

УДК 521.1; 629.78

Наблюдения искусственных космических объектов в Крымской астрофизической обсерватории

В.В. Прокофьева-Михайловская

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный
e-mail: prok@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 14 октября 2008 г.

Аннотация. Кратко изложена история наблюдений в Крымской астрофизической обсерватории искусственных спутников Земли и космических объектов различных типов.

OBSERVATIONS OF ARTIFICIAL COSMIC OBJECTS AT THE CRIMEAN ASTROPHYSICAL OBSERVATORY, *by V.V. Prokofjeva-Mikhailovskaja.*

Ключевые слова: Искусственные спутники Земли, геостационары

1 Введение

В начале космической эры Крымская астрофизическая обсерватория активно включилась в наблюдения искусственных спутников Земли (ИСЗ). Сначала это были визуальные наблюдения первого спутника в 1957 г. Потом разработка методики наблюдений далеких искусственных космических аппаратов, направлявшихся к Луне, Венере и другим планетам. И, наконец, фотометрические и спектральные наблюдения геостационарных спутников с целью дистанционного контроля их состояния с выходом на решение обратной задачи фотометрии. Последняя статья опубликована в 1996 г. В итоге почти 40 лет участия КрАО в разработке методики наблюдений и исследований искусственных космических объектов (ИКО).

2 Первые визуальные наблюдения ИСЗ

Космическая эра началась с запуска 4 октября 1957 г. первого искусственного спутника Земли. Запуск был осуществлен под руководством Сергея Павловича Королева и подготовлен в кратчайшие сроки. Одновременно шла подготовка средств наблюдений. Как наблюдать движущийся по небу освещенный Солнцем объект еще никто не знал. Поэтому остановились на простейшей методике визуальных наблюдений. В начале 1957 г. Астросовет академии наук СССР организовал подготовительные курсы для наблюдателей ИСЗ, выделенных из астрономов-наблюдателей. Проходили они в г. Ашхабаде в течение нескольких месяцев. Будущие наблюдатели были ознакомлены с аппаратурой, задачами и методикой наблюдений. От КрАО на этих курсах прошла обучение научный сотрудник обсерватории Серафима Валерьевна Васильева (Некрасова), человек удивительно добросовестный, беззаветно преданный астрономии. Она была назначена начальником станции визуальных наблюдений ИСЗ, расположенной на территории КрАО. Летом 1957 г. С.В. Некрасова собрала группу сотрудников КрАО, в основном мо-

лодежь обсерватории, и начала подготовку к наблюдениям первого в мире ИСЗ. Курировал эту работу заместитель директора КрАО Петр Павлович Добронравин.

Наблюдения проводились визуально с помощью специально разработанных и изготовленных светосильных трубок-телескопов АТ-1. Обсерватория получила около двух десятков таких приборов. Они имели поле зрения около 10° , длину около 30 см. Перед каждой трубкой под углом 45° было укреплено плоское зеркало для удобства работы наблюдателя. Изображение звездного неба было зеркальным, и оно сравнивалось с зеркальным изображением специально изготовленных звездных карт. Каждая трубка была снабжена уровнем и сигнальным ключом, который наблюдатель должен был нажать при появлении спутника в поле зрения его трубки.

В первых наблюдениях ИСЗ принимало участие более 20 человек. Все приборы наблюдения размещались на длинном столе так, чтобы охватить область неба, где ожидался пролет спутника. Задачей наблюдений было обнаружить движущийся спутник в поле зрения трубки, засечь точно с помощью секундомера момент его появления и нанести на звездную карту неба его положение в этот момент. Участница первых наблюдений Лидия Николаевна Шваюк (Ливадина) вспоминает: “Настал торжественный момент первого наблюдения. На площадке собралось 20–25 человек. Зрелище со стороны было фантастическим. У всех было праздничное приподнятое настроение”. Все наблюдатели работали с большим энтузиазмом. И вот 5 октября 1957 г. было впервые зарегистрировано прохождение спутника, запуск которого состоялся 4 октября. После наблюдений все данные были обработаны и результаты по телефону сообщены в координатный центр. Было положено начало регулярным, пока визуальным, наблюдениям ИСЗ.

