

ИСТОРИЧЕСКИЕ, АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ И
ИСКУССТВОВЕДЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 908. 520.1 + 520.6.07

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
«КРЫМСКАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ» В РАМКАХ ПРОЕКТА
«СПЕКТР-УФ»

Адамень Ф.Ф., Щербина А.Д.

*Управление Российской Академии Наук по взаимодействию с научными организациями
Республики Крым и города федерального значения Севастополя, пгт Никита, г. Ялта,
Российская Федерация,
e-mail: aas175740@yandex.ru, aas@iki.rssi.ru*

В статье на основе анализа репрезентативных источников освещены подготовительный этап и ключевые моменты научно-исследовательской работы ученых Научно-исследовательского института «Крымская астрофизическая обсерватория» в рамках международного проекта по созданию универсальной долговременной орбитальной астрофизической обсерватории на базе космического аппарата-модуля «Спектр». Указаны основные конструкторские решения и технические усовершенствования, позволяющие проводить экспериментальную работу в недоступном для наблюдений с земной поверхности ультрафиолетовом участке спектра. Освещена деятельность ученых обсерватории в различных отделах учреждения: в отделе физики Солнца, физики звезд и галактик выдвигались и обосновывались научные задачи, в отделе экспериментальной астрофизики проектировались приборы, в оптической и механической мастерских создавалась уникальная космическая аппаратура. Определен вклад сотрудников исследовательского учреждения в развитие космической науки на территории Крымского полуострова.

Ключевые слова: космические исследования, Крымская астрофизическая обсерватория, проект «Спектр–УФ», ультрафиолетовый диапазон спектра.

Введение

Проведение наблюдений в ультрафиолетовом диапазоне спектра астрономы НИИ «КрАО» успешно осуществляют более 50 лет. За этот период ученые подтвердили высокую значимость исследований в ультрафиолетовом диапазоне, предоставляющих уникальные возможности для изучения межгалактической среды, для развития современной астрофизики. Опираясь на репрезентативные источники, можем утверждать, что ученые НИИ «КрАО» доказали необходимость диагностирования наблюдаемого вещества во Вселенной методами ультрафиолетовой спектроскопии.

В конце XX ст. возникла потребность в создании космической обсерватории, позволяющей проводить научно-исследовательскую работу в недоступном для наблюдений с земной поверхности ультрафиолетовом участке спектра. Данный вопрос требовал решения, поскольку программа научных наблюдений космического телескопа им. Хаббла (HST) была чрезвычайно перегружена заявками астрономов Соединенных Штатов Америки, а для представителей других стран выход на телескоп в значительной мере затруднен. К тому же срок активного существования HST на орбите определен до 2015–2017 гг. (Боярчук, Шустов, Моисеев, Сачков, 2012). Астрономы столкнулись с проблемой доступа к ультрафиолетовому диапазону, так как крупнейшие космические

агентства не предполагали проведение исследований в данном участке спектра после завершения работы на орбите HST. Именно по вышеперечисленным причинам проект «Спектр–УФ» (международное название «Всемирная космическая обсерватория – Ультрафиолет») получил поддержку со стороны международного сообщества и послужил основой для развития международной кооперации.

Результаты исследования

Проект «Спектр–УФ», который стартовал в 1988 г., направлен на создание универсальной долговременной орбитальной астрофизической обсерватории на базе космического аппарата-модуля «Спектр», разработанного в научно-производственном объединении им. С.А. Лавочкина, для работы в недоступном для наблюдений с земной поверхности ультрафиолетовом участке спектра. Космический модуль «Спектр» позволил с помощью ракеты-носителя вывести на орбиту до 300 тыс. км телескоп диаметром 1,7 м с общим весом научного оборудования до 2,5 тонн (Гершберг, Степанян, Стешенко, 2008). Данный проект универсален и в высокотехнологичный XXI в. аппарат предполагали максимально точно ориентировать и стабилизировать, что играло значительную роль в проведении астрофизических исследований. Выведение телескопа на высокоапоейную орбиту с периодом в 7 суток исключило вредное влияние радиационных поясов Земли на работу электронных систем и обеспечит длительный срок проведения эксперимента. Осуществление эксперимента на значительном удалении от Земли даст возможность проводить наблюдения с многочасовыми экспозициями, недоступными для крупнейшего космического телескопа HST. Среди разрабатываемых мировыми учеными на ближайшие десять лет космических приборов для ультрафиолетовой области длин волн «Спектр-УФ» стоит вне конкуренции как по количеству собираемого излучения телескопом, так и по широте задач, которые будут доступны для решения с помощью этой обсерватории.

