

ПОИСК И НАБЛЮДЕНИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ В ОКОЛОЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ НА ТЕЛЕСКОПЕ «ЦЕЙС-1000» В КРАО

Николенко И. В.¹, Неяченко Д. И.¹, Зенькович А. Д.¹,

Смирнов М. А.², Крючков С. В.², Барабанов С. И.²

¹Крымская Астрофизическая обсерватория, Украина

²ИНАСАН, Россия

В настоящее время в оптическом отделении лаборатории радиоастрономии (РА) КРАО наиболее значительной программой является позиционные и фотометрические наблюдения небесных тел искусственной и естественной природы в околоземном пространстве на телескопе «Цейс-1000». Эти наблюдения проводились с момента ввода в строй этого инструмента в 1988 году.

Для увеличения поля зрения инструмента была разработаны и созданы системы укорочения фокуса. С использованием ПЗС-камеры ST-6 предельная звёздная величина 21^m , при использовании опорного каталога GSC и USNO-2A точность определения положений относительно звёзд опорного каталога составляет $0.1''$, точность определения угловых координат объектов составляет $0.5''$. Поле зрения составляет до $15' \times 17'$. Для фотометрических наблюдений астероидов в системе BVR используются сменные фильтры. С 1995 года на телескопе «Цейс-1000» совместно с Институтом астрономии РАН проводятся регулярные наблюдения метровых и декаметровых тел в составе метеорных потоков за пределами земной атмосферы. В ходе проведенных наблюдений вблизи радиантов потоков Персеид, Геменид, Каприкорнид и Комид был обнаружен 31 объект метрового и декаметрового размера. Обнаружен новый класс объектов в метеорных потоках — объекты размерами метры и декаметры, получена оценка доли таких объектов в метеорных потоках. По результатам наблюдений показано, что метеорные и болидные потоки содержат небесные тела, представляющих опасность столкновения с Землей. Периоды активности таких потоков указывают пространственные направления и интервалы времени повышенной интенсивности потока крупных тел в околоземном пространстве.

Другим типом объектов в околоземном пространстве являются искусственные спутники Земли. Для наблюдений геосинхронных объектов используется доработанная камера ST-6, снабженная быстрым затвором с системой регистрации времени до 1 мс, что позволяет проводить позиционные наблюдения с неподвижным телескопом.

Наблюдения околоземных небесных тел было и остается одной из основных программ работы на 1-м телескопе «Цейс-1000» (Рис. 1).

Основными направлениями работы были и являются следующие: позиционные наблюдения геосинхронных спутников; фотометрические наблюдения геосинхронных спутников; поисковые наблюдения крупных тел в метеорных и болидных потоках; позиционные наблюдения астероидов; фотометрия астероидов, сближающихся с Землей.

За прошедшие годы сменилось несколько научных программ и несколько поколений светоприемной аппаратуры, на которой проводятся наблюдения. Первая телевизионная система, позволившая проводить фотометрические наблюдения геосинхронных спутников, была создана в начале 1990-х годов [1]. Вскоре она была усовершенствована, и позволила проводить не только фотометрические, но и позиционные наблюдения геосинхронных спутников [2]. В этой системе в качестве светоприемника использовалась гибридная ТВ-камера ПГ-3, включающая 3-каскадный ЭОП и ПЗС-камеру. Размер кадра был ограничен 256 x 256 пикселями, оцифровка изображений составляла 256 градаций. Время накопления варьировалось от 0.02 до 3 с, что было обусловлено высоким уровнем шумов при работе без охлаждения светоприемной аппаратуры. Динамический диапазон составлял около 5^m . Эта аппаратура позволила проводить фотометрические наблюдения в системе UBVR объектов до 17^m с точностью $0.05^m-0.1^m$.

С помощью этой аппаратуры проводились регулярные фотометрические и позиционные наблюдения геосинхронных спутников. На рис. 2 приведена кривая блеска ГСС 68081E, полученная на 1-м телескопе. Поле рассеяния солнечного света спутником позволило определить его основные параметры. Результаты фотометрических наблюдений ГСС позволили построить теорию вековой эволюции большой полуоси его орбиты под действием солнечной радиации [5]. Другим примером использования фотометрических наблюдений, проведенных на 1-м телескопе, является определение формы верхней ступени «Транстейдж-13» (68081E) после ее разрушения [6]. По результатам наблюдений было показано, что разрушенная ступень имеет дыру в боковой поверхности диаметром до 2 метров. Проведившиеся фотометрические и позиционные наблюдения ГСС использовались также для решения ряда прикладных задач.