Вклад станции визуальных наблюдений ИСЗ, расположенной на территории КрАО, был отмечен приказом по Астросовету № 37 от 26 марта 1958 г. В приказе значилось: “За проявленную инициативу в организации визуального наблюдения и активное участие в наблюдениях наградить почетными грамотами Астрономического Совета СССР следующих руководителей и наблюдателей”. Далее шло перечисление 10 наиболее активных наблюдателей и начальника станции С.В. Васильевой. К лету 1958 г. работа постепенно приобрела рутинный характер. Начальником станции наблюдений весной 1958 г. стал принятый в КрАО на работу Вениамин Михайлович Можжерин, окончивший Ленинградский государственный университет. Он взял на себя руководство наблюдениями и эфемеридное обеспечение.

Освоение космоса шло быстрыми темпами. 15 мая 1960 г. на орбиту был выведен первый корабль-спутник, а 12 апреля 1961 г. состоялся триумфальный полет первого космонавта Ю.А. Гагарина. В.М. Можжерин так описывает в своих воспоминаниях реакцию сотрудников КрАО: “Эмоции выплескивались через край... Каждый чувствовал себя причастным к этому событию, особенно в связи с наблюдениями спутников и участием в выполнении программы МГГ (международного геофизического года), в том числе и в исследованиях с помощью ИСЗ, в которых обсерватория принимала самое непосредственное и активное участие”.

В 1961 г. И.С. Шкловский предложил использовать для оптических наблюдений космических аппаратов “искусственную комету”. Для этого на борту КА в нужный момент испарялось около 2 кг натрия. Были изготовлены специальные камеры, оснащенные интерференционными желтыми светофильтрами, центрированными на дублет натрия. От КрАО в работе принимала участие В.В. Прокофьева. Камера была установлена на телескопе МТМ-500. “Искусственная комета” была применена несколько раз на космических аппаратах, направлявшихся к Луне.

3 Наблюдения далеких космических объектов с помощью каскадного электронно-оптического преобразователя на 2.6-метровом телескопе ЗТШ

Перед КрАО вскоре была поставлена более сложная задача – слежение за движением и определение координат далеких космических объектов (ДКО), уходящих на большие расстояния от Земли. Малая яркость требовала использования крупных телескопов, имеющих большие фокусные расстояния, а скорость движения не позволяла применять длительные экспозиции. По-

этому было решено разработать методику таких наблюдений на самом большом в КрАО 2.6-метровом телескопе им. Шайна (ЗТШ) и использовать в качестве приемника света каскадный электронно-оптический преобразователь (ЭОП).

К этому времени каскадные ЭОП были впервые в мире применены в КрАО для наблюдений слабых звезд и галактик летом 1957 г. на полуметровом телескопе МТМ-500. Выигрыш во времени экспозиции по сравнению с фотографией составил около 1000 раз (Бутслов и др., 1958). Было решено установить каскадные ЭОП на телескопе ЗТШ. Для этого К.К. Чуваевым были специально отобраны малошумящие трехкамерные ЭОП типа УМ-92.

Поле зрения телескопа ЗТШ с ЭОП составляло всего 10 угловых минут, поэтому при наблюдениях ДКО пришлось делать ряд снимков звездных полей вдоль траектории объекта. Фотоплёнка проявлялась, на ней обнаруживали изображение ДКО, измеряли его координаты относительно звезд и потом сообщали в Центр сбора данных. В 1962 г. и 1963 г. успешно провели наблюдения автоматической межпланетной станции “Марс-1” станции “Луна-4”.

Встала задача ускорения процесса обработки и получения координатных данных для наблюдаемых ДКО. Решена она была с помощью высокочувствительной телевизионной техники.

4 Опыт применения телевизионной техники для наблюдений ИСЗ и ДКО

В этот же период времени в КрАО проводились испытания высокочувствительной телевизионной аппаратуры. Телевизионная установка, сделанная по заказу В.Б. Никонова и П.П. Добролюбина, была испытана летом 1962 г. на том же полуметровом телескопе МТМ-500, где испытывался 6-камерный ЭОП. Испытания прошли успешно, и в начале 1963 г. на полуметровом телескопе МТМ-500 была достигнута рекордная проникающая способность: получено изображение звезды 20^m при времени экспозиции 4 секунды (Абраменко и др., 1965).