Учеными НИИ «КрАО» в отделах физики Солнца, физики звезд и галактик выдвигались и обосновывались научные задачи, в отделе экспериментальной астрофизики проектировались приборы, а непосредственно в оптической и механической мастерских создавалась уникальная космическая аппаратура. В рамках международного проекта научно-исследовательское учреждение решало следующие задачи:

- расчет, участие в изготовлении, аттестации и сборке оптики телескопа Т–170М;
- разработка камеры поля, научное и технологическое обоснование эксперимента;
- экспертная оценка независимых предложений по этим вопросам других участников эксперимента;
- участие в сборке и испытаниях научного оборудования, наземных испытаниях всего комплекса;
- участие в составлении и проведении технологических испытаний аппарата на орбите и в составлении научной программы эксперимента (Гершберг, Степанян, Стешенко, 2008).

Основной прибор – телескоп Т–170М диаметром 1,7 м – предназначается для исследования астрономических объектов в ультрафиолетовом диапазоне спектра с длиной волны 912–3500 Å с борта космического аппарата «Спектр-УФ». К оптической технике прилагается сопутствующий комплекс научной аппаратуры, включающий спектрограф высокого, среднего и низкого разрешения, спектрограф с высокой щелью, спектрополяриметр и камеру поля. Изначально планировалось создание и использование телескопа Т–170. Однако после исключения из предварительной версии проекта «Спектр-УФ» Лаймановских спектрометров и их замены на Роуландовские

спектрографы, включающие два дополнительных канала с повышенным спектральным разрешением, схема телескопа Т-170 была пересмотрена и заменена схемой прибора Т-170М.

Телескоп Т-170М создается как универсальный прибор для регистрации ультрафиолетового излучения различных небесных тел. В основу его механической конструкции заложены технические решения, апробированные в эксперименте «Астрон». В качестве оптической схемы Т-170М ученые НИИ «КрАО» выбрали классическую двухзеркальную схему Ричи-Кретьена с диаметром главного зеркала 1,7 м и расстоянием между вершинами главного и вторичного зеркал 3,5 м (Гершберг, Зверева, Петров и др, 1995). При фокусном расстоянии оптической системы 17 м масштаб изображения в его фокальной плоскости составляет 82 угловых секунды на 1 миллиметр (Гершберг, Дидковский, Зверева, Стешенко, 2001). При изготовлении зеркал доводка оптических поверхностей проводилась реализованным в НИИ «КрАО» методом ионной обработки в вакууме. Применение такой технологии позволило получить высокую точность формы оптической поверхности со средним квадратическим отклонением от расчетной поверхности не более 100 Å, что на порядок меньше самой короткой рабочей длины волны в эксперименте. Главное вогнутое гиперболическое зеркало имеет толщину 10 см и форму равнотолщинного мениска. Такие характеристики позволяют осуществлять коррекцию формы зеркала на орбите, для чего в НИИ «КрАО» проводилась разработка специального технологического оснащения телескопа и математического обеспечения этого процесса. Центральная часть зеркала имеет отверстие около 660 мм. Оптическая система была тщательно продумана учеными НИИ «КрАО». Оба зеркала Т-170М снабжены блендами, которые вместе со специальной кососрезанной блендой, устанавливаемой в рабочем положении перед тубусом после выведения аппарата на орбиту, значительно ослабляют рассеянный солнечный, лунный и земной свет. Рабочие поверхности оптики телескопа покрыты алюминием и фтористым магнием, что обеспечивает эффективную работу оптической схемы вплоть до 900 Å.

Для корректной работы всей системы аппаратуры используется система наведения и стабилизации. Стабилизация всего космического аппарата осуществляется с точностью до 2 минут. В рамках эксперимента «Спектр-УФ» применена на практике автономная система гидирования. При уходе изображения исследуемого объекта с входной диафрагмы регистрирующей аппаратуры в небольших пределах – до 20 угловых секунд – эта система удерживает его в заданном месте фокальной плоскости с точностью 0,2 угловых секунды с помощью соответствующего поворота вторичного зеркала по двум осям вокруг так называемой нейтральной точки (Гершберг, Зверева, Петров и др, 1995). Такая система тонкого гидирования впервые в космическом эксперименте была реализована в эксперименте «Астрон». Согласно репрезентативным данным при работе автономной системы гидирования в указанном диапазоне качество изображения практически не ухудшалось.