С 1995 года для наблюдений используется ПЗС-камера ST-6. Поле зрения в фокусе Ричи-Кретьена составило всего $2.5'$, поэтому практически с самого начала ее использования были разработаны и изготовлены редукторы фокуса [7].

Всего были разработаны и изготовлены три системы укорочения фокуса для 1-м телескопа: до 5.3 м, 5.1 м и 1.7 м. Первая система была наиболее простой - ахроматический двухлинзовый объектив (склейка) диаметром 60 мм и светосилой 1:4 устанавливается предфокально, при этом происходит смещение фокальной поверхности за счет уменьшения эквивалентного фокусного расстояния до 5.3 м. Данная система была разработана и изготовлена для согласования гибридной телевизионной установки ПГ-3 с 1-м телескопом в Симеизе. Невиньетированное поле зрения составляет $3'$. Вторая система с фокусным расстоянием 5.1 м позволяет согласовать разрешение телескопа с камерой ST-6, имеющей размер пикселя 23×27 мкм. Эквивалентное фокусное расстояние 1.7 м предназначается для применения с перспективными камерами с размером пикселя 9 мкм или камерой ST-6 для увеличения поля зрения при поисковых исследованиях.

Система укорочения фокуса до 5.1 м на метровом телескопе в Симеизе реализована на базе имевшихся оптических элементов и состоит из двух основных объективов. Первый объектив (так называемая коллективная линза) необходим для согласования

зрачков и апертур объектива телескопа и второго объектива. Трансфокатор не является совсем "правильным" с абберрационной точки зрения, так как его компоненты рассчитаны для несколько иного хода лучей. Выходным зрачком коллективной линзы является изображение главного зеркала во вторичном, и в нем пересекаются продолжения выходных апертурного и наклонного пучков. Выходной зрачок объектива Ричи-Кретьена является мнимым, и положение его необходимо знать для исключения впоследствии геометрического виньетирования. Второй объектив также поставлен в прямом ходе лучей и работает с мнимым предметом, расположенным на конечном расстоянии, образуя действительное изображение в плоскости ПЗС–матрицы. Благодаря коллективной линзе пучки полностью "проваливаются" в объектив, и в некотором ограниченном поле отсутствует геометрическое виньетирование. Для системы укорочения фокуса до 5.1 м линейное увеличение системы трансфокатора ограничивается световым диаметром коллектива и равно 0,387. При этом эквивалентное фокусное расстояние телескопа составляет 5144 мм, а угловое поле для камеры ST-6 равно 5.9'x4.4'. Неравномерность светораспределения по полю составляет около 1 % и имеет несколько хаотичный характер вследствие абберрационного виньетирования. При эквивалентном фокусном расстоянии 5.1 м линейный размер пикселя (0,025 мм) соответствует угловому полю 1". Для сравнения, угловое поле, захватываемое камерой ST-6 без применения трансфокатора, равно 2,27'x1,7' (при эквивалентном фокусном расстоянии 13300 мм).

Вследствие малого углового поля согласующего трансфокатора затруднен поиск объектов. Для увеличения поля зрения разработан и изготовлен третий трансфокатор. При его использовании эквивалентное фокусное расстояние системы равно 1.7 м, и захватываемое угловое поле для ST-6 равно 17,8'x13,3'. Оптическая схема этого трансфокатора представлена на рис. 3.

На рис. 3 изображено: к — коллективная линза, о — второй объектив, Н — передние главные плоскости оптических компонентов, Н' — задние главные плоскости оптических компонентов, I" — мнимое изображение, получаемое объективом Ричи-Кретьена, I'" — действительное изображение, получаемое коллективом, I'''' — изображение в плоскости ПЗС–матрицы, P'к — выходной зрачок коллектива, P'о — выходной зрачок второго объектива.

Позиционные наблюдения проводятся с ПЗС–камерой ST-6. Линейный размер ПЗС–матрицы 8.6x6.5 мм, мозаика 375x242 пикселя. Размер пикселя 23x 27мкм. Шум считывания составляет 9 (ε). Количество разрядов ЭВМ, приходящееся на один пиксель, равно 16 (16–разрядная оцифровка). Во время наблюдений камера охлаждалась до температуры -20...-30 С. При такой температуре шумы за счет темнового тока были незначительны по сравнению с другими источниками шумов (шум считывания и фон неба). Поскольку в Симеизе имеется достаточно сильная искусственная засветка неба, то время накопления было ограничено 2–5 минутами. Для проведения поисковых работ в безлунный период ПЗС–камера использовалась без светофильтров, с целью повышения проникающей способности. При наличии подсветки неба Луной для понижения

фоновой засветки использовался красный светофильтр КС-11, обрезаящий световой поток с длинами волн короче 0.7 мкм.