Идея использования высокочувствительной телевизионной техники для наблюдений ИСЗ принадлежала руководителю разработки В.Ф. Анисимову. Он поделился ею с В.Б. Никоновым, и было решено провести в КрАО экспериментальные наблюдения ИСЗ, которые и были проведены летом 1963 г. В качестве питающей оптики использовался фотообъектив Гелиос-53, имеющий диаметр 80 мм и обеспечивающий поле зрения 9 градусов. Передающая телевизионная камера, сочлененная с ЭОП УМ-92 и укрепленным на нем объективом, была установлена на параллактической монтировке. Поиск и обнаружение объекта производились визуально по изображению звездного поля на экране видеоконтрольного устройства (ВКУ). ВКУ с плоским экраном использовалось для получения фотоснимков наблюдаемого поля звезд с изображением спутника. В процессе наблюдений объектив направлялся на тот участок неба, где согласно эфемеридным данным должен пролетать искомый спутник. После его появления изображение спутника удерживалось в центральной части поля зрения движением телескопа. Опыт показал, что высокочувствительная телевизионная аппаратура позволяет получать изображения ИСЗ в 100 раз более слабые, чем те, которые могла зарегистрировать фотография с такой же питающей оптикой. Телевидение впервые было применено для наблюдений ИСЗ.

Следующим шагом в развитии методологии телевизионных наблюдений ИКО были наблюдения ИСЗ “Космос-41”, находящегося в апогее на расстоянии около 40 тыс. км. Наблюдения были проведены на полуметровом телескопе МТМ-500 в КрАО в сентябре 1964 г. В фокусе телескопа устанавливалась передающая камера с суперорбитиком ЛИ211 и укрепленным перед ней трехкамерным ЭОП УМ92. Поле зрения системы составляло 15 угл. мин. Визуальный контроль по экрану ВКУ движения изображения ИСЗ среди изображений звезд давал возможность выбирать моменты фотографирования так, чтобы получать снимки изображения спутника на фоне характерных конфигураций звезд, удобных для измерения его координат. В течение одной ночи было получено около 60 снимков спутника “Космос-41”, угловая скорость которого за время наблюдений менялась от $40''$ до $10''$ за секунду времени, а блеск – от 11^m до 15^m .

Положительный результат эксперимента позволил поставить и более общую и важную задачу: определение координат ДКО по наблюдениям, проведенным на оптических телескопах. Радиосредства не обеспечивали тогда необходимую точность координат, поэтому была поставлена задача разработки новых средств наблюдений ИКО на фоне поля звезд и определения их координат относительно звезд, имеющих высокую точность их положения на небосводе.

За эту задачу и взялся В.Ф. Анисимов со своей лабораторией. Первые опыты были проведены в КраО на телескопе МТМ-500. По предложению В.Б. Никонова постоянное участие в работе принимали А.Н. Абраменко и В.В. Прокофьева-Михайловская. Эпизодически в наблюдениях участвовали сотрудники отдела физики звезд и туманностей: Иван Михеевич Копылов, Константин Константинович Чуваев, Павел Федорович Чугайнов и др. 4-го октября 1965 г. была запущена автоматическая станция «Луна-7». Навели телескоп на нужную область и на телевизионном экране увидели движущиеся относительно звезд изображения станции и ее ракетоносителя. Расстояние до них было около 100000 км. В течение нескольких часов получили огромное число снимков. Те из них, где изображение станции находилось около ярких звезд, были использованы для определения ее координат. Точность их оказалась достаточно высокой.

Результаты первых телевизионных наблюдений ДКО, находящихся на больших расстояниях от Земли, были успешны. Они показали возможность быстрого обнаружения изображения объекта на телевизионном экране и достаточно точного измерения его координат.

5 Телевизионные наблюдения ДКО на 2.6-метровом телескопе ЗТШ

На основе полученного опыта было решено проводить телевизионные наблюдения ДКО на 2.6-метровом телескопе им. Г.А. Шайна (ЗТШ). На телескопе оперативно была установлена специальная телевизионная аппаратура «Андромеда». С целью ускорения определения координат ДКО директор обсерватории академик Андрей Борисович Северный предложил оперативный метод прямого отсчета координат, который и был использован. Процесс определения координат ДКО этим методом заключался в следующем. После того как изображение объекта обнаружено в поле зрения, движением телескопа оно устанавливалось на перекрестие, находившемся в центре экрана ВКУ. Одновременно делалась отметка времени и регистрировались отсчеты координат в системе телескопа. Следующим этапом являлось наведение телескопа на 3–4 опорные звезды с известными координатами. Система управления телескопа ЗТШ была достаточно стабильна, что обеспечило дифференциальное определение координат с погрешностью не более 5". Использование метода прямого отсчета координат дало возможность сократить до нескольких десятков минут время, необходимое для определения координат объекта.