Поскольку телескоп Т-170М предназначен для проведения орбитальных наблюдений в ультрафиолетовом диапазоне спектра 912–3500 Å, то при его выводе на орбиту и при последующей его работе неизбежны изменения окружающих условий, а именно величины ускорения и температуры. Эти корреляции существенным образом воздействуют и на оптическую систему телескопа, вызывая деформацию главного зеркала. По этой причине Р.Е. Гершбергом, А.М. Зверевой, П.П. Петровым, В.И. Проник и Н.В. Стешенко был разработан блок контроля оптики и с его помощью периодически проводились соответствующие измерения для устранения возможных нарушений. Устройство должно отвечать требованиям компактности и надежности. Таковым удовлетворял блок контроля оптики в виде небольшой маски с отверстиями – диафрагмы Гартмана, помещенной в сходящемся пучке света вблизи фокуса телескопа.

Детектор света, расположенный по другую сторону от фокуса, регистрирует систему пятен, по которой и восстанавливается информация об искажениях волнового фронта (Боярчук, Стешенко, Тербиж, 2008). Важное достоинство такого технического решения состоит в отсутствии дополнительной оптики. Научными сотрудниками НИИ «КрАО» выполнены необходимые аналитические расчеты, выяснены характерные параметры блока контроля оптики и допуски, проведено компьютерное моделирование системы, разработано программное обеспечение для быстрого анализа данных. Использование блока контроля оптики позволит измерить остаточные аберрации, связанные с неполной юстировкой телескопа, и оценить все аберрации.

За несколько последних десятилетий отечественными учеными доказана универсальность проектируемого ультрафиолетового телескопа Т–170М. Она заключается в решении с помощью разработанной оптической системы разнообразных астрофизических задач: изучения точечных и протяженных объектов, получения прямых изображений таких объектов и их спектров. Зафиксированные детальные спектры ярких объектов дадут возможность исследовать химический состав и структуру звездных атмосфер, тогда как спектры с низким разрешением позволят оценить физические условия и характер движения в атмосферах более слабых звезд и в далеких звездных системах.

Для решения достаточно широкого круга задач используется целый комплекс аппаратуры, которая анализирует и регистрирует излучение, собранное оптической системой Т–170М. Такая аппаратура состоит из камеры поля для получения прямых изображений и двух комплексов спектральных приборов и расположена в инструментальном отсеке космического аппарата. Камера поля установлена на оси телескопа наземного комплекса эксперимента «Спектр-УФ», где извлекается наилучшее изображение. В схеме, разрабатываемой в НИИ «КрАО» и Институте астрономии РАН, предусматривается два режима: в одном строится прямое изображение области неба диаметром около 4 минут, даваемое телескопом Т–170М с указанным выше масштабом, во втором – с 10-кратным увеличением строится изображение отдельных, наиболее интересных объектов (Гершберг, Зверева, Петров и др, 1995). Камера поля снабжена набором светофильтров для регистрации изображений в избранных спектральных полосах. Получая прямые снимки на камере поля, исследователи получают возможности изучения космических объектов с непревзойденным угловым разрешением (Гершберг, Дидковский, Зверева, Стешенко, 2001).

В фокальной плоскости телескопа по обе стороны от его оси на расстояниях 5 см расположены входные щели спектральных приборов. Ультрафиолетовый спектр ярких объектов можно регистрировать в одном из двух спектрографов высокого разрешения: один из них работает в диапазоне длин волн от 1150 до 1800 А, другой – от 1800 до 3500 А (Гершберг, Зверева, Петров и др, 1995). Разработка и расчеты для спектрографов умеренного и низкого разрешения для ультрафиолетового диапазона в рамках проекта «Спектр-УФ» проводились в разные годы рядом ученых НИИ «КрАО»: В.Ю. Тербиж в 1992 г., Р.Е. Гершбергом, Д.Н. Рачковским, А.В. Тербиж в 1996 г. (Тербиж, 2006). Также работа по этому вопросу велась в Институте оптики и спектроскопии в Берлине. После критического рассмотрения предложенных схем была выбрана немецкая модель, в которой были учтены и предложения крымских разработчиков. Технические и математические исчисления сотрудников обсерватории носили разведочный характер. Данные репрезентативных источников позволяют утверждать, что исследователи доказали неприемлемость схемы Джонсона–Онака и перспективность использования дифракционных решеток с тороидальным профилем поверхности в схемах Пашена–Рунге и Роуланда. Научно-исследовательская работа на спектрографе высокого разрешения даст возможность получать сведения об

ультрафиолетовых спектрах ярких звезд, в которых содержатся основные спектральные линии тяжелых элементов. Вышеуказанные наблюдения важны для изучения особенностей строения, химического состава и эволюции звездного вещества во Вселенной. Группы астрофизиков, осуществляющие деятельность на территории Крымского полуострова, а также в Киеве, получают первоклассные данные для изучения химического состава звезд разных возрастов, масс и светимости. В результате работы на спектрографе низкого разрешения астрономы НИИ «КрАО» получают современные данные о многих типах нестационарных звезд, их физике и эволюции, о свойствах вещества в ядрах активных галактик, где действуют малоизученные процессы мощного энерговыделения.

