

А.А. Маткин, Г.И. Корниенко

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ И КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

Приведены характеристики и возможности инструментального комплекса УАФО ДВО РАН, созданного в 2002–2012 гг. для наблюдений и исследований объектов в околоземном космическом пространстве. Описаны результаты работы комплекса в 2012 г.

В настоящее время околоземное космическое пространство довольно плотно заселено объектами техногенной природы. Это, прежде всего, космические аппараты, как функционирующие, так и уже выработавшие свой ресурс. Их на различных орбитах с высотами от нескольких сотен км до нескольких сотен тысяч километров сейчас несколько тысяч единиц. Более многочисленный класс объектов – так называемый космический мусор, к которому относятся как объекты запусков космических аппаратов (ступени ракет-носителей, топливные баки, разгонные блоки и т.п.), так и фрагменты разрушенных аппаратов. По различным оценкам, этих объектов (размеры от метров до нескольких сантиметров) насчитывается несколько сотен тысяч. Отработавшие космические аппараты также можно отнести к космическому мусору. Ситуация усугубляется тем обстоятельством, что объекты, находящиеся на высоких орбитах (выше 2000 км над земной поверхностью), практически не испытывают трения с земной атмосферой и будут находиться там неопределенно долгое время. Весь космический мусор, включая мелкие фрагменты сантиметровых размеров, из-за больших скоростей движения по орбитам (около 8 км/с) представляет реальную угрозу космической деятельности человечества. Так, уже наблюдалось несколько столкновений действующих космических аппаратов с фрагментами космического мусора, что

неизбежно приводило к разрушению функционирующих дорогостоящих объектов и увеличению количества космического мусора. Необдуманные эксперименты в ближнем космосе также являются причиной накопления космического мусора. К таким экспериментам можно отнести несколько опытов по намеренному уничтожению космического аппарата ракетой, в результате чего появляются несколько тысяч осколков. В дальнейшем, если не будут предприняты специальные меры, плотность космического мусора будет только увеличиваться, следовательно, будет возрастать угроза столкновений.

Все крупные космические державы уделяют большое внимание мониторингу и каталогизации объектов на околоземных орбитах. В России гражданская система мониторинга начала воссоздаваться в самом начале XXI века. Для эффективных оптических наблюдений космического мусора необходимо иметь набор специализированных астрономических инструментов. Низкоорбитальные объекты с большими угловыми скоростями движения требуют наличия широкоугольных телескопов с возможностью сопровождения объекта. Для наблюдений малоразмерных фрагментов космического мусора необходимо использовать достаточно крупные инструменты с оптикой диаметром 1 м и более.

В России в настоящее время начаты работы по программе создания и поддержки автоматизированной системы прогнозирования опасных ситуаций в околоземном космическом пространстве. Естественно, что объектами наблюдений и исследований такой системы, помимо космического мусора, являются астероиды и кометы, сближающиеся с Землей.

В Уссурийской астрофизической обсерватории регулярные работы по изучению околоземного космического пространства начаты в 2005 г. В настоящее время измерительный комплекс включает три специализированных телескопа, ориентированных на различные задачи, и вспомогательное оборудование.

Телескоп ГАС-250 (диаметр объектива $D = 250$ мм, фокусное расстояние $F = 740$ мм) установлен на монтировке 15-см рефрактора (рис. 1). Монтировка снабжена градуированными кругами, цена деления по часовой оси $30'$, а по оси склонений – $10'$. На ось склонений установлен электромотор с редуктором, обеспечивающий скорость



Рис. 1. Телескоп ГАС-250 на монтировке 15-см рефрактора

движения 10° в мин. Дополнительный электромотор с редуктором по часовой оси позволяет вращать ее со скоростью 25° в мин. Скорости движения по часовой оси могут быть в два раза уменьшены или увеличены выбором других пар шестерен редуктора.

В утепленном боксе располагается компьютер и пульт управления телескопом. Наведение телескопа осуществляется с пульта управления по шкалам кругов склонений и часового, снабженных компактными видеокамерами, изображения с которых передается на телевизор.

Регистрация изображений осуществляется ПЗС-камерой PL09000 с матрицей 3056-3056 элементов. Поле зрения телескопа – $2,8 \cdot 2,8$ град, масштаб – $3,33''$ на пиксель. Перед ПЗС-камерой установлена турель с набором стандартных фильтров В-V-R-I. Телескоп позволяет наблюдать объекты до 16,5 звездной величины. Помимо мониторинга объектов околоземного космического пространства, на

телескопе проводятся наблюдения комет и оптических послесвечений космических гамма-всплесков.