Впервые этот метод был применен при наблюдениях станций «Луна-11», запущенной 24 августа 1966 г., и «Луна-12», запущенной 22 октября 1966 г. В конце 1966 г. метод был успешно применен для наблюдений ДКО «Луна-13». В следующие годы (1967–1968) наблюдались объекты: «Космос-159», «Молния-1», «Зонд-4», «Луна-14», «Зонд-6».

В 1971 г. сотрудники КраО В.Б. Никонов, П.П. Добронравин и В.К. Прокофьев в числе большой группы были удостоены Государственной премии СССР за участие в разработке опико-электронных методов наблюдений и определений координат ИКО.

6 Колориметрические и спектральные наблюдения геостационарных спутников Земли

На рубеже 1970–1980-х годов повысился интерес к получению фотометрической информации о высокоорбитальных ИСЗ, к которым относятся и геостационарные спутники Земли (ГСС). Это было необходимо для решения задачи их распознавания и установления корреляции между фотометрическими и конструктивными характеристиками объектов. Получить такую информацию при требуемом высоком временном разрешении можно было только с помощью на-

земных высокочувствительных телевизионных систем, работающих на передающих телевизионных трубках типа суперизокон. В КрАО суперизокон впервые был применен в 1976 г. Трубка позволяла регистрировать изображения заезд в широком световом диапазоне и обладала высокой абсолютной (5×10^{-7} лк) и контрастной чувствительностью. Эти ее параметры в то время существенно превышали мировой уровень.

Начало работ было положено заключенным в октябре 1981 г. “Соглашением о сотрудничестве в области улучшения методов наблюдения высокоапогейных ИСЗ” между Астросоветом АН СССР и КрАО АН СССР. В работе со стороны КрАО принимали участие В.В. Прокофьева-Михайловская, А.Н. Абраменко и Е.П. Павленко. Со стороны Астросовета работы возглавил С.А. Северный, сын директора КрАО А.Б. Северного, в наблюдениях принимали участие сотрудники Астросовета А.В. Багров и М.А. Смирнов. Была поставлена цель исследования поля рассеяния солнечного излучения поверхностью ГСС, то есть исследование его как безатмосферного тела Солнечной системы. Наиболее актуальной задачей, поставленной С.А. Северным, была так называемая обратная задача – определение формы наблюдаемого ИСЗ по результатам наземных фотометрических наблюдений. Целью сотрудничества было улучшение качества службы высокоапогейных спутников на основе опыта электронных методов наблюдений, накопленного в КрАО. Уже первые наблюдения трех ГСС, проведенные в августе 1982 г. на телевизионном комплексе менискового телескопа МТМ-500, дали прекрасные результаты. С помощью методики, разработанной ведущим инженером А.Н. Абраменко, впервые были получены фазовые кривые блеска ГСС одновременно в трех спектральных полосах В, V и R.

Анализ фазовых и цветовых зависимостей позволил сделать вывод, что каждый из спутников характеризуется своей отражательной способностью и фазовой зависимостью. Обнаружены были и быстрые изменения блеска объектов во времени, порядка десятков минут с амплитудой около 0.2^m . Среднее значение показателей цвета для всех ГСС составило $B - V = 1^m.1 - 1^m.2$, $V - R = 1^m.0 - 1^m.1$, что значительно превосходит показатели цвета Солнца. Сделано предположение, что это вызвано воздействием на поверхность спутника солнечных ультрафиолетовых и космических лучей (Абраменко и др., 1983). После внезапной смерти С.А. Северного весной 1983 г. А.В. Багров и М.А. Смирнов продолжали наблюдения ГСС в КрАО.

За время совместной работы с Астросоветом в КрАО было сделано около 300 тыс. оценок блеска 8 ГСС и получено свыше 100 спектров 9 ГСС. По этим наблюдениям А.В. Багровым и М.А. Смирновым была разработана методика определения элементного состава ГСС и реконструкции их формы, а также метод отождествления объектов по параметрам рассеянного ими солнечного излучения.

В 1983–1987 годы проводились фотометрические наблюдения ГСС одновременно на двух пунктах: в Гисарской астрономической обсерватории и в КрАО на оборудовании метрового телескопа АЗТ-11. Большой творческий вклад в организацию наблюдений внес сотрудник КрАО к. ф.-м. н. Н.М. Шаховской. На телескопе АЗТ-11 под его руководством вплоть до 1991 г. проводилась фотометрия ГСС одновременно в пяти спектральных полосах UBVR_I. Были получены многочисленные ряды наблюдений нескольких ИКО.