В комплексе аппаратуры для проведения исследований в ультрафиолетовой области спектра используется ультрафиолетовый спектрополяриметр низкого разрешения. Данный прибор предназначен для установки в фокальной плоскости космического телескопа Т-170М. Он позволяет измерять линейную и круговую поляризацию излучения космических источников с экстремальными физическими условиями в диапазоне длин волн от 115 до 365 нм (Гершберг, Степанян, Стешенко, 2004). Механизмы излучения, характерные для этого диапазона, изучаются только с помощью внеатмосферных приборов. Программа поляриметрических наблюдений с космического аппарата включает исследования таких объектов: галактики с активными ядрами, источники гамма- и рентгеновского излучения, новые и сверхновые звезды, магнитные белые карлики, взаимодействующие двойные системы с сильными магнитными полями, звезды с околозвездными пылевыми оболочками. Спектрополяриметрические наблюдения дадут ученым НИИ «КрАО» сведения о нетепловых процессах в активных галактиках, в различного рода плазменных космических телах и об отражающих свойствах тел Солнечной системы: планет, астероидов, комет. Проведение такого рода исследовательской работы даст возможность изучить пространственную структуру ультрафиолетовых источников, физические процессы в звездных атмосферах и межзвездной среде галактик, оценить напряженность и топологию магнитных полей, определить геометрические и физические параметры пылевых частиц в околозвездных оболочках и межзвездной среде. Использование рассчитанного спектрополяриметра для 1,7-метрового телескопа в эксперименте «Спектр-УФ» позволит проводить мониторинг исследуемых объектов с длительностью, на один-полтора порядка величины большей, чем на телескопе HST, что обеспечит значительный прогресс в изучении космических тел.

Астрофизическая обсерватория «Спектр-УФ» предполагает работу с круглосуточным графиком как в режиме непосредственной связи с Землей, так и в автономном режиме. В НИИ «КрАО» создается специализированный центр для получения и обработки научной информации. Для оперативной передачи данных из Центра дальней космической связи (г. Евпатория) в обсерваторию создается специальная радиорелейная линия. Обеспечивать связь между всеми научными приборами и служебными системами на борту космического аппарата, осуществлять предварительную обработку информации, записывать данные в память для их временного хранения и последующей передачи на Землю будет блок управления научных данных. По состоянию на первое десятилетие XXI ст. сотрудниками НИИ «КрАО» составлена научная программа исследований с помощью Т-170М: отобран ряд проблем физики звездных систем, межзвездной среды и тел Солнечной системы, а в ряде случаев – конкретные объекты наблюдения, которые следует провести в первую очередь. Также изготовлен первый экземпляр 1,7 м ситаллового зеркала, которое отправлено в Москву для проведения виброиспытаний зеркала в оправе. Помимо вышеперечисленного проведены все необходимые расчеты, связанные с изготовлением оптики Т-170М: расчеты оптики самого телескопа и всех дополнительных оптических

систем для технологического и аттестационного контроля; разработана методика обработки оптических поверхностей ионными пучками и начато создание специальной вакуумной установки для выполнения такой обработки оптики Т-170М.

В рамках подготовки международного эксперимента «Всемирная космическая обсерватория – Ультрафиолет» А.Е. Вольвачем проводится работа по составлению каталога звезд средних и малых масс с различными проявлениями активности солнечного типа. Это один из типов космических объектов, которые предполагают изучить астрономы НИИ «КрАО». Р.Е. Гершбергом, М.М. Кацовой, М.Н. Ловкой, А.В. Тербиж и Н.И. Шаховской в 1999 г. был составлен каталог таких звезд в виде электронного приложения к журнальной публикации, содержащий сведения о 462 объектах. В поисковой системе SIMBAD этот каталог получил обозначение GKL99 (Вольвач и др, 2012). По состоянию на 2013 г. сведения о звездах с активностью солнечного типа существенно возросли. Поэтому возникла необходимость в создании обновленного источника астрономических данных. Составленный в результате анализа многочисленных оригинальных и обзорных публикаций каталог звезд с проявлениями активности солнечного типа GTSh10 насчитывает 5535 объекта. Это число в 12 раз превосходит число объектов в GKL99.

