

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Специальная астрофизическая обсерватория

Российской академии наук

УДК 520; 523.3; 523.9; 524

№

УТВЕРЖДАЮ

Вр.и.о.директора САО РАН

член-корр. РАН Ю.Ю.Балега



«01» декабря 2015 г.

ОТЧЕТ

о прикладных научных исследованиях

«Развитие инструментальных средств крупнейшего российского оптического телескопа - Большого телескопа азимутального (УНУ БТА) для обеспечения наземных астрофизических исследований»

Шифр «2014-14-592-0002»

(заключительный)

Этап 3: «Третий этап реализации Программы развития УНУ БТА».

(Соглашение № 14.619.21.0004 от 22 августа 2014 г.)

Руководитель работ,

заместитель директора САО РАН

В.В.Власюк

Нижний Архыз

2015

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, к.ф.-м.н.	_____	В.В. Власюк (введение, разделы 1,5-7, заключение)
Исполнители темы		
г.н.с, д.ф-м.н.	_____	В.Л. Афанасьев (разделы 2,3.1)
г.н.с, д.ф-м.н.	_____	В.Е. Панчук (разделы 3.3,3.5)
ст.н.с, к.ф-м.н.	_____	Н.В. Борисов (разделы 2, 3.1, 5)
с.н.с, к.ф-м.н.	_____	С.Н. Додонов (разделы 2,4)
ст.н.с., к.т.н.	_____	Г.В.Якопов (разделы 3.3, 3.5,5)
ст.н.с., к.ф.-м.н.	_____	А.Ф.Максимов (разделы 2, 3.4, 4)
м.н.с.	_____	М.М. Габдеев (раздел 2)
ст.н.с., к.ф.-м.н	_____	А.Ф. Валеев (раздел 2)
м.н.с.	_____	И.А. Якунин (раздел 2)
к.ф.-м.н.	_____	Е.А. Семенко (раздел 2)
к.ф.-м.н.	_____	Д.А. Растегаев (разделы 2, 3.4, 4)
к.т.н.	_____	М.В. Юшкин (разделы 3.3, 3.5)
д.ф.-м.н.	_____	А.В.Моисеев (разделы 2, 3.2)
нормоконтролер	_____	Ш.А.Узденова

Реферат

Отчет 50 с., 39 рис., 4 прил.

АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОПТИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ, СВЕТОПРИЕМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЗВЕЗДЫ, ГАЛАКТИКИ, КВАЗАРЫ, АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Цель настоящей работы — подготовка и проведение наблюдений астрофизических объектов методами оптической наземной астрономии, развитие методики исследований этих объектов, научно-методическое и приборное оснащение этих работ, развитие приборной базы УНУ БТА.

В рамках проведения третьего этапа ПНИ проведены плановые наблюдения на УНУ БТА, обеспечены условия для проведения на УНУ БТА сторонними организациями, проведены мероприятия по развитию УНУ БТА в части повышения эффективности спектральных наблюдений и развития материально-технической базы.

По результатам исследований подготовлены научные статьи.

В ходе третьего этапа ПНИ осуществлена закупка необходимого научного оборудования в соответствии с Программой развития УНУ БТА на 2014-2015 гг.

В ходе ПНИ продолжены работы по реализации Программы развития УНУ БТА на 2014-2015 годы в части повышения эффективности универсального спектрографа низкого разрешения SCORPIO-II.

В ходе ПНИ на УНУ БТА внедрены методики спектрополяриметрических исследований с призмой Волластона двойного лучепреломления, проведения наблюдений с перестраиваемым фильтром в первичном фокусе, спектроскопии сверхвысокого разрешения с применением интерференционно-дифракционного спектрографа, методики спекл-интерферометрических исследований в инфракрасном диапазоне, спектральных исследований высокого разрешения со спектрографом с оптоволоконным входом.

В ходе работ реализованы мероприятия по калибровке светоприемников оптического и ИК-диапазонов, проведены ремонты камеры ВУАЗ-6 и оптоволоконной линии связи УНУ БТА – ННП САО РАН.

Проведен анализ работы УНУ БТА за истекший период 2015 года, подготовлены планы работ УНУ БТА на первое полугодие 2016 года.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ		6
1	Закупка оборудования и комплектующих: радиокомпонентов для системы регистрации, сканирующего эталона Фабри-Перо, охладителей на смесевых хладагентах, 4-канального паяльно-ремонтного центра, комплекта цифровых осциллографов, набора интерференционных фильтров, монохроматора МДР-41, сервера для графической обработки данных	7
2	Наблюдения на УНУ БТА в интересах САО и внешних организаций в соответствии с планами, утвержденными программным комитетом	9
3	Внедрение методик на УНУ БТА	19
4	Работы по калибровке приемников излучения видимого и инфракрасного диапазонов	36
5	Работы по модернизации, содержанию и ремонту оборудования: ремонт оптоволоконной линии связи, камеры алюминирования ВУАЗ-6, мойка Главного зеркала	41
6	Работы по повышению доступности УНУ для внешних и внутренних пользователей: расширение возможностей ИНТЕРНЕТ, проведение конференций пользователей, занятия с преподавателями школ и вузов	45
7	Работы по развитию кадрового потенциала УНУ: подготовка специалистов астрономического и технического профиля, организация практик студентов	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		49
ЛИТЕРАТУРА		50
ПРИЛОЖЕНИЕ А		51
ПРИЛОЖЕНИЕ Б		62
ПРИЛОЖЕНИЕ В		73
ПРИЛОЖЕНИЕ Г		81
ПРИЛОЖЕНИЕ Д		93
ПРИЛОЖЕНИЕ Е		106
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж		117

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

УНУ БТА - уникальная научная установка Большой телескоп азимутальный

СЭК БТА – служба эксплуатации комплекса БТА

ИПС – интегральная полевая спектроскопия

SCORPIO - Spectral Camera with Optical Reducer for Photometrical and Interferometrical Observations = спектральная камера с оптическим редуктором для фотометрических и интерферометрических наблюдений

ИФП – интерферометр Фабри-Перо

ULX – Ultra Luminous X-ray source = ультраяркий рентгеновский источник

LBV - Luminous Blue Variable = яркая голубая переменная звезда

волоконнооптическая линия связи (ВОЛС)

ВВЕДЕНИЕ

Большой Альт-азимутальный телескоп (УНУ БТА) с диаметром зеркала 6 метров, созданный в СССР в середине 70-х гг. XX века, остается основным источником наблюдательных данных для астрофизиков России. Несмотря на ввод в строй за рубежом все более мощных астрономических телескопов (от 6-м класса до инструментов с сегментированными зеркалами диаметром более 10 м) УНУ БТА пользуется спросом среди ученых Российской Федерации, стран СНГ и дальнего зарубежья. В целом работу телескопа обеспечивают более 100 сотрудников САО РАН – научных работников – докторов и кандидатов наук, инженеров, рабочих, вспомогательного персонала, занятых в его текущем обслуживании, модернизации оборудования, создании новых методик научных исследований. Многолетние работы по Госконтрактам с Министерством образования и науки в 2007-2014 гг. позволили Специальной астрофизической обсерватории РАН решать эксплуатационные проблемы телескопа, задачи снабжения его текущей деятельности, развивать наблюдательные методы, своевременно обновлять инструментальный парк научного оборудования.

Основанием для проведения настоящей работы является Соглашение № 14.619.21.0004 от 22 августа 2014 г. между Минобнауки и САО РАН. Основная цель работы - обеспечение текущей деятельности телескопа БТА, включающее в себя как непосредственное проведение астрофизических исследований по научным программам, утверждаемым национальным программным комитетом, так и обеспечение текущего ремонта узлов и систем телескопа, приобретение нового оборудования, развитие навесной аппаратуры, обеспечение возможностей доступа к возможностям телескопа, создание новых методик, повышающих эффективность использования оборудования УНУ БТА.

Основные результаты проводимых по контракту научных исследований в настоящем отчете представлены в соответствии с содержанием работ.

Актуальность работ, проводимых по контракту. В области фундаментальных исследований наблюдательная астрофизика обеспечивает получение новейших знаний о происхождении и эволюции объектов Вселенной. Этот вопрос является самым важным в естествознании. Результаты астрофизических исследований, полученных сегодня, составят основу для развития физических наук человечества в XXI веке.

В отчете приводятся результаты исследований, проведенных за отчетный период 2015 года по перечисленным выше темам – обеспечению плановых наблюдений, предоставлению услуг внешним пользователям, повышению эффективности использования оборудования, разработке новых методик, ремонту и модернизации научного оборудования.

1 Закупка оборудования и комплектующих: радиокомпонентов для системы регистрации, сканирующего эталона Фабри-Перо, охладителей на смесевых хладагентах, 4-канального паяльно-ремонтного центра, комплекта цифровых осциллографов, набора интерференционных фильтров, монохроматора МДР-41, сервера для графической обработки данных

В ходе выполнения ПНИ проведены работы по возможности дооснащения УНУ БТА необходимыми материалами и оборудованием в соответствии с п.3.1 раздела 3 Программы развития УНУ БТА на 2014-2015 годы. Были заключены и полностью реализованы контракты на поставку научного оборудования. В соответствии с Дополнительным соглашением выполнение этих работ по финансовым причинам было перенесено со второго этапа ПНИ на третий. Проведение необходимых закупок проводилось в рамках конкурентных процедур в соответствии с федеральными законами и локальными актами, принятыми САО РАН. Все необходимые документы – договоры поставки со спецификациями, товарные накладные, подтверждающие факт поставки, приложены в отчетной документации по настоящему Соглашению.

Так, приобретение радиокомпонентов для системы регистрации изображений, предназначенной для повышения эффективности фокального редуктора светосилы SCORPIO (поз.4 раздела Программы), было осуществлено у ООО «Актив-Сэплай» (г.Москва). Общая стоимость договора 223-ЗП-02/15 от 12 октября 2015 г. – 724,4 тыс.руб. Закупка сканирующего эталона Фабри-Перо ET50-FS-100 (поз.5) стоимостью 5,089 млн.руб. проведена в рамках договора А-05/15 от 30 октября 2015 г. с ООО «Альтекс» (г.Зеленоград). Для приобретения охладителей на смесевых хладагентах Polycold Compact Cooler (поз. 7) заключен и реализован договор поставки 223-ЕП-30/15 от 17 ноября 2015 г. с ООО «Саенс Технолоджи» (г.Москва). Стоимость поставки составила 1,998 млн.руб.

Приобретение паяльно-ремонтного центра ERSAVARIO стоимостью 189,8 тыс.руб. (поз.9) осуществлено у ООО «Торговый дом «Промэлектроника» (г.Екатеринбург) в соответствии с договором поставки 223-ЕП-32/15 от 24 ноября 2015 г. Комплект цифровых осциллографов (поз.10) поставлен ЗАО «НПП Эликс» (г.Москва) в рамках договора 223-ЕП-29/15 от 30 октября 2015 г. Стоимость поставки – 1,255 млн.руб.

Приобретение и поставка набора интерференционных фильтров для видимого и ИК диапазона (поз.11) реализованы через ООО «Вилитек» (г.Москва) в рамках договора 223-ЕП-31/15 от 17 ноября 2015 г. . Стоимость поставки составила 1,225

млн.руб. Монохроматор МДР-41 (поз.16) был поставлен непосредственно его производителем – ЗАО «ОКБ Спектр» (г.Санкт-Петербург) по договору 223-ЕП-35/15 от 2 декабря 2015 г. Цена прибора составила 320,9 тыс.руб.

Приобретение сервера графической обработки данных ASUS ESC4000 (поз.15) стоимостью 880 тыс.руб. осуществлено у ООО «Юпитер» (г.Санкт-Петербург) по договору 223-ЕП-22/15 от 15 октября 2015 г.

Все закупленное оборудование оприходовано и размещено в подразделениях, занимающих его эксплуатацией – как на самом телескопе, так и в научных лабораториях, занимающихся разработкой новых методов исследований для УНУ БТА.

2 Наблюдения на УНУ БТА в интересах САО и внешних организаций в соответствии с планами, утвержденными программным комитетом

В ходе проведения 3-го этапа ПНИ были продолжены плановые наблюдения на УНУ БТА в соответствии с расписанием, утвержденным директором САО по результатам распределения времени на II полугодие 2015 года. Это расписание приведено в Приложении А к настоящему Отчету. Исследования осуществлялись как в интересах сотрудников базовой организации, так и в интересах сторонних организаций.