Работа по исследованию рассеянного поверхностью ГСС излучения Солнца проводилась также совместно с сотрудниками Ужгородского государственного университета М.В. Братийчук, М.И. Демчиком, В.П. Епишевым и с сотрудниками Государственного оптического института им. С.И. Вавилова в г. Ленинграде (ныне ВНИИ “ГОИ им. С.И. Вавилова”). Результаты BVR-фотометрии и спектрофотометрии ряда ГСС показало, что они имеют избыток излучения в области 550–700 нм. В диапазоне спектра 400–550 нм иногда регистрируется зеркальный блик, возникающий при отражении солнечного излучения от солнечных батарей ГСС, достигающий амплитуды 5^m . Полученные для ряда ГСС фазовые зависимости показали хорошее согласие с моделью рассеяния на цилиндре с многослойным покрытием.

Дальнейшее развитие спектральных исследований ГСС на телескопе МТМ-500 потребовало создания специального щелевого спектрографа, который и был создан в 1990 г. Спектрограф

имел набор отражательных дифракционных решеток, дающих спектральное разрешение от 0.7 до 6 Å, и обеспечивал регистрацию спектров звезд 12^m с разрешением 5 Å при времени экспозиции около 10 минут. Основной трудностью при наблюдениях ГСС является гидирование их изображения на щели спектрографа. В спектрографе в качестве щели использовались три круглые входные диафрагмы размером 0.1, 0.15 и 0.2 мм. Разработанные инженером А.Н. Абраменко оптическая и электронная схемы позволили использовать часть фотокатода передающей телевизионной трубки для наблюдений изображения исследуемого объекта на входной щели спектрографа. Электронная схема обеспечивала видимость этого изображения на экране ВКУ при каждом считывании потенциального рельефа с мишени суперизокона.

Наличие цифровой телевизионной системы Цефей, изготовленной по заказу КрАО в Москве в НПО "Орион", и созданного щелевого спектрографа позволили получить ряд спектров ГСС с разрешением около 5 Å. При их анализе обнаружены интересные детали спектров. Например, сравнение спектра одного из ГСС во время вспышки (блеск около 10^m), полученного с экспозицией около одной минуты, с солнечным спектром позволило обнаружить линии титана и хрома, входящие в состав поверхностных материалов ГСС (Захаренков и др., 1996).

Таким образом, в Крымской астрофизической обсерватории были налажены и проведены фотометрические, колориметрические, спектрофотометрические и спектральные наблюдения высокоапогейных спутников, которые показали возможность их отождествления и идентификации по характеристикам рассеянного ими солнечного света.

7 Заключение

Итогом совместных работ со многими организациями явилось создание в КрАО на телескопе МТМ-500 уникального цифрового телевизионного комплекса, обладающего высокой чувствительностью на уровне 10^{-7} лк и позволяющего проводить следующие наблюдения объектов:

- одновременные фотометрические наблюдения в широкополосной цветовой системе V, V, R с проникающей способностью 15^m при времени экспозиции 75 сек.;
- спектрофотометрические наблюдения объектов с абсолютной энергетической калибровкой и спектральным разрешением 60–80 Å с проникающей способностью 13^m при времени экспозиции 1–2 минуты;
- спектральные наблюдения с разрешающей способностью около 5 Å и проникающей способностью 12^m при времени экспозиции около 10 минут.

Крымская астрофизическая обсерватория, принимавшая участие в разработке методик наблюдений, в наблюдениях и исследованиях ИКО от первого спутника Земли, космических аппаратов, уходящих к другим планетам, в исследованиях геостационаров, может гордиться своим творческим вкладом в развитие современных методов и средств космической науки.

Литература

- Абраменко А.Н., Павленко Е.П., Прокофьева В.В., Северный С.А., Смирнов М.А. // Письма в астроном. журн. 1983. Т. 9. №. 6. С. 376.
- Абраменко А.Н., Агапов Е.С., Анисимов В.Ф., Никонов В.Б., Синенков С.М. // Доклады АН СССР. 1965. Т. 161. №. 6. С. 1999.
- Бутслов М.М., Завойский Е.К., Калиняк А.А., Никонов В.Б., Прокофьева В.В., Смолкин Г.Е. // Доклады АН СССР. 1958. Т. 121. №. 5. С. 815.
- Захаренков В.Ф., Прокофьева В.В., Стариченкова В.Д., Мельник В.Е. // Оптический журнал. 1996. №. 12. С. 27.