Все полученные снимки исправлялись за неоднородность чувствительности по площади ПЗС-камеры с помощью снимков с равномерной засветкой (фон неба в сумерках), получаемых каждую наблюдательную ночь. Проводилась коррекция за растекание при экспозиции и во время считывания. Большинство наблюдавшихся объектов имело на снимках отношение сигнал/шум, равный 3–5. При измерении координат центра изображения при низком отношении сигнал/шум определялось положение средневзвешенного фотометрического центра изображения. Ошибка определения составляла в среднем 0.2 пикселя. При измерениях изображений звезд при высоком отношении сигнал/шум использовался также метод определения центра изображения аппроксимацией распределения яркости в изображении двумерным нормальным распределением с произвольной ориентацией осей эллипса изофот (параметры, определяемые при измерениях). Точность измерений этим методом достигает 0.1 пикселя при отношении сигнал/шум, равном 20, и диаметре изображения 4 пикселя. Так как наблюдения проводились с использованием систем укорочения фокуса [7], то масштаб изображения составлял 1"–2.5" на один пиксель. При точности используемых каталогов GSC и USNO, не превышающей 1", именно точность каталогов определяла точность координатных измерений.

С 1995 г. на 1-метровом телескопе регулярно производится поиск тел метрового и декаметрового диапазона в метеорных и болидных потоках за пределами атмосферы Земли. Комплексная методика выделения направлений поиска и его осуществления разработана в ИНАСАН [7, 8]. За время наблюдений (по сентябрь 2002 г.) обнаружено 32 объекта, заподозренных в принадлежности к исследуемым метеорным и болидным потокам. Для 19 из них удалось посчитать предварительные орбиты, из анализа которых можно утверждать, что 18 обнаруженных объектов с большой вероятностью являются телами исследуемых размеров и принадлежат изучаемым метеорным и болидным потокам. Измеренный блеск позволил оценить размеры этих тел. Принимая альбедо равным 0.1, мы получили, что их диаметры лежат в диапазоне от 1 до 50 метров.

При наблюдениях вблизи радиантов метеорных и болидных потоков в поле зрения регулярно попадают астероиды. Для этих астероидов получают координаты и отсылаются в Центр малых планет Международного астрономического союза. По результатам наблюдений открыты 4 новых астероида (их условные обозначения J99Q02W, J99Q02X, J99Q02Y, K02PE1S).

Для проведения позиционных наблюдений геосинхронных спутников была разработана система с быстрым открыванием и закрыванием затвора с привязкой этих моментов к точному времени [9].

1. Кокурин Л. Ю. Компактная система ввода и обработки астрономических изображений//Научные информации ИНАСАН, вып. 69, 1991, с. 30–34.
2. Багров А. В., Гангнус П. А., Ерпылев Н. П. и др. Гибридная телевизионная установка для позиционных и фотометрических наблюдений//Наблюдений ИНТ, № 88, 1994, с. 1–5.
3. Микиша А. М., Смирнов М. А. Вековая эволюция высокоорбитальных космических объектов под действием светового давления//Столкновения в околоземном пространстве (ред. А.Г. Масевич), М.: Космосинформ, 1995, с. 252–271.
4. Смирнов М. А. Определение формы спутника Транстейдж по фотометрическим наблюдениям//Наблюдений ИНТ, № 88, 1994, с. 17–19.
5. Барабанов С. И., Николенко И. В., Неяченко Д. И. Наблюдения метеороидов и элементов космического мусора с оптическими системами на основе ПЗС-камер//Околоземная астрономия (ред. А.Г. Масевич), М.: Космосинформ, 1998, с. 231–244.
6. Смирнов М. А., Барабанов С. И., Зенькович А. Д., Микиша А. М. Наблюдения крупных тел в метеорных потоках//Доклад на конференции ОЗА 2001.
7. Барабанов С. И., Кильпио А., Крючков С. В., Смирнов М. А. Новые возможности наблюдения геостационарных спутников на 1-м телескопе в Симеизе и на 60-см телескопе в Звенигороде//Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы (ред. Л.В. Рыхлова), М.: Космосинформ, 2000, с. 347–355.

