өлшемді бөлшектерінің координаты өңдеу-лерін және фотометрлік ақпараттарын алу үшін, бағдарламалар жиыны және жерден бақылау әдістерін өң-деулерге байланысты алдын ала зерттеу нәтижелері берілген. Зерттеудің негізгі есебіне, ғарыш объектілерін сәйкестендіру және ГСС бойынша алдын ала өңделген ақпарат бағдарламалар базасының мәліметтер жиыны және алдын ала атқарылған жұмыстар қолданылды. ALTA U10 Зарядталған байланыстағы аспапты (ЗБА) – матрицасы бар Тянь-Шань обсерваториясындағы 1-м телескоппен ГСС

бірқатарының және жұлдыздарының өрісін бақылайтын телескоптың ЗБА-матрица жүйесінің мүмкіншілігіне бағалау жүргізілді. Нәтижелер, кіші көлемді ГСС бақылау әдістерін әзірлеу және оларды өңдеу координатың ақпараттар алу үшін қолдануға болатындығын көрсетті.

**Тірек сөздер:** ғарыштағы қоқыс, геостационарлы орбита, ақпараттық мәліметтер базасы, ЗБА-мат-рицасы.

## Summary

*A. V. Didenko, B. I. Demchenko, A. A. Komarov, M. V. Nifontova, L. A. Usoltseva*

(DТОО «Fesenkov Astrophysical Institute», Almaty, Republic of Kazakhstan)

### THE PRELIMINARY RESULTS OF GSS' OBSERVATIONS WITH 1-TELESCOPE AND CCD CAMERA

There are the preliminary results of researches about the development of methodic of ground-based observations of small geostationary space debris and a program complex for processing and analysis their coordinate and photo-metric information. We used the results of our early investigations including the program complex of GSS's information database as a basis of that researches .

In order to estimate the possibility of the system: telescope – CCD-camera we carried the observations of star fields and some GSS on 1-m telescope Tian-shan observatory with CCD camera ALTA U10. The received information confirms that the developed technique of observations and their processings can be used for reception of the coordinate information about the geostationary objects.

**Keywords:** space debris, geostationary orbit, information database, CCD-camera.

*Поступила 2.09.2013г.*