Выводы

Многочисленные запланированные НИИ «КрАО» исследования в ультрафиолетовой области спектра позволят дополнить сведения об астрономических объектах, уточнить их физические и химические характеристики. За период многолетней работы научно-исследовательского учреждения в области космических исследований, а именно в проекте «Спектр-УФ», сформирован высококвалифицированный научно-технический коллектив и организована техническая база для проведения дальнейших работ в этом направлении. Именно теоретические сведения и практические навыки, накопленные при разработке, изготовлении и эксплуатации станции «Астрон», позволили приступить ученым НИИ «КрАО» к более крупному эксперименту – созданию астрофизической станции «Спектр-УФ» с орбитальным космическим телескопом Т-170М.

Список литературы

1. Боярчук А.А., Стешенко Н.В., Тербиж В.Ю. Оптическая система космического телескопа Т-170М // Известия Крымской астрофизической обсерватории. – 2008. – Т. 104. – № 1. – С. 229–239.
2. Боярчук А.А., Шустов Б.М., Мошечев А.А., Сачков М.Е. Проект «Спектр-УФ» // Вестник «НПО им. С. А. Лавочкина». – 2012. – № 4. – С. 64–73.
3. Вольвач А.Е., Гершберг Р.Е., Степанян Н.Н., Тербиж А.В., Шляпников А.А., Юровский Ю.Ф. Участие НИИ «КрАО» в международных космических экспериментах «Спектр». Служба Солнца «KRIM» как сегмент всемирной наземно-космической сети мониторинга солнечной активности // Космічні дослідження в Україні 2010–2012. – 2012. – С. 61–68.
4. Гершберг Р.Е., Степанян Н.Н., Стешенко Н.В. Космические исследования НИИ «КрАО» // Известия Крымской астрофизической обсерватории. – 2008. – Т. 104. – № 5. – С. 100–103.
5. Гершберг Р.Е., Зверева А.М., Петров П.П., Проник В.И., Стешенко Н.В. Проект космического эксперимента «Спектр-УФ» // Космічна наука і технологія. – 1995. – Т. 1. – № 1. – С. 47–55.

6. Гершберг Р.Е., Дидковский Л.В., Зверева А.М., Стешенко Н.В. 1,7-метровый космический телескоп для изучения ультрафиолетового излучения небесных тел – проект «Спектр-УФ» // Актуальные вопросы развития инновационной деятельности в государствах с переходной экономикой. – 2001. – С. 18–21.
7. Гершберг Р.Е. Степанян Н.Н., Стешенко Н.В. Астрофизические эксперименты // Космічні дослідження в Україні 2002–2004. – 2004. – С. 34–39.
8. Тербиж В. Ю. Роуландовский спектрограф в проекте космического телескопа «Спектр-УФ» // Известия Крымской астрофизической обсерватории. – 2006. – Т. 102. – С. 129–146.

**ACTIVITY OF SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE "CRIMEAN
ASTROPHYSICAL OBSERVATORY" WITHIN THE FRAMEWORK OF THE
PROJECT "SPECTR-UV"**

Adamen F.F., Shcherbina A.D.

*Administration of the Russian Academy of Sciences for Interaction with Scientific Organizations of the
Republic of Crimea and the City of Federal Significance in Sevastopol, Nikita, Yalta, Russian
Federation,*

e-mail: aas175740@yandex.ru, aas@iki.rssi.ru

The preparatory stage and the key moments of research work of scientists of the Research institute «Crimean Astrophysical Observatory» within the international project on creation of universal long-term orbital astrophysical observatory on the basis of the space device module "Range" are covered in article on the basis of the analysis of representative sources. The main design decisions and technical improvements allowing to carry out experimental work in an ultra-violet site of a range, inaccessible to supervision from a terrestrial surface, are specified. Activity of scientists of observatory in various departments of establishment is lit: scientific tasks moved forward and located in department of physics of the Sun, physics of stars and galaxies, in department of experimental astrophysics devices were designed, in optical and mechanical workshops the unique space equipment was created. The contribution of staff of research institution to development of space science in the territory of the Crimean peninsula is defined.

Key words: space research, Crimean Astrophysical Observatory, project "Spectr-UV", ultraviolet range of the spectrum.

Поступила в редакцию 11.03.2018 г.