Среди основных результатов, полученных в ходе проведения плановых наблюдений в интересах сотрудников базовой организации:

- 18-19.08.2015 - исследование красных транзиентов промежуточной светимости (заявитель – Е.А.Барсукова). Оборудование – фокальный редуктор первичного фокуса БТА SCORPIO. Объект PSN J09096496+3307204 в галактике NGC 2770 был открыт как оптический транзиент в ходе обзора Catalina Real-Time Transient Survey (США) и идентифицирован как импостор сверхновой. Было установлено, что имел место взрыв массивной звезды LBV, который привел к коллапсу ее ядра и вспышке Сверхновой. Первые результаты показаны на рисунке 1. Слева приведена кривая блеска сверхновой в полосе V в 2015 г, где моменты получения спектров на УНУ БТА отмечены рисками. Справа приведены спектры объекта в указанные эпохи. Эмиссия выброса Сверхновой в линии H_{β} распространяется в сторону коротких длин волн на 18000 км/с, при этом появились вторые компоненты в абсорбционных линиях.

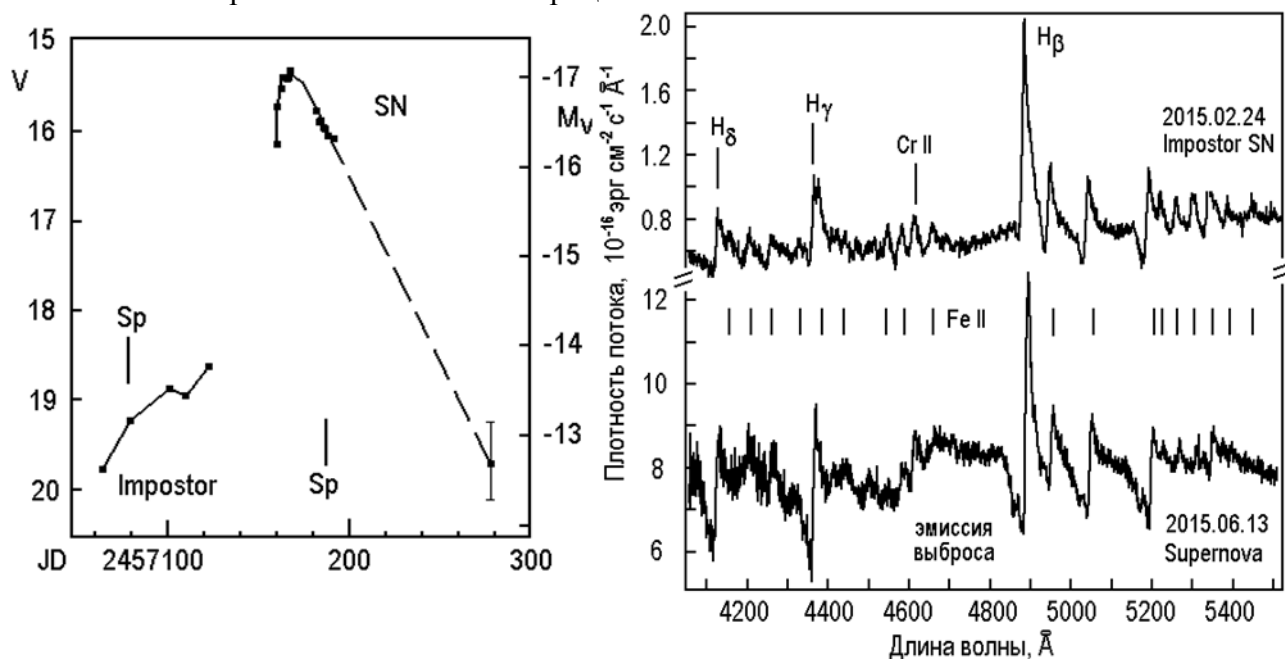


Рисунок 1 – Кривая блеска PSN J09096496+3307204 в полосе V (слева) и ее спектры в отмеченные эпохи в 2015 г. Заявитель – Е.А.Барсукова (САО РАН)

- 6-8.09.2015 – поиск и исследования массивных звезд в близких галактиках, заявитель – А.Ф.Валеев (САО РАН). Программа инициирована открытием

черной дыры с массой около 200 солнечных масс в галактике NGC 5408. Поиск объектов проводится в три этапа:

1. Отбор кандидатов по данным космического телескопа им.Хаббла (HST) на изображениях в широких фильтрах и H_{α} ;
2. Спектроскопия в районе H_{α} ;
3. Спектроскопия в голубой области при наличии широкой компоненты в H_{α} .

На данный момент нами найдено около 20 потенциальных кандидатов. На рисунке 2 представлен спектр объекта $\sim 20^m$ в галактике UGC6456, который оказался кандидатом в объекты типа SS433.

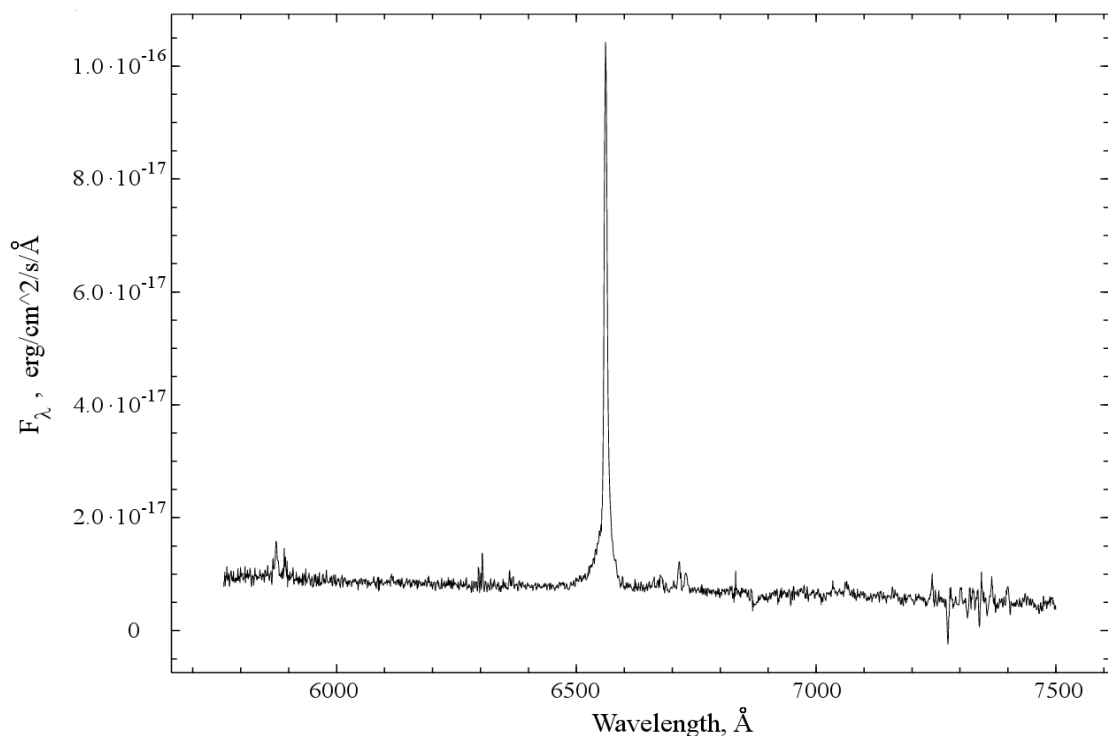


Рисунок 2 – Результаты спектроскопии кандидата в SS433 в галактике UGC6456

- 13-15.11.2015 - спектроскопия ультраярких рентгеновских источников (ULX – Ultra Luminous X-ray source), заявители – А.С. Винокуров, С.Н. Фабрика, О.Н. Шолухова, А.Ф. Валеев (САО РАН). Оборудование – фокальный редуктор светосилы SCORPIO.

Спектры всех ULXs (менее 10 объектов), полученные ранее на крупных телескопах (БТА, Subaru и VLT), показывают широкую эмиссионную линию HeII 4686. Эти спектры, приведенные на рисунке 3, подобны спектрам SS433 и LBV-звезд в горячем состоянии.

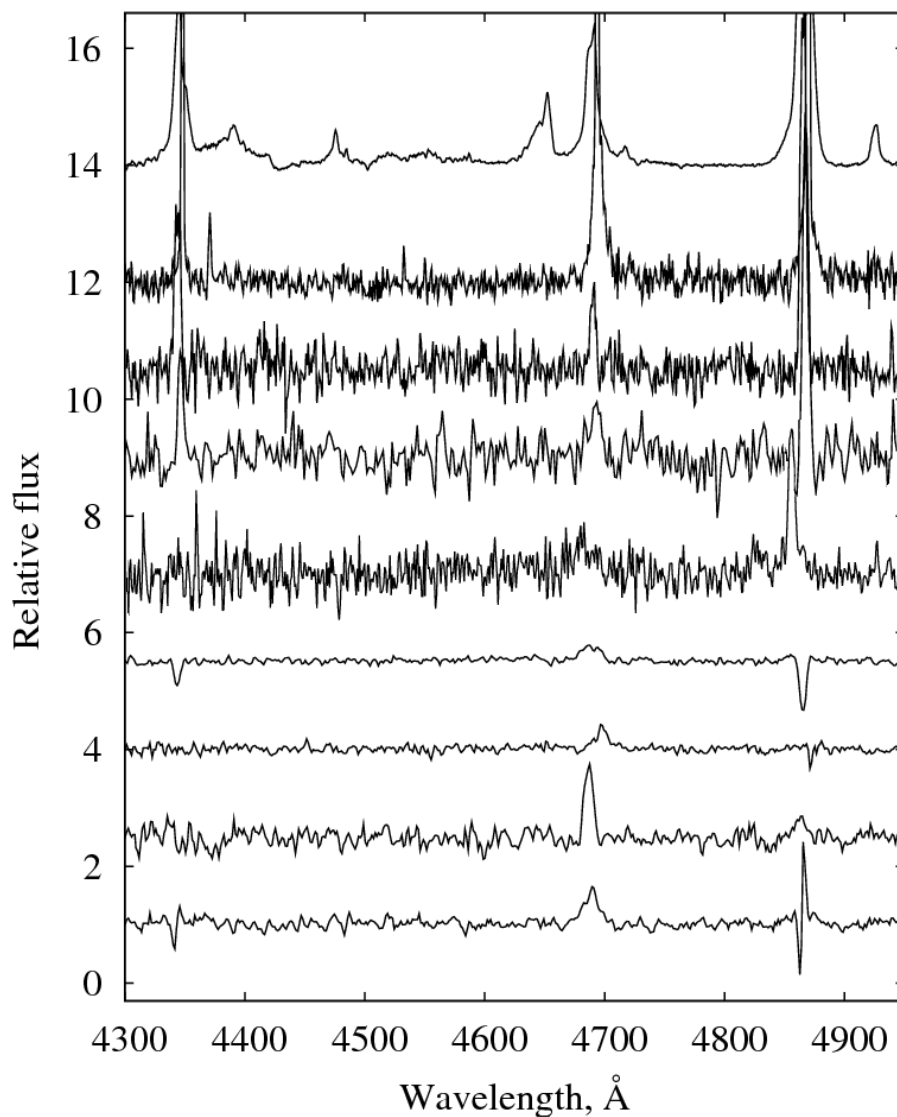


Рисунок 3 – Результаты спектроскопии ULX на УНУ БТА, телескопах VLT и Subaru

- 23-26.08.2015, 22-24.09.2015, 20-22.11.2015 – исследования магнитных полей химически пекулярных звезд и поиск новых магнитных звезд. Заявители – Е.Семенко, Д.Кудрявцев и И.Романюк (САО РАН). Оборудование – Основной звездный спектрограф.

Цель исследований: изучение состояния звездных атмосфер в присутствии магнитного поля. Объекты изучения: химически пекулярные (CP) звезды, являющиеся объектами на Главной последовательности звезд с T_{eff} в диапазоне от 7000 до 25 000 К. CP звезды отличает стабильное и устойчивое магнитное поле на масштабе десятилетий, величина поля на полюсе от 300 Гс до 34 000 Гс, оно носит глобальный характер.

Пример сложной геометрии магнитного поля у CP звезд показан на рисунке 4.