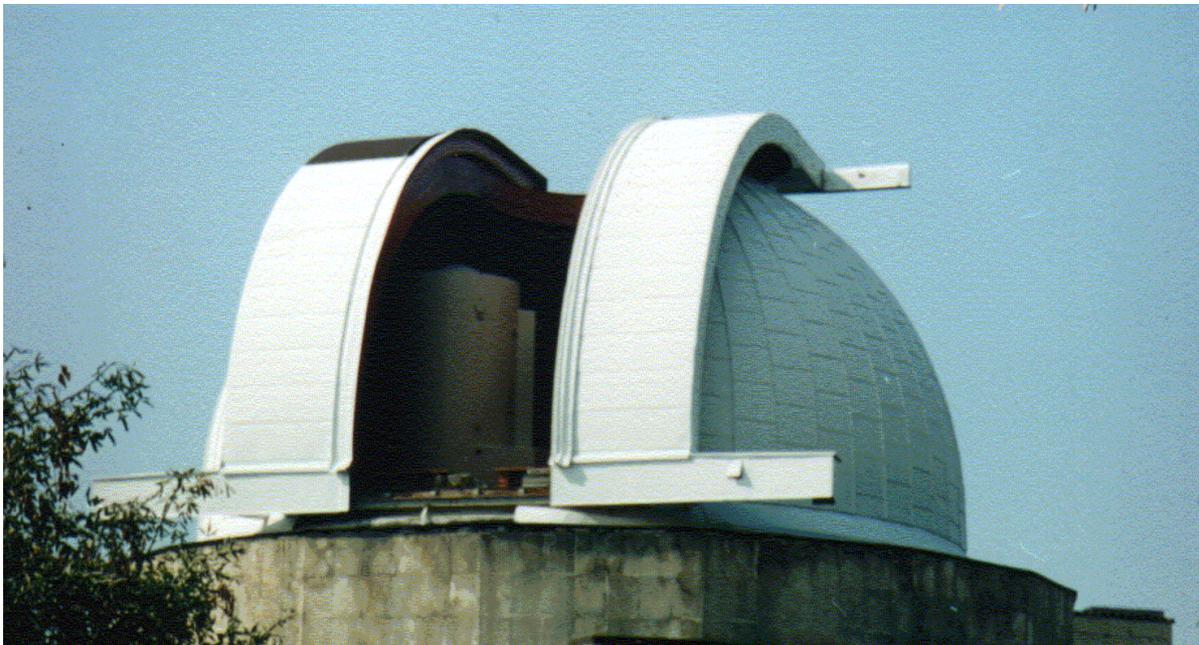


Рис. 1. 1-м телескоп «Цейс-1000»

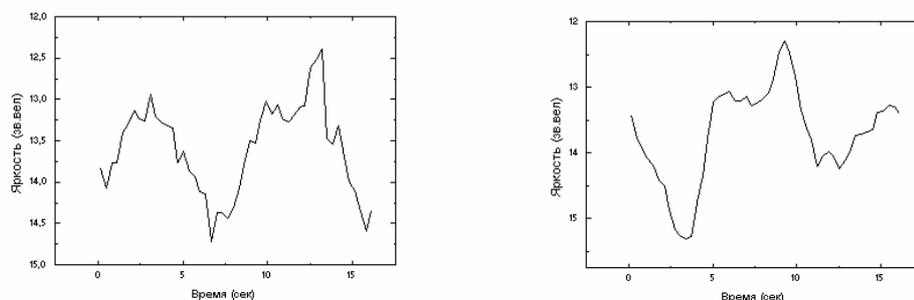


Рис. 2. Кривые блеска на одном периоде ГСС «Транстейдж 13» по наблюдениям 25.07.1993, 1-м телескоп, Симеиз

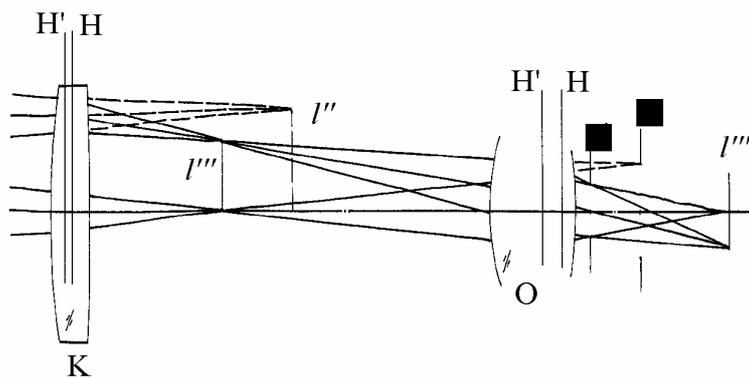


Рис 3. Оптическая схема системы укорочения фокуса