В 2012 г. проведены работы по подготовке площадки для переустановки телескопа ГАС-250. Телескоп будет установлен на полностью автоматизированной монтировке WS-180 внутри павильона астрономического фотографического рефрактора (АФР) (рис. 2) рядом с телескопом ORI-22.



Рис. 2. Телескоп ORI-22 в павильоне АФР

Телескоп ORI-22 (диаметр объектива $D = 220$ мм, фокусное расстояние $F = 519$ мм) установлен в павильоне АФР под откатной крышей на автоматизированной монтировке EQ6 (рис. 2). Регистрация изображений осуществляется ПЗС-камерой PL4301E с матрицей $2084 \cdot 2084$ элементов, поле зрения телескопа – $5,5 \cdot 5,5^\circ$, масштаб изображения – $9,54$ угловые секунды на пиксель.

Для управления монтировкой телескопа и ПЗС-камерой в настоящее время используется программа CHAOS, имеется возможность

программного и дистанционного управления монтировкой. В соседнем с павильоном утепленном помещении установлен управляющий компьютер для телескопа ORI-22, расстояние между телескопом и компьютером около 5 м.

При помощи телескопа ORI-22 регулярно проводятся обзоры геостационарной области в автоматическом режиме. При обзорах экваториальной области шаг сканирования по обеим осям выбран равным 5° . Это обеспечивает перекрытие соседних площадок и позволяет за одну ночь пройти всю доступную область экватора при наиболее благоприятных фазовых углах наблюдаемых объектов. Наряду с этим реализованы обзорные наблюдения на основе барьерного метода. Проницающая сила телескопа до 16 звездной величины.

Пятидесятисантиметровый телескоп ORI-50 (рис. 3) установлен в обсерватории в ноябре 2008 г. В 2011 г. выполнены работы по замене системы управления монтировкой телескопа, начаты регулярные наблюдения малоразмерных космических объектов, оптических послесвечений космических гамма-всплесков, астероидов и комет. Телескоп укомплектован ПЗС-камерой FLI PL 4301, которая имеет физический размер матрицы $50 \cdot 50$ мм, что позволило увеличить поле зрения инструмента до $2,5 \cdot 2,5^\circ$. Фокусное расстояние телескопа – 1120 мм, масштаб изображения – $4,3''$ на пиксель, предельная звездная величина при работе в обзорном режиме – 18,3. Наблюдения с помощью телескопа ведутся в автоматическом режиме с возможностью удаленного управления. В ближайшее время запланированы работы по установке автоматизированного купола 50-см телескопа и модернизации его павильона.

Обзорные наблюдения объектов геостационарной области выполняются на основе барьерного метода. Суть метода заключается в перекрытии траекторий известных объектов в местах с их наибольшей плотностью с учетом начальных и граничных условий. В качестве начальных условий выступают характеристики оборудования: поле зрения телескопа, скорость наведения, скорость считывания изображения. Под граничными условиями понимаются физические ограничения по возможности наблюдения объектов: высота над горизонтом, близость к млечному пути, величины фазового угла, фаза



Рис. 3. Телескоп ORI-50

Луны и т.п. Ширина барьера выбирается, исходя из размера поля зрения телескопа, с учетом небольшого перекрытия.

На рис. 4 приведена схема планирования обзорных наблюдений для поисково-обзорных телескопов. На графике точками нанесены положения известных геостационарных объектов в экваториальной системе координат (дельта – склонение, альфа – прямое восхождение) в заданный момент времени. Прямоугольники обозначают планируемую последовательность проекций поля зрения телескопа на небесную сферу, которая выбрана на основе указанных выше ограничений.

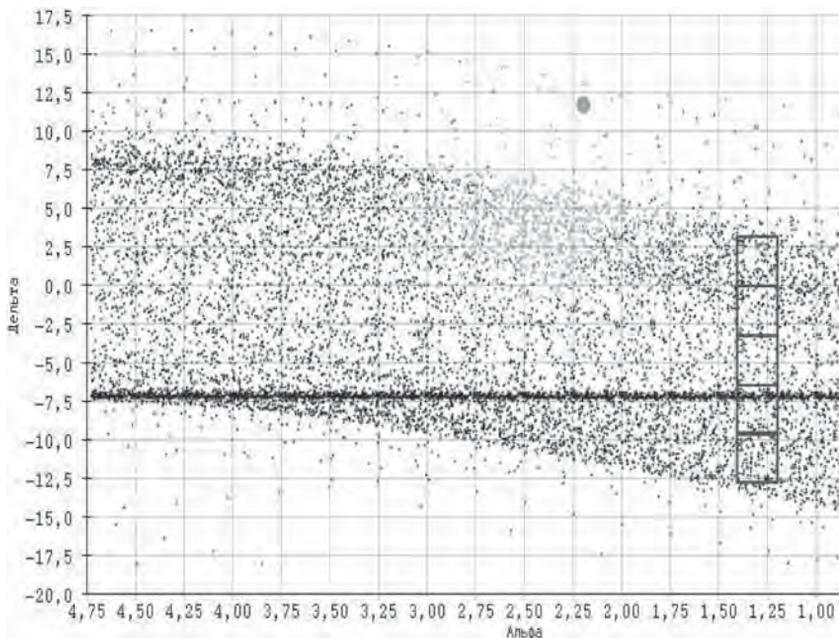


Рис. 4. Схема планирования обзорных наблюдений. Пояснения см. в тексте

Обзорные наблюдения малоразмерных фрагментов космического мусора выполняется на основе оптимизации барьерного метода. Суть оптимизации сводится к построению распределения траекторий известных фрагментов и отсутствию зависимости яркости объектов от фазового угла для малоразмерных объектов. Планирование наблюдений по отдельным околоземным космическим объектам выполняется на основе расчета траекторий, скоростей движения и физических ограничений со стороны условий видимости объекта и параметров телескопа.

Для определения орбит исследуемых геостационарных объектов с необходимой точностью требуется временная привязка кадров изображения не хуже чем 0,01 с. Это обеспечивается GPS-приемниками, подключенными к регистрирующим ПЗС-камерам каждого телескопа, входящего в комплекс. Некоторые результаты работы по данной программе приведены в [1–3].

В мае 2012 г. в обсерватории установлено дополнительное оборудование для сбора и обработки астроклиматических параметров. Компонентами комплекса являются метеостанция, датчик облачности и камера всего неба. Комплекс интегрирован в наблюдательную подсистему и позволяет контролировать астроклиматические параметры в реальном времени. Благодаря этому расширились возможности по выбору доступных для наблюдения областей неба, а значит повысилась эффективность работы, увеличилось количество используемого наблюдательного времени. Информация по характеристикам астроклимата формируется в электронный массив. По накоплению достаточного объема статистических данных планируется детальное исследование астроклимата обсерватории.

На рис. 5 приведен снимок небесной полусферы, полученный камерой всего неба при времени экспозиции 60 с. Камера работает в автоматическом режиме при положении Солнца ниже 10° под горизонтом. Проницающая сила камеры всего неба при экспозиции 1

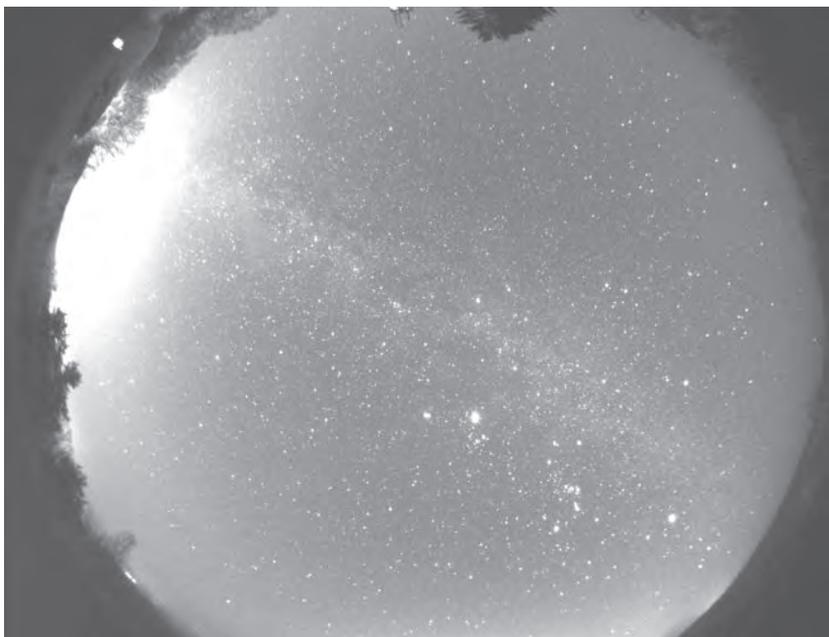


Рис. 5. Кадр обзорной камеры всего неба

мин – 7-я звездная величина. Помимо метеорологических параметров, таких как облачность, ее динамика и скорость ветра, камера регистрирует яркие ИСЗ, визуальные метеоры, гроззовые разряды.

С осени 2012 г. в обсерватории проводятся измерения астрономического качества неба. Для этой цели используется измеритель уровня фона неба. Прибор представляет собой калиброванный фотоэлектронный датчик с телесным углом обзора 7° , ориентированный в направлении на зенит. Проведенные измерения значений фона неба в обсерватории показали, что минимальный фон составляет 21,6 звездной величины с 1 квадратного градуса.

Обработка изображений наблюдаемых объектов выполняется с помощью программного пакета Арех II. Средняя точность измерения единичного астрометрического положения не хуже 1–2. Управление наведением телескопа на объект, сопровождение с заданными скоростями, планирование наблюдений и выбор режима экспозиций осуществляется в программе CHAOS.

На телескопах комплекса проводятся регулярные наблюдения объектов в околоземном космическом пространстве. Сводка данных о результатах наблюдений в 2012 г. приведена в таблице.

Сводка данных о результатах наблюдений в 2012 г.

Телескоп	Ночи с наблюдениями	Проводки	Измерения
ГАС-250	159	6125	59 592
ORI-22	162	42 010	273 636
ORI-50	137	11 619	75 801

Важным результатом, полученным обсерваторией, является обнаружение в 2012 г. 134 новых некаталогизированных объектов на геостационарной и высокоэллиптической орбитах и вычисление параметров их орбит.

Помимо работ по контролю околоземного космического пространства, на двух телескопах комплекса в 2012 г. проводились наблюдения оптических источников, связанных с космическими гамма-

всплесками, регистрируемыми специализированными космическими аппаратами. При помощи телескопа ORI-50 обнаружены два таких источника, выполнена их фотометрическая обработка.

На рис. 6 приведена световая кривая (зависимость блеска источника от времени) для гамма-всплеска GRB 121011, построенная по результатам наблюдений при помощи 50-сантиметрового телескопа.

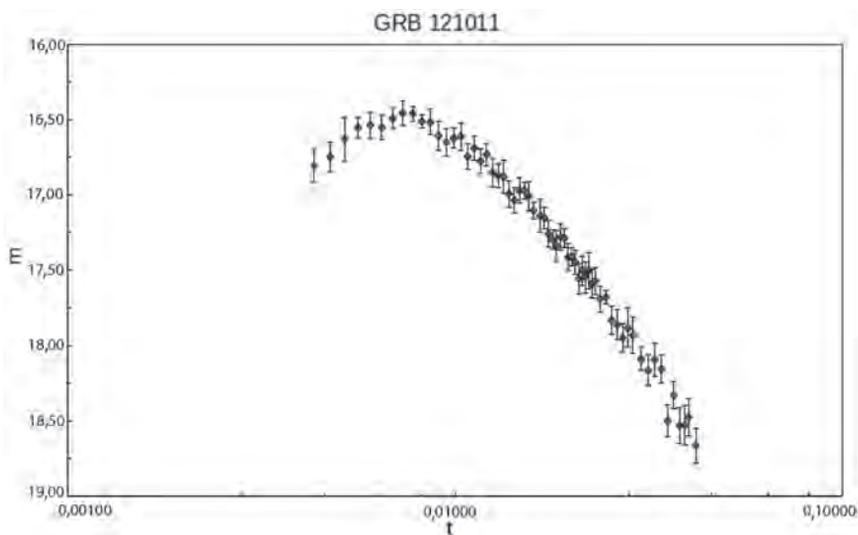


Рис. 6. Световая кривая оптического источника 11 октября 2012 г. m – блеск источника в звездных величинах, t – время в долях от суток от момента регистрации источника

В ближайшее время астрономический инструментальный комплекс обсерватории получит дальнейшее развитие. Так, в первом полугодии 2013 г. будет установлен и введен в эксплуатацию новый телескоп $D = 650$ мм, фокусное расстояние $F=1200$ мм на автоматизированной монтировке. Он позволит наблюдать слабые объекты до 20–21-й звездной величины. Основные цели, для которых предназначен телескоп, – исследование малоразмерных фрагментов космического мусора, астероидов и оптических компонент космических гамма-всплесков.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Корниенко Г.И., Ерофеева А.В.* Астрономические исследования объектов ночного неба на Дальнем Востоке России. Состояние и перспективы // Вестн. ДВО РАН. 2007. Вып. 6. С. 42–47.
2. *Молотов И.Е.* и др. Глобальная система мониторинга геостационарной орбиты // Матер. междунар. конф. «Околосземная астрономия-2007». Нальчик: Изд. М. и В. Котляровы, 2008. С. 309–314.
3. *Pandey S.B.* et al. Multi-wavelength observations of afterglow of GRB 080319B and the modeling constrains // *Astron. and Astrophys.* 2009. Vol.504. P.45–51.