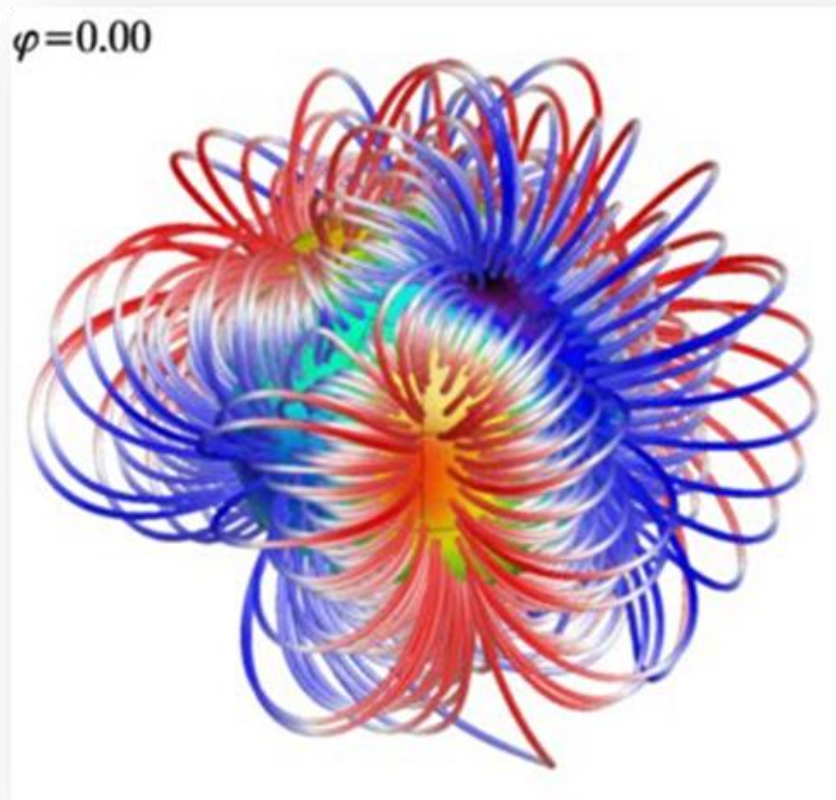


Рисунок 4 – Модель магнитного поля звезды HD 37776, построенная на основе анализа данных БТА. Заявитель – Е.Семенко (САО РАН)

- 20-21.09.2015 и 16-18.11.2015 – исследования новых карликовых галактик в Местном объеме (И.Д.Караченцев (САО РАН)). Оборудование – фокальный редуктор SCORPIO.

В ходе работы по изучения галактик в Местном Объеме были измерены расстояния для примерно 250 близких галактик. Это позволило построить трехмерную карту распределения видимого вещества. Распределение близких галактик чрезвычайно неоднородно, они концентрируются в группы и волокна в плоскости Местного Сверхскопления. Несмотря на такую неоднородность, хаббловское расширение начинается сразу за пределами Местной группы (1 Мпк) и является неожиданно «холодным»: дисперсия скоростей на диаграмме скорость-расстояние около 25 км/с. Анализ лучевых скоростей и расстояний до галактик позволил оценить массы близких групп по их влиянию на разлет окружающих галактик. К примеру, масса Местной группы $= 1.9 \times 10^{12}$ масс Солнца, что находится в хорошем согласии с суммой вириальных масс нашей Галактики и туманности Андромеда. Это позволяет утверждать, что распределение темной материи в Местной Вселенной следует рельефу видимого вещества. Средняя плотность вещества в окрестностях Местной группы равна $\Omega_m = 0.08$ в единицах критической плотности, что значительно меньше значения 0.28 в стандартной λ CDM модели. На рисунке 5 показаны результат исследования распределения галактик облака в Местном объеме.

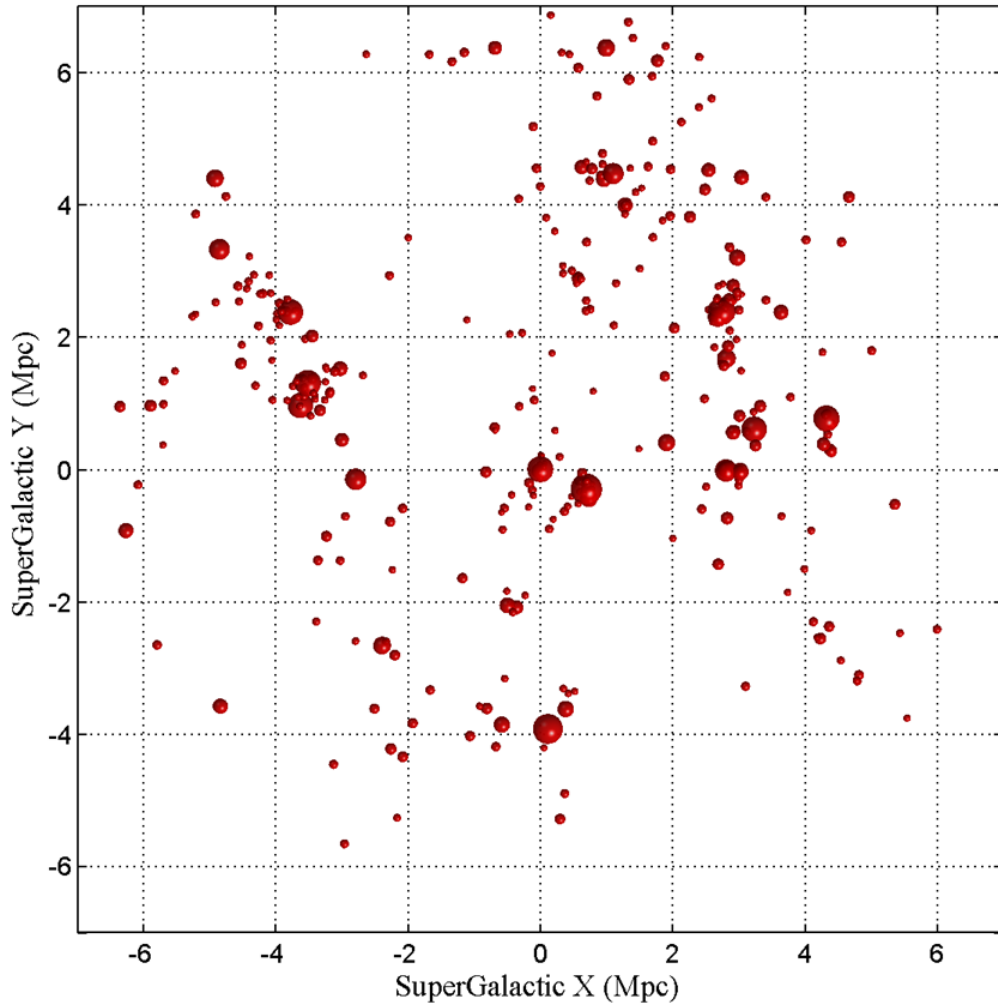


Рисунок 5 – Распределение галактик в Местном объеме. Наша галактика – в центре $(X,Y)=(0,0)$, чуть правее и ниже – М31, так называемая «Туманность Андромеды»

Среди основных результатов, полученных в ходе проведения плановых наблюдений в интересах внешних заявителей:

- 04-08.10.2015 - Газовые структуры в галактиках ранних типов (заявитель - О.К. Сильченко (ГАИШ МГУ)). Инструмент - фокальный редуктор SCORPIO в сочетании со сканирующим эталоном Фабри-Перо и в режиме спектроскопии со щелью. С его помощью у целого ряда линзовидных галактик обнаружены протяженные газовые диски, кинематика которых указывает на внешнее происхождение (аккреция или захват спутника вне основной плоскости диска). При этом зачастую направления вращения газового диска и основного диска звезд галактики не совпадают. Примеры таких галактик даны на рисунке 6.

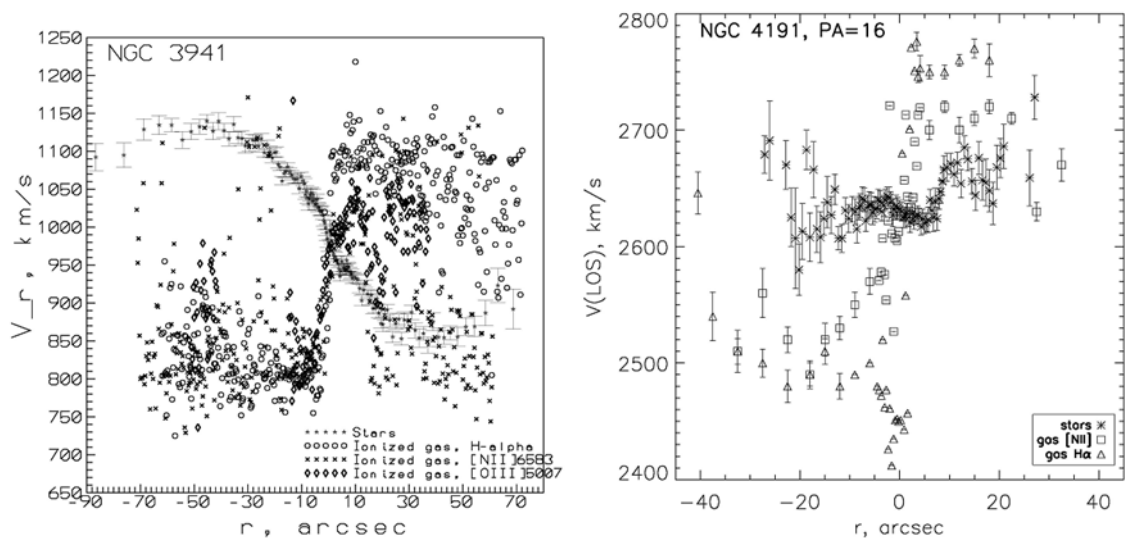


Рисунок 6 – Примеры различной кинематики звездного и газового дисков для галактик NGC3941 (слева) и NGC 4191 (справа). Заявитель – О.Сильченко (ГАИШ МГУ)

- 15-19.09.2015 - Свойства толстых дисков в галактиках, видимые с ребра (заявитель – А.Каспарова (ГАИШ МГУ)). В режиме длинной щели в 2015 г. на SCORPIO-2 были сняты спектры толстых дисков трех галактик: NGC4111, NGC4710 и NGC5422. При этом сравнение свойств звездных населений толстой и тонкой дисковых подсистем позволило сделать ряд выводов по эволюции толстых дисков в исследуемых галактиках и ограничить число возможных сценариев их образования. На рисунке 7 показано распределение вдоль радиуса возраста звездного населения и его металличности отдельно для толстого и тонкого дисков галактики NGC 4710. Положение щели показано для каждой из составляющих на верхнем изображении самой галактики.

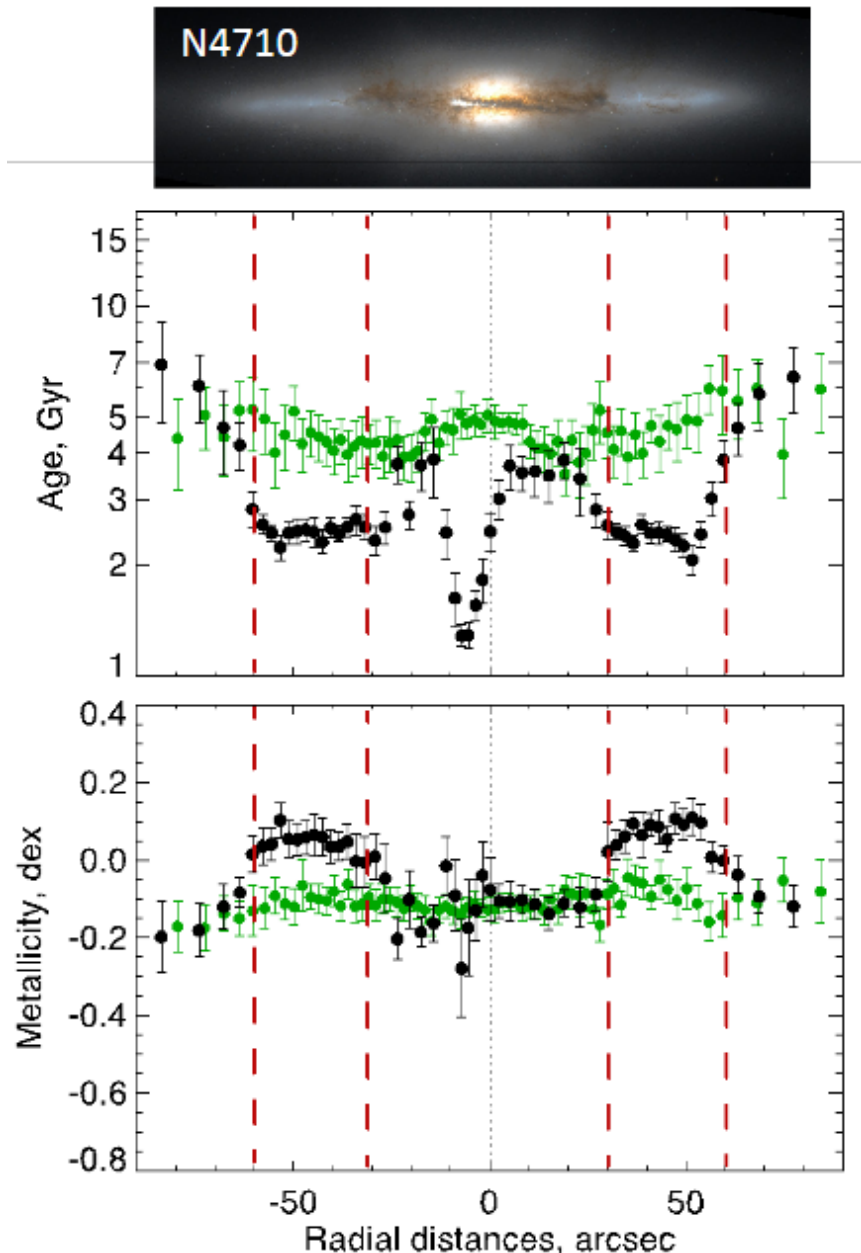


Рисунок 7 – Распределение возраста и металличности для дисковых подсистем в галактике NGC4710. Заявитель – А.Каспарова (ГАИШ МГУ)

- 29.10-02.11.2015 - Темные спутники визуально-двойных звезд (заявитель – Е.Рощина (ГАО РАН)).

На основе многолетних астрометрических наблюдений визуально двойных и кратных звезд в ГАО РАН были предсказаны тёмные спутники, возмущающие орбиту наблюдаемых звёзд. Для подтверждения реального существования, а также для оценки параметров данных тёмных спутников, необходимо проведение наблюдений с использованием методов астрономии высокого разрешения. Обнаружение тёмных спутников на основе спекл-интерферометрии позволит определить являются данные спутники звёздами или экзопланетами (горячие Юпитеры), а также при длительном

наблюдении обнаруженных тёмных спутников будет возможным проверить теоретические предсказания периодов обращения тёмных компонент. Для одной из таких систем – J1158+4239 - по наблюдениям со спекл-интерферометром УНУ БТА в ближнем ИК-диапазоне удалось получить параметры системы и наложить ограничения на характеристики невидимых спутников (рисунок 8).

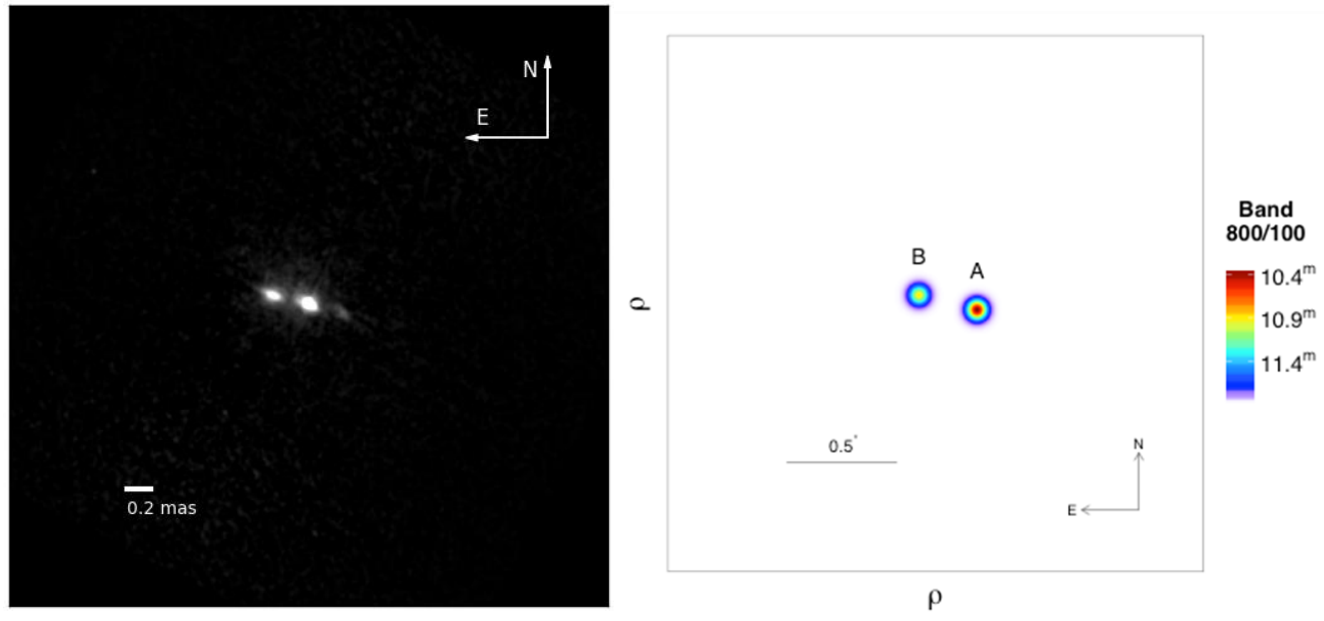


Рисунок 8 – Результаты поиска темных спутников у визуально двойных звезд – J1158+4239. Заявитель – Е.Рощина (ГАО РАН)

Предварительные параметры системы следующие: расстояние между компонентами – $0.''282 \pm 0.''003$, позиционный угол – $75.^{\circ}8 \pm 0.^{\circ}5$, разница блеска = $0.^m48 \pm 0.^m04$.

Аналитические данные, характеризующие загрузку УНУ БТА в течение 2015 года, приведены на нижеследующих рисунках. На рисунке 9 приведено количество рабочих часов УНУ БТА в январе-декабре 2015 года. Хорошо выделяются зимние месяцы – январь и февраль, неплохо удалось поработать осенью. В целом это дало 1422 часа работы, что соответствует средним многолетним данным с учетом того, что в июле месяце телескоп был остановлен для переалюминирования Главного зеркала.

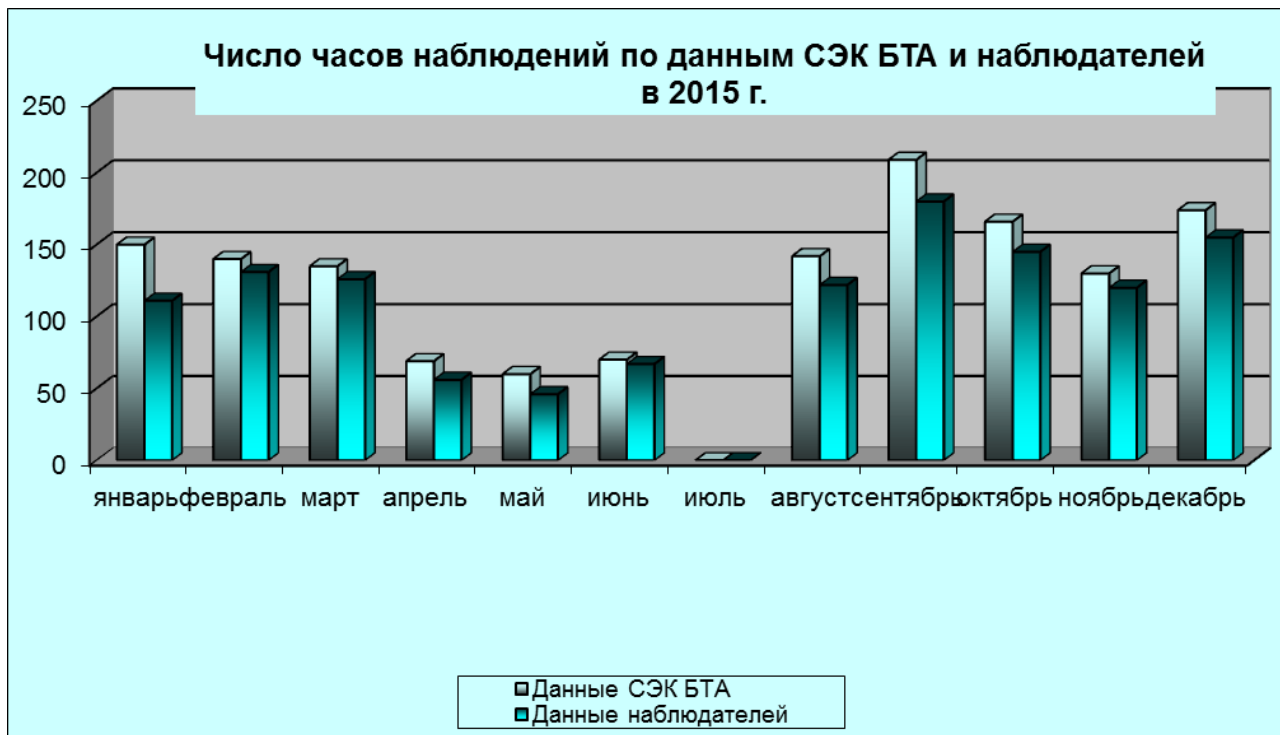


Рисунок 9 – Количество наблюдательного времени УНУ БТА в 2015 году
 На рисунке 10 приведено распределение выделенного рабочего времени УНУ БТА между пятью используемыми на УНУ методами в 2015 году.

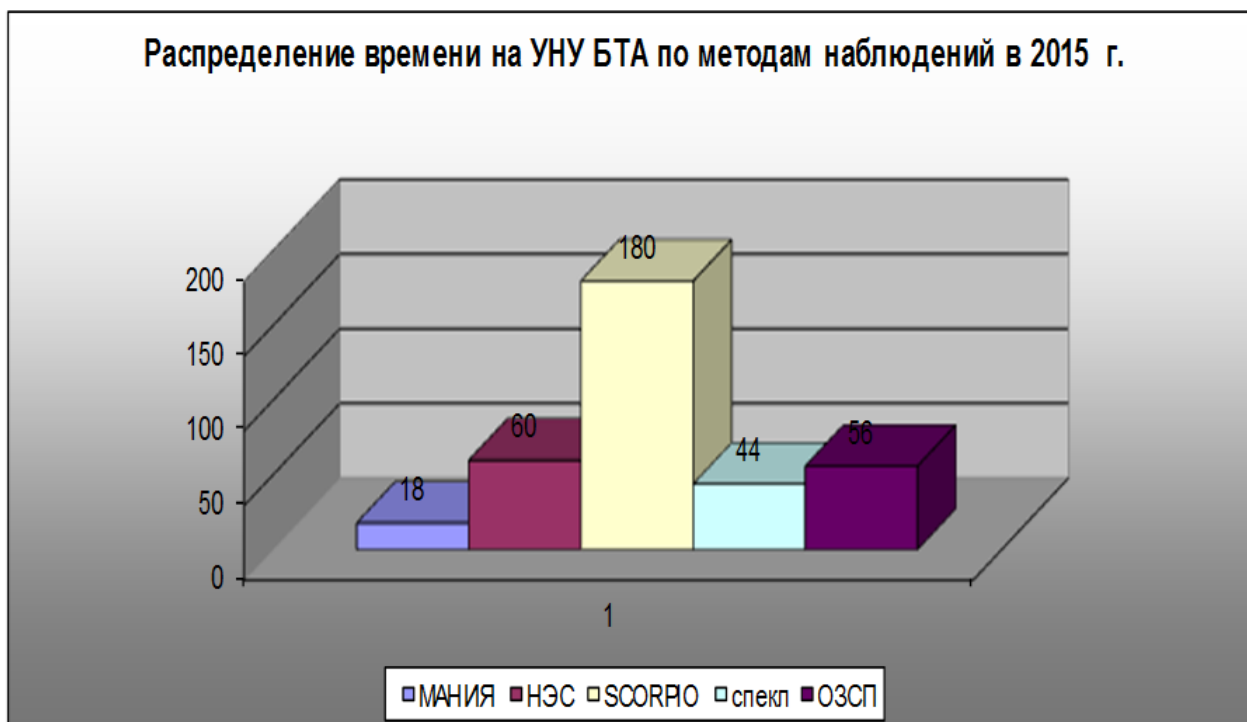


Рисунок 10 – Распределение выделенного календарного времени между наблюдательными методами УНУ БТА в 2015 году
 Как и в прежние годы, безоговорочным лидером остается фокальный редуктор SCORPIO с 180 ночами из общего количества 358 ночей.



Рисунок 11 – Распределение выделенного календарного времени по группам заявителей УНУ БТА в 2014-2015 гг.

На рисунке 11 показано распределение выделенного программным комитетом календарного времени работы УНУ БТА на последние 4 полугодия между группами заявителей: сотрудники CAO РАН, сотрудники российских организаций, представители стран СНГ и сотрудники организаций из стран дальнего зарубежья.

Обращает на себя внимание тот факт, что практически исчезли заявки из стран ближнего зарубежья.

В приложении А к настоящему Отчету приведено расписание работы УНУ БТА на первое полугодие 2016 года, подготовленное в соответствии с решениями Комитета по тематике больших телескопов.

3. Внедрение методик на УНУ БТА

3.1 Внедрение методики спектрополяризметрических исследований с призмой Волластона двойного лучепреломления для спектрографа первичного фокуса SCORPIO

Цель проекта - внедрение методики поляризметрических наблюдений слабых звездообразных и протяженных объектов для получения параметров Стокса I, Q, U и V с использованием призмы двойного Волластона в поляризметрической моде фокального редуктора SCORPIO — 2 УНУ БТА.

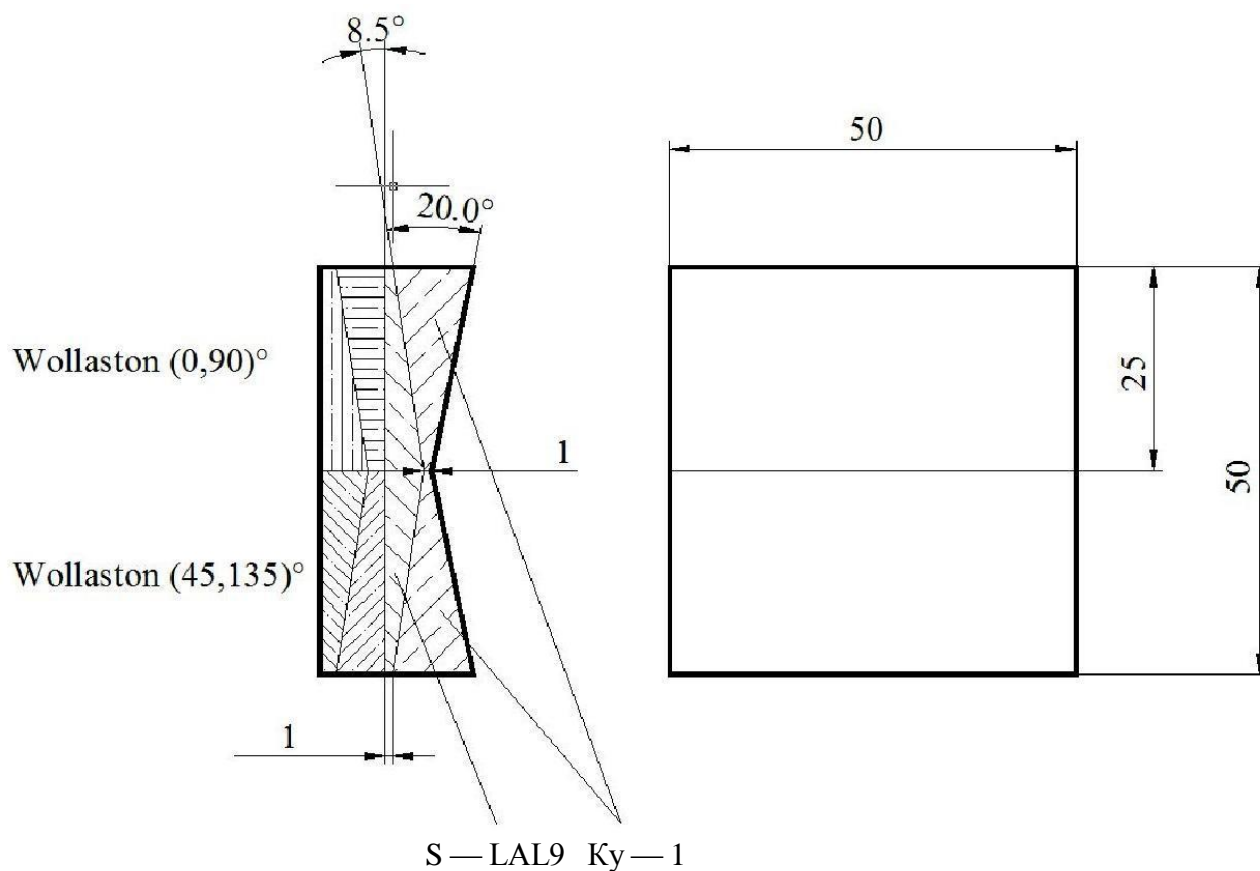


Рисунок 12 – Схема призмы двойного Волластона и ее размеры

В 2014 году была изготовлена призма двойного Волластона, схема которой представлена на рисунке 12. Сами призмы изготовлены из кристаллов оптического исландского шпата (CaCO_3), ахроматические клинья - из стекла S-LAL9 и плавненого кварца Ky-1. Склейка призма двойного Волластона вмонтирована в оправу, которая установлена в турель SCORPIO — 2.

В ходе 2 этапа ПНИ было осуществлено изготовление ахроматических клиньев и оправы, проведены склейка и сборка двулучевой поляризационной призмы Волластона.

В ходе текущего этапа ПНИ методика спектрополяризметрических исследований с призмой Волластона двойного лучепреломления была внедрена на спектрографа первичного

фокуса SCORPIO. Описание методики, акт ее внедрения приведены в Приложении Б к настоящему Отчету.

В ноябре 2015 года на телескопе БТА состоялись первые наблюдения с использованием призмы двойного Волластона. Было выполнено тестирование новой методики наблюдений с использованием призмы двойного Волластона для выявления точности измерений. На рисунке 13 слева показано одновременное измерение I, Q и U параметров Стокса стандарта нулевой поляризации звезды BD+28° 4211. Точность проведенных измерений Q и U параметров Стокса 0.11 и 0.14% соответственно, точность измерения линейной поляризации составила 0.08%. На рисунке 13 справа представлены результаты наблюдений сильнозамагниченного белого карлика Grw+70°8247, магнитное поле которого превышает земное в сотни миллионов раз.

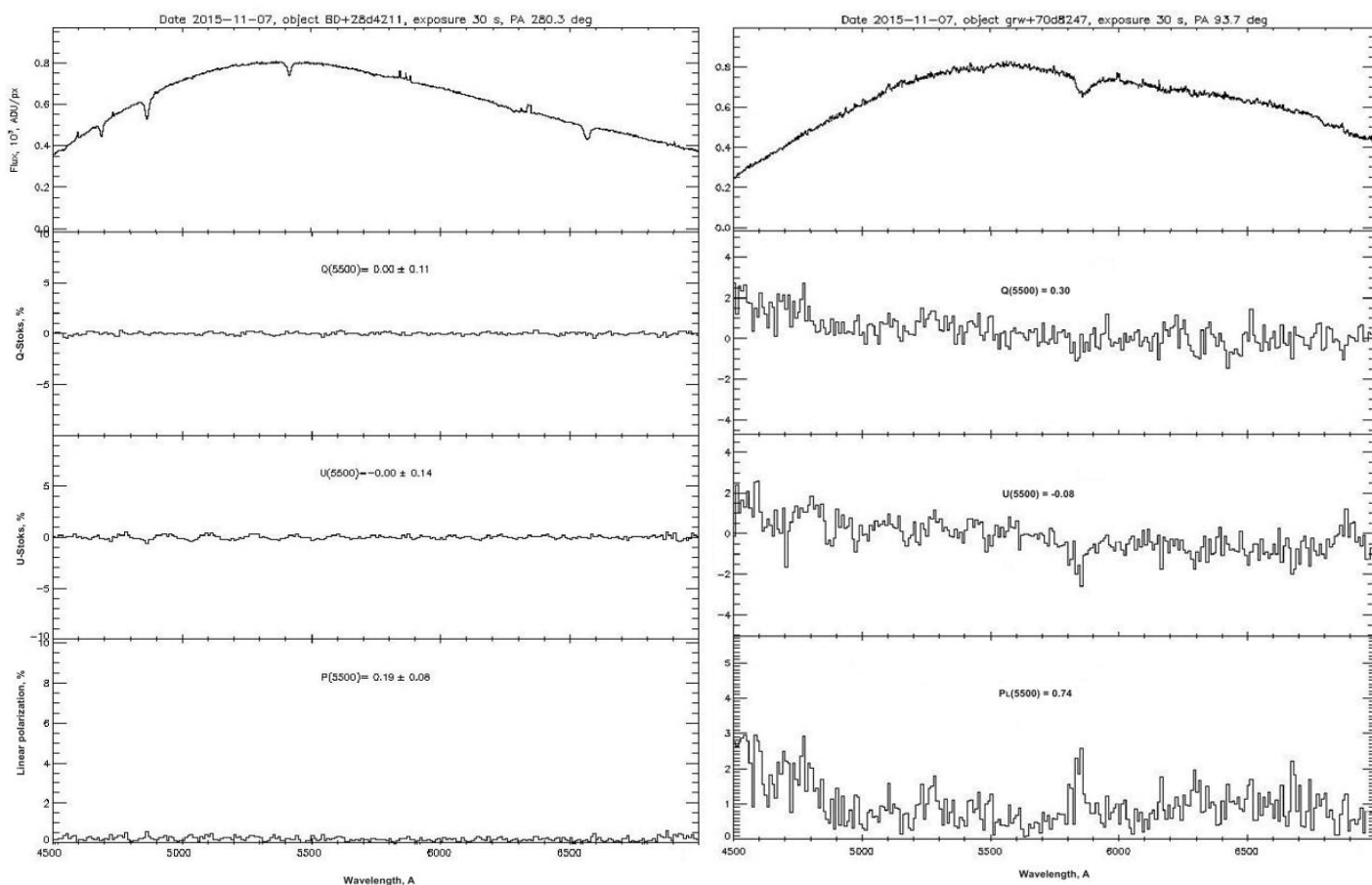


Рисунок 13 – Результаты спектрополяриметрических исследований на УНУ БТА: стандарта нулевой поляризации (слева) и белого карлика с сильным магнитным полем (справа).

3.2 Внедрение методики проведения наблюдений с перестраиваемым фильтром в первичном фокусе

3.2.1 Измерение параметров ИФП низкого порядка интерференции (перенастраиваемого фильтра).

Сканирующий интерферометр Фабри-Перо ET-50-FS-100 изготовлен фирмой IC OPTICAL SYSTEMS LTD (ICOS) в Великобритании по заказу CAO РАН. В отличие от ранее приобретенных ИФП, работающих в высоких ($n > 180$) порядках интерференции, данный интерферометр снабжен специальной системой LRS-28/50 (Long range stacks), включающей дополнительные пьезоэлементы для увеличения диапазона сканирования пьезоэлектрической системой. Это важно для выполнения тонкой настройки и наблюдений с интерферометром, имеющим малый зазор между пластинами, чтобы компенсировать эффект изменения фазы отраженного света, благодаря чему оптический промежуток между пластинками ИФП оказывается больше, чем физический размер воздушного промежутка между ними.

Точность поверхности пластин, согласно данным фирмы-изготовителя: $\lambda/100$

Номинальный зазор между пластинами интерферометра: 10 ± 1 микрон

Номинальный диапазон сканирования: 2.8 микрона

Номинальный порядок интерференции на длине волны 656.3 нм: 30 ± 2

На рисунке 14 приведены зависимость коэффициента отражения пластин с диэлектрическим покрытием от длины волны. Видно, что данный прибор позволяет проводить наблюдения с высокой эффективностью ($R > 75\%$) в диапазонах 450-750 нм и 850-950 нм, что достаточно для выполнения задач по диагностике состояния ионизации межзвездной среды по измерениям отношения потоков следующих линий: HeI (468.5 нм), H β (486.1 нм), [OIII] (495.8/500.7 нм), [NI] (519.9 нм), He I (587.6 нм), [OI] (630.9/636.4 нм), Na (656.3 нм), [NII] (654.8/658.3 нм), He I (667.8 нм), [SII] (671.6/673.1 нм), [SIII] (906.9/953.2 нм).

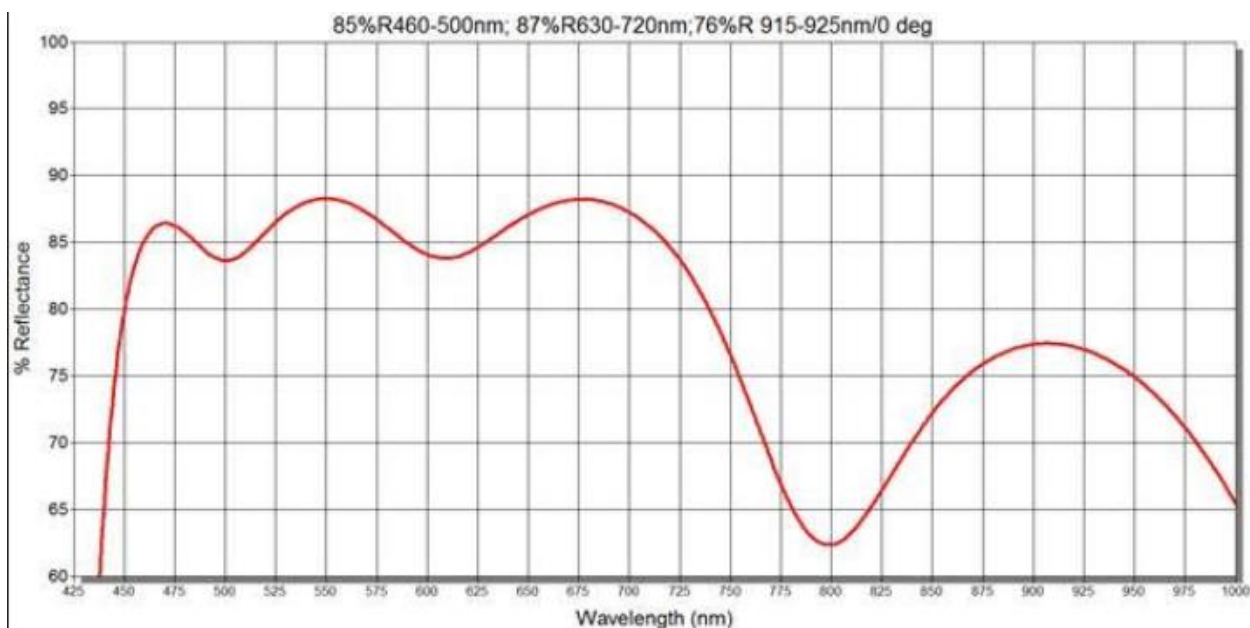


Рисунок 14 - Характеристика отражающих покрытий сканирующего ИФП: зависимость коэффициента отражения от длины волны

3.2.2 Установка и наблюдения с ИФП низкого порядка интерференции (перенастраиваемым фильтром) на БТА/SCORPIO-2

Наблюдения с перенастраиваемым фильтром на 6-м телескопе САО РАН проводятся также, как и со сканирующими ИФП более высоких порядков интерференции. ИФП закрепляется в специальном держателе на 4-м «этаже» многорежимного редуктора светосилы SCORPIO-2, позволяющим дистанционно вводить и выводить интерферометр в коллимированный пучок. ИФП (перенастраиваемый фильтр) подключается к контролеру CS100 с помощью специального многожильного кабеля длиной 3 метра. Пьезоэлектрические приводы, управляемые от контроллера, изменяют величину зазора между двумя отражающими поверхностями эталона. Параллелизм пластин поддерживается за счет конденсаторного микрометра, посылающего в контроллер сигналы обратной связи. Контроллер CS100 позволяет эффективно стабилизировать параметры ИФП и обеспечивает управление сканированием через СОМ-порт промышленного компьютера в кабине первичного фокуса 6-м телескопа БТА по стандартному интерфейсу типа RS232.

Поскольку расстояние между соседними порядками интерференции для используемого перенастраиваемого фильтра составляет около 15-20 нм (в зависимости от длины волны), то необходимо предварительно выделить рабочий спектральный диапазон с этой целью был заказан и изготовлен специальный набор среднеполосных интерференционных фильтров диаметром 50 мм, устанавливаемых в 1 и 2-й турелях SCORPIO-2 (см. таблицу 1)

Таблица 1: Основные интерференционные фильтры, отобранные для наблюдений с перенастраиваемым фильтром

Спецификация	Центральная длина волны, нм	Ширина полосы (FWHM), нм	Выделяемые эмиссионные линии (красное смещение $z=0$)
MB475	475	25	HeI
FN501	501	12	[OIII]
MB500	500	25	H β , [OIII]
MB625	625	25	[OI]
FN655	656	10	H α , [NII]
MB675	675	25	[SII], He I
MB900	900	25	[SIII]

3.2.3 Обработка данных, получаемых с ИФП низкого порядка интерференции (перенастраиваемым фильтром) на БТА/SCORPIO-2

Основные этапы обработки данных, получаемых с перенастраиваемым фильтром, близки к тем, что используются в САО РАН при обработке материалов со сканирующими ИФП высокого разрешения. При этом используются новые принципы построения шкалы длин волн, описанные в статье [1]. Здесь вместо двумерной фазовой карты используется куб $\Lambda(x,y,z)$ (далее - Λ -куб) содержащие значения длин волн для каждой точки в кубе наблюдательных данных $I(x,y,z)$.

При этом:

$$\Lambda(x, y, z) = [z - p(x, y)] \frac{\Delta\lambda}{n_z} + \lambda_{\text{calib}}.$$

где $p(x,y)$ – фазовая карта, z – номер спектрального канала, $\Delta\lambda$ — ширина полосы, λ_{calib} – длина волны калибровочной линии, n_z – число спектральных каналов (эмиссия в линии и континуум). На практике длины волн удобно выражать в долях шага сканирования (выражение в квадратных скобках в приведенной выше формуле). В каждый последующий порядок добавляется величина $z=n_z$, так что в Λ -кубе нет разрывов, связанных со сменой порядка интерференции.

Если в процессе первичной редукции данных приходится выполнять смещения каналов Δx , Δy в кубе объекта $I(x,y,z)$, то точно такие же смещения выполняются в соответствующих каналах Λ -куба (коррекция по звездам поля, учет сдвига между кубом калибровки и тестовыми интерферограммами колец от калибровочной лампы до и после

наблюдений объекта). Таким образом, в каждом канале $I(x,y,z)$ сохраняются корректные длины волн, соответствующие каждому пикселю изображения, с точностью до интерполяции при сдвиге. Преобразование $I(x,y,z) \rightarrow I(x,y,\lambda)$ осуществляется путем интерполяции наблюдаемых в каждой точке (x,y) интенсивностей со шкалы Λ -куба на равномерную по длинам волн сетку.

3.2.4 Рекомендации по применению результатов проведенной работы в дальнейших исследованиях.

Тестовые наблюдения со сканирующим ИФП в низких порядках интерференции на 6-м телескопе САО РАН в составе прибора SCORPIO-2 показали высокую эффективность этой методики, позволяющей аккуратно вычитать уровень континуума в объектах с композитным оптическим спектром. Конкурирующими методиками является интегрально-полевая спектроскопия с линзовым растром и прямые снимки в узко- и среднеполосных фильтрах. Однако перенастраиваемый фильтр на базе ИФП позволяет выполнять наблюдения в значительно большем поле зрения и с большей квантовой эффективностью, чем существующие интегрально-полевые спектрографы. Классическая же фотометрия в фильтрах не позволяет отдельно выделять близкорасположенные (разница длин волн менее 3-5 нм) эмиссионные линии. Наиболее перспективными приложениями метода наблюдений с перенастраиваемым фильтром на базе ИФП представляются следующие наблюдательные задачи:

1. Построение карт излучения в отдельных эмиссионных линиях ионизованного газа в близких галактиках, поиск следов «галактического ветра» и аккрецированного газа по отношению интенсивностей запрещенных и бальмеровских линий ($[NII]/H\alpha$).
2. Изучение источников ионизации газа в протяженных филаментах в скоплениях галактик и вблизи галактик с активными ядрами. Здесь требуется построения карт отношения в нескольких линиях, используемых в диагностических диаграммах, таких как $[NII]/H\alpha - [OIII]/H\beta$.
3. Поиск ударных фронтов, измерения состояния ионизации и плотности газа (по отношению интенсивности линий эмиссионного дублета $[SII]$) различных галактических туманностей и эмиссионных оболочек, связанных с областями современного образования звезд в близких галактиках.
4. Изучения эмиссионного спектра близких и далеких комет в линиях C_2 , NH_2 , CO^+ .

Описание внедренной методики и акт внедрения приведены в Приложении В к настоящему Отчету.

3.3 Внедрение методики спектроскопии сверхвысокого разрешения с применением интерференционно-дифракционного спектрографа

В 2015 году выполнены работы по исследованию различных модификаций применения интерферометра Фабри-Перо (ИФП) в спектроскопии звезд с высоким ($20000 < R < 100000$) и сверхвысоким ($R > 100000$) разрешением. В результате теоретических исследований, наблюдений на УНУ БТА и лабораторных экспериментов изготовлен макет прибора, реализующего методику спектроскопии с применением интерференционно-дифракционного спектрографа, составлено техническое задание на изготовление конкретного экземпляра ИФП.

Основные этапы работы включали в себя:

- А) обоснование применения интерферометра в спектроскопии звезд со сверхвысоким разрешением;
- Б) сравнение дифракционного и интерференционно-дифракционного спектрографов;
- В) апробация режима использования интерферометра Фабри-Перо на внешней установке;
- Г) апробация режима использования интерферометра Фабри-Перо на внутренней установке;
- Д) использование интерферометра Фабри-Перо с открытым входом.

Описание внедренной методики, ее основных этапов и акт внедрения приведены в Приложении Г к настоящему Отчету.

На рисунке 15 показан результат первой реализации метода сверхвысокого разрешения на УНУ БТА с использованием ИФП на внешней установке.

Из работы [2] следует, что при равном спектральном разрешении R и сравнимых геометрических размерах приборов светосила дифракционных спектрометров на порядок превосходит светосилу призмных спектрометров, а светосила ИФП более чем на порядок превышает светосилу дифракционного прибора. Это, в частности, означает, что при работе с ИФП нет особого смысла использовать гигантские дифракционные спектрографы типа НЭС - основным спектральным устройством является ИФП, а дифракционный спектрограф является лишь средством пространственного разведения порядков ИФП, поэтому параметры дифракционного спектрографа могут быть более скромными.

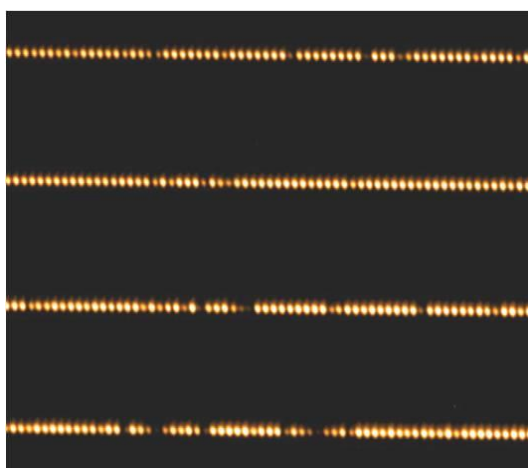
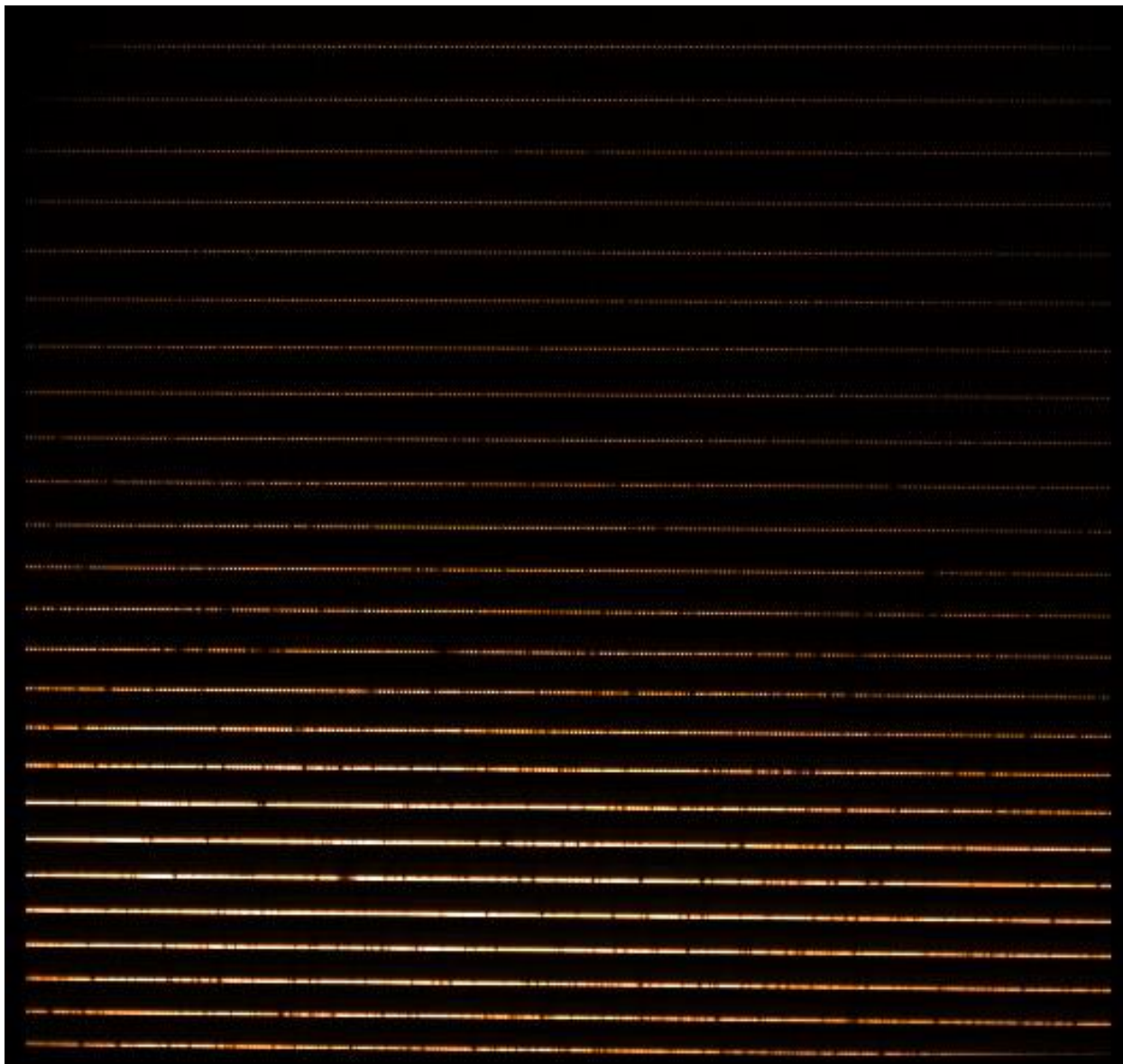


Рисунок 15 - Изображение форматом 2048x2048 элементов (а) и небольшой фрагмент изображения (б) спектра звезды, полученного на УНУ БТА, с использованием эшелле спектрографа НЭС с ИФП на внешней установке. Яркие точки соответствуют потокам, прошедшим через ИФП от участков непрерывного спектра, слабые точки – от участков, находящихся на профилях абсорбционных линий.

Поэтому нами был изготовлен макет оптоволоконного эшелле-спектрографа с ИФП на внутренней установке (см. рисунок 16, также [3]). Такая схема хороша тем, что не содержит оптических элементов, формирующих пучки до входа в спектрограф (ИФП помещается в коллимированный пучке, т.е., внутри спектрографа). После замены узла скрещенной дисперсии (решетка вместо призмы), прибор стал еще компактнее и может полностью поместиться в объем, стабилизированный по температуре и давлению. Сканирование спектра осуществляется небольшими наклонами ИФП относительно оси коллимированного пучка.



Рисунок 16 - Макет эшелле-спектрографа с интерферометром на внутренней установке, в котором сканирование спектра осуществляется путем изменения наклона ИФП к оси коллимированного пучка. Обозначения: 1 - оптоволоконный вход, 2 - линзовый коллиматор, 3 - интерферометр, 4 - решетка эшелле, 5 - призма скрещенной дисперсии, 6 – линзовая камера, 7 – светоприемник

Понятно, что применение ИФП связано как с потерями в проникающей способности (за счет увеличения R), так и с потерями за счет скважности регистрации спектра. Выигрыш здесь один – в светосиле, за счет использования практически всего изображения звезды, построенного большим телескопом. Но в случаях, когда необходимо реализовать высокое значение R , недоступное другим приборам УНУ БТА, (например, при спектроскопии околосредных оболочек, [4]), на потери следует решиться.

В изложенных выше схемах используется центральное пятно концентрической интерференционной картины равного наклона (наблюдаемой от протяженного источника). Так как угловые размеры изображения звезды согласованы с размером центрального пятна, интерференционные кольца не наблюдаются. Способ увеличения освещенности в кольцах

предложен и реализован в [5], где в передней пластине ИФП оставлено небольшое круглое отверстие, свободное от отражающего покрытия.

Для наблюдений поверхности Солнца со сверхвысоким разрешением в [6] был предложен метод наблюдения одинаковой фазы интерференции в ИФП в широкой области спектра одновременно. Основу метода составляет выравнивание угловых дисперсий дифракционной решетки и ИФП. При выравнивании дисперсий не имеет значения, используется ли классический ИФП или его модификация с открытым входом. Точное выравнивание угловых дисперсий обеспечивается в случае, когда решетка используется при нормальном падении коллимированного пучка, а интерферометр установлен перпендикулярно плоскости решетки (см. рисунок 17).

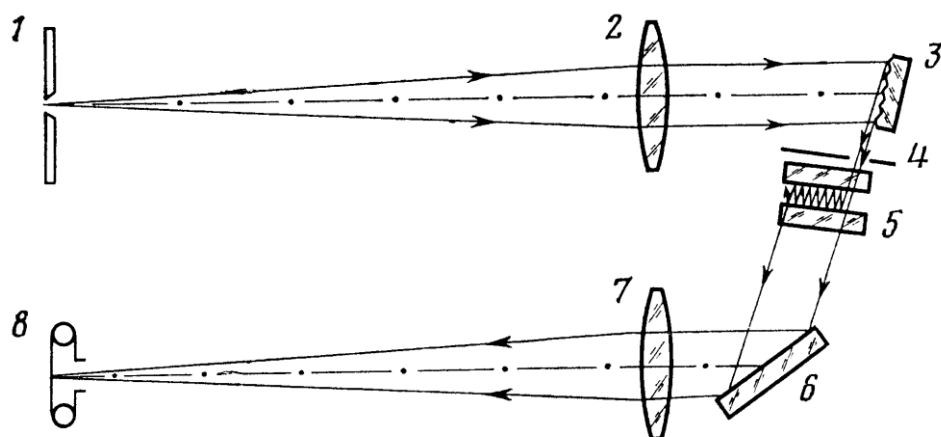


Рисунок 17 - Схема солнечного интерференционного спектрографа. Обозначения: 1 – щель, 2 – объектив коллиматора, 3 – дифракционная решетка, 5 – ИФП, 6 – плоское зеркало, 7 – объектив камеры, 8 – приемник излучения

При реализации метода на УНУ БГА необходимо принять меры для снижения потерь света на входе системы, имеющей широкощельность, равную 1. Кроме того, будет изменена компоновка элементов (отказ от плоского зеркала 6).

3.4 Внедрение методики спекл-интерферометрических исследований в инфракрасном диапазоне

Одним из пунктов программы развития УНУ БГА являлось расширение рабочего спектрального диапазона телескопа в инфракрасную область. Первым шагом в этой области явилось внедрение методики спекл-интерферометрических наблюдений инфракрасного диапазона.

3.4.1 Результаты лабораторных исследований системы регистрации

В качестве системы регистрации спекл-изображений была использована ИК-камера SNAKE SWIR со следующими параметрами:

- Формат матрицы в пикселях: 640 x 512;
- Размеры пикселя: 15 x 15 микрон;
- Спектральный диапазон: от 900 до 1700 нм;
- Пиковая квантовая эффективность: около 80% на длине волны 1000 нм;
- Характерная квантовая эффективность: > 70% в диапазоне от 950 до 1700 нм;
- Разрешение выходного АЦП: 16384 (14 бит);
- Шум считывания: около 35 эл. (режим высокого усиления);
- Динамический диапазон: около 800:1 - режим высокого усиления, 2000:1 - режим среднего усиления, 3000:1 - режим низкого усиления;
- Темновой ток: >1 фА/пиксел/сек (64 ке/пиксел/сек) при номинальном охлаждении;
- Время экспозиции: от < 1 мс до > 1 секунды.

Для задач, связанных с получением изображений звезд в ИК-области, были определены характеристики фильтров (центральная длина волны, ширина полосы пропускания и коэффициент пропускания) необходимых для проведения астрофизических исследований. Исследования кратности объектов в ИК области предполагают использование широкополосных фильтров с центральными длинами волн, соответствующими стандартным фотометрическим системам. Для увеличения соотношения сигнал/шум необходимы фильтры с высокими значениями коэффициентов пропускания. Исходя из этих требований, были приобретены фильтры со средним коэффициентом пропускания не менее 90%, центральной длиной и полушириной 900/80, 1025/50, 1030/25, 1075/50 и 1600/50 нм. В целях адаптации существующего блока спекл-интерферометра к проведениям тестовых наблюдений была изготовлена дополнительная турель для фильтров и произведена замена согласующей

оптики. Поскольку дисперсия в ИК-области незначительна, из светового тракта была выведена призма-компенсатор атмосферной дисперсии.

Внешний вид спекл-интерферометра с установленной камерой на оптико-механическом блоке показан на рисунке 18.

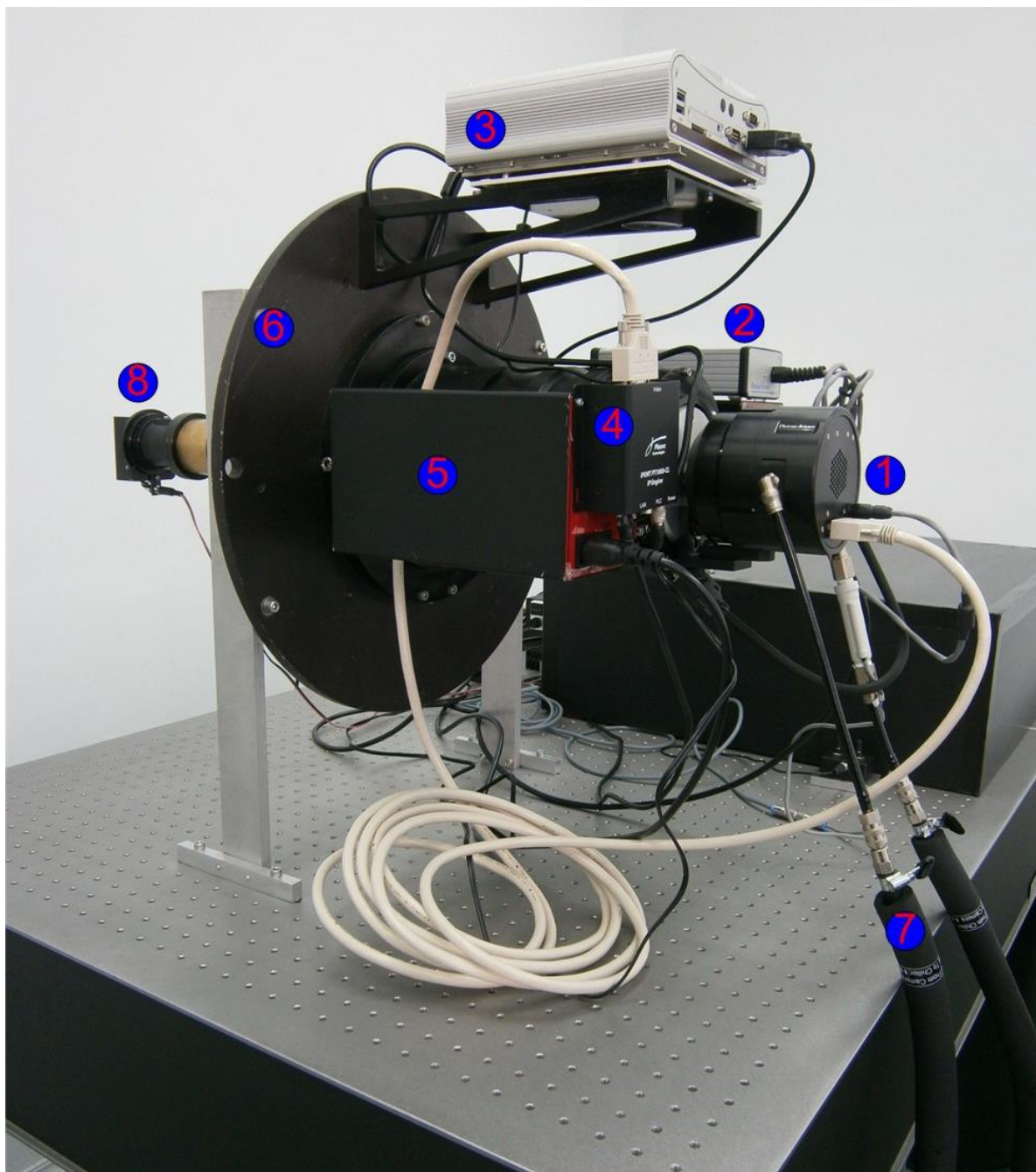


Рисунок 18 - Внешний вид спекл-интерферометра УНУ БТА с ИК-приемником на оптическом столе в лаборатории. Обозначения: 1 – камера ИК-диапазона, 2 - источник питания камеры, 3 - управляющий компьютер, 4 - преобразователь интерфейсов, 5- контроллер оптико-механического блока, 6 - фланец с установленным оптико-механическим блоком , 7 - шланги системы охлаждения, 8 - проектор “искусственная звезда”

3.4.2 Результаты первых наблюдений на УНУ БТА

В ночи 25-26 сентября 2015 года были проведены тестовые наблюдения в первичном фокусе УНУ БТА. Оптический блок с системой управления ИК камеры предварительно были собраны и откалиброваны на оптического столе лабораторного корпуса. В ходе наблюдений была проведена проверка паспортных характеристик камеры SNAKE SWIR.

По результатам наблюдений была проведена проверка независимости атмосферных искажений в коротковолновой области для различных зенитных расстояний по ярким одиночным объектам, исследована возможность наблюдений слабых двойных и тройных звезд, определено соотношение сигнал/шум для наблюдавшихся объектов, исследована стабильность темнового сигнала, построены гистограммы распределения полезного и темнового сигналов в кадре.

На рисунке 19 приведены изображения спектра мощности для неразрешаемой одиночной звезды V584 Aql.

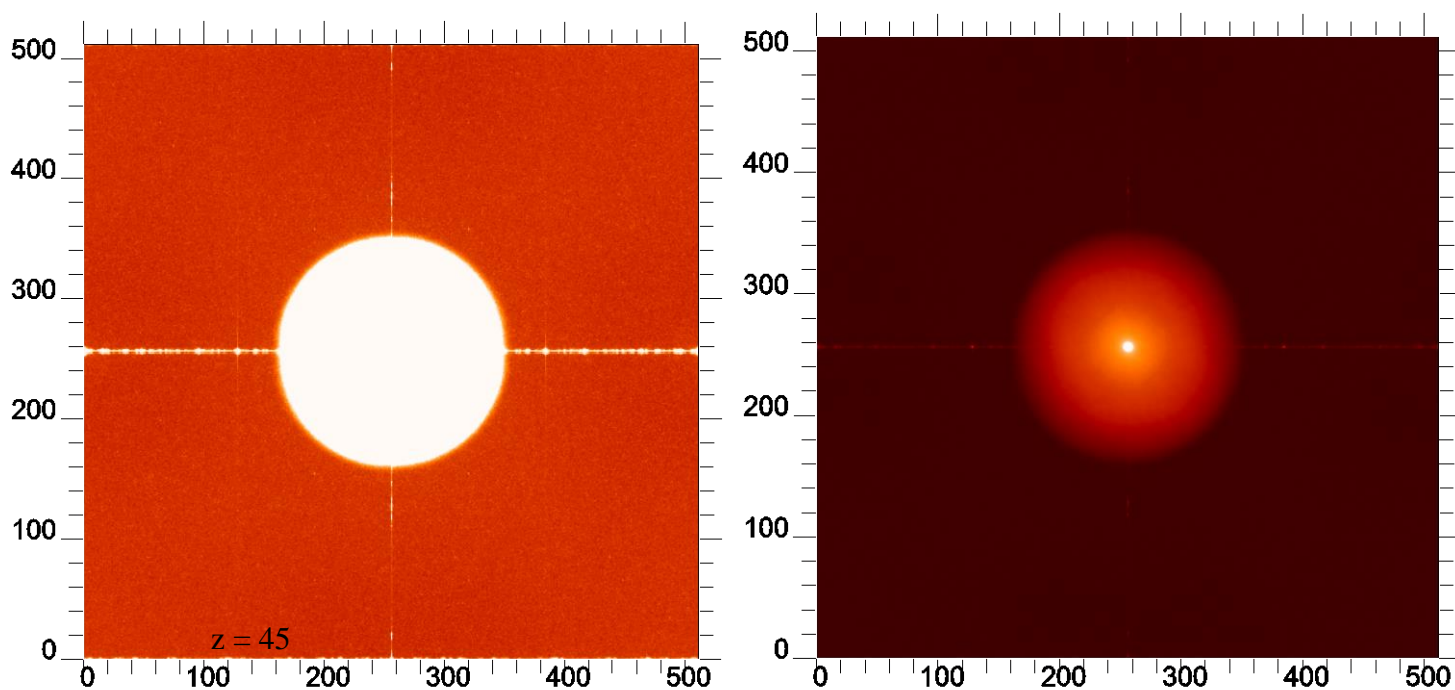


Рисунок 19 - Спектр мощности одиночной звезды V584 Aql на зенитном расстоянии 45, рассчитанный по 2000 кадров (слева). Справа: тот же спектр мощности в логарифмическом представлении по яркости

На рисунках 20 и 21 показаны спектры мощности разрешенных объектов – $\text{hip } 89455$ и $\text{gj } 1230$, соответственно. Яркость объектов и параметры наблюдений указаны в подписях.

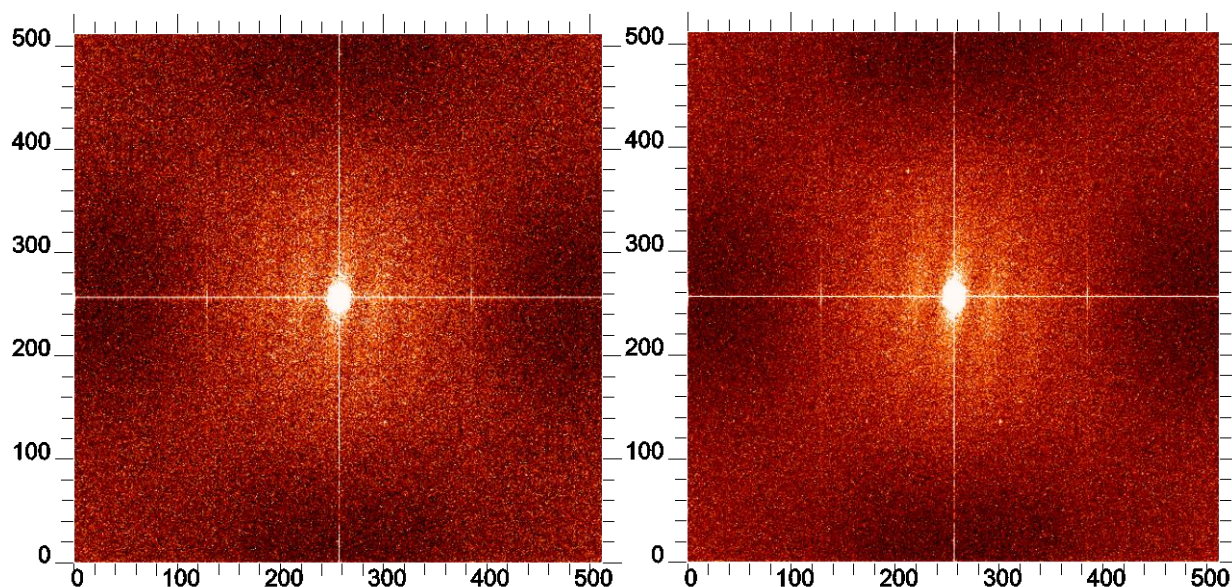


Рисунок 20 - спектры мощности $\text{hip } 89455$, рассчитанные по 1000 (слева) и 2000 (справа) кадров. Звездная величина в полосе $J=7^m.0$. Микрообъектив с увеличением $\times 10$, фильтр 900/80, время кадра = 20 мсек

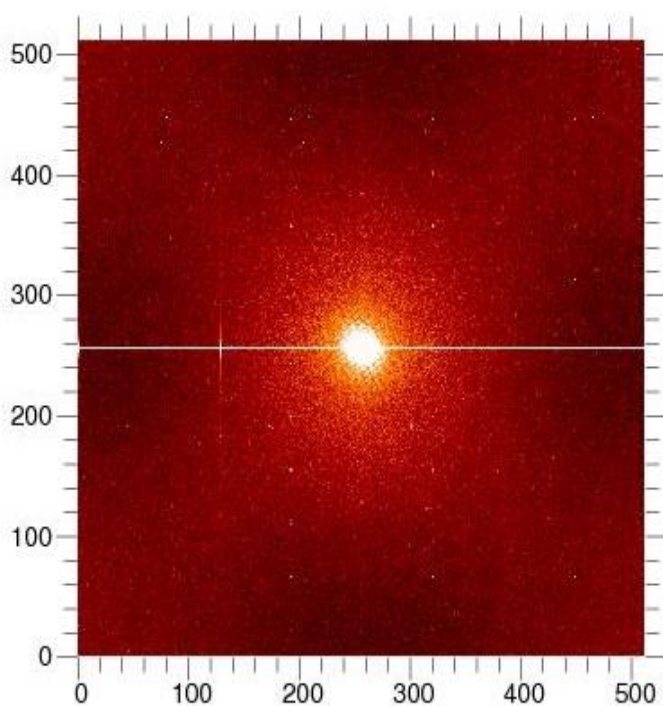


Рисунок 21 - спектр мощности в логарифмическом представлении по яркости тройной $\text{gj } 1230$, рассчитанный по 4000 кадров. Звездная величина в полосе $J = 7^m.5$, в полосе $I = 8^m.9$.

Микрообъектив с увеличением $\times 10$, фильтр 900/80, время кадра= 50 мсек

Описание внедренной методики и акт внедрения приведены в Приложении Д к настоящему Отчету.

3.5 Внедрение методики спектральных исследований высокого разрешения со спектрографом с оптоволоконным входом.

В 2015 году в рамках проекта продолжены работы по изготовлению спектрографа высокого разрешения с оптоволоконным сочетанием. Спектрограф предназначен для использования на 1-метровом рефлекторе САО РАН, входящем в состав УНУ БТА.

Выполнена сборка основных элементов подвесной части, его вид дан на рисунке 22.

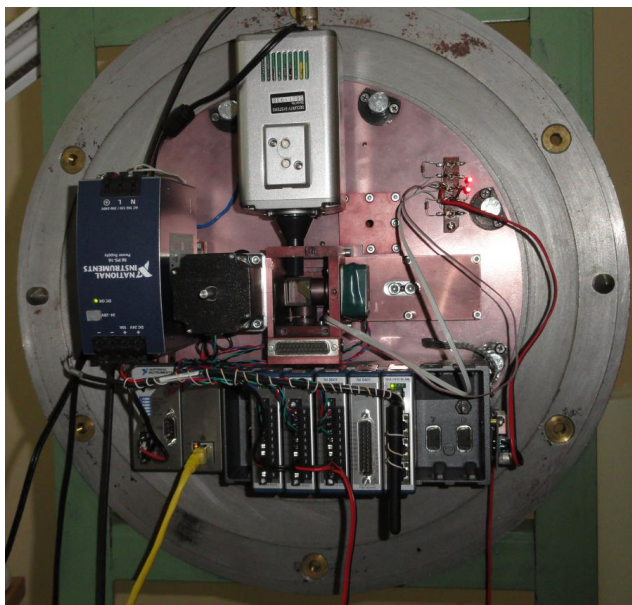


Рисунок 22 - Подвесная часть оптоволоконного спектрографа, защитный кожух снят.

Основной объем занят электроникой, в центре видна оптика системы автогида

Выполнен оптический расчет проекционного объектива на выходе из оптического волокна в стационарной части спектрографа. Данный объектив согласует числовую апертуру оптического волокна со светосилой коллиматора спектрографа и формирует промежуточную псевдощель. Оптоволоконный выход содержит три оптических волокна, два для передачи света звезд разложенного на ортогонально поляризованные компоненты, третье волокно предназначено для передачи света от источника линейчатого спектра в режиме наблюдений с одновременной калибровкой.

Выполнены расчеты элемента скрещенной дисперсии - гризмы. Гризма (сочетание призмы и дифракционной реплики) необходима для равномерного распределения изображений эшелельных порядков в кадре форматом 2048x2048 элементов, с учетом того, что каждый порядок изображается дважды (или в двух поляризациях, или в паре «объект – спектр сравнения»). Выполнен расчет эффективности гризмы, определены параметры профиля штриха дифракционной решетки и параметры защитного покрытия на вторую рабочую грань призмы. При изготовлении этого элемента были разработаны и внедрены

новые технологии (призма изготовлена из стекла марки ТФ-8, рабочие поверхности которого должны быть защищены как на промежуточных этапах изготовления, так и при эксплуатации на спектрографе). Грзма изготовлена путем нанесения на грань призмы - реплики с дифракционной решеткой, нарезанной на заготовке из стекла этой же марки.

Характеристики просветляющих покрытий, нанесенных на грань, свободную от реплики, приведены на рисунке 23. Можно считать, что френелевские потери на этой грани практически устранены.

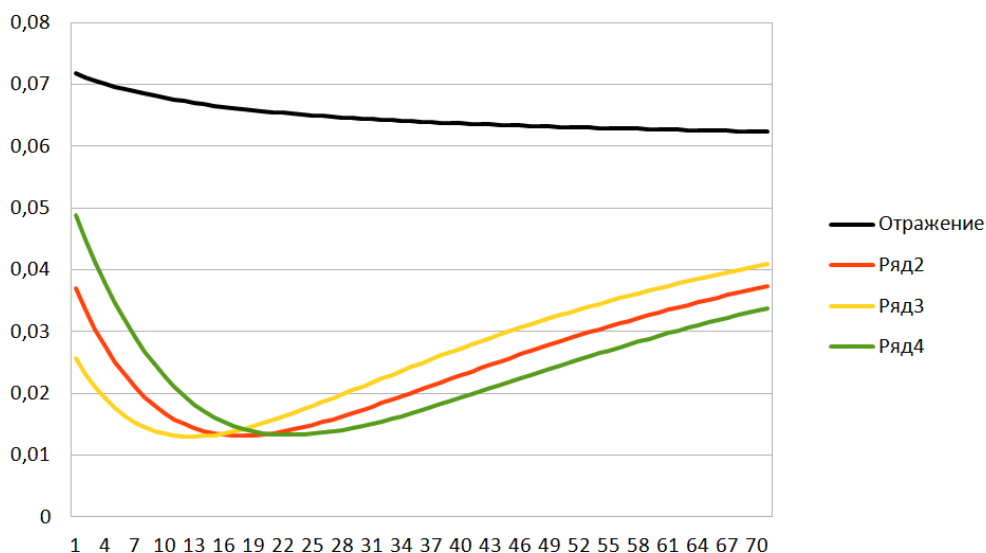


Рисунок 23 - Экспериментальные значения коэффициентов отражения просветляющих покрытий

Разработано и испытано в лаборатории устройство подготовки спектра сравнения. Это устройство необходимо как для учета поэлементных неоднородностей приемника, так и для осуществления режима одновременной регистрации спектра звезды и линейчатого спектра сравнения. Так как экспозиции звезд различной яркости различаются более чем на порядок, интенсивность спектра сравнения также следует регулировать. Кроме того, необходимо подавить излучение ярких линий ионов инертного газа, так как блики и рассеянный свет от этих линий вносят искажения в спектр звезды. Устройство представляет собой спектрограф с эшелле-решеткой без порядкоразводящего элемента, в фокусе камеры которого расположена маска, блокирующая яркие линии, далее коллекторный объектив собирает свет, прошедший через маску, на входной торец оптического волокна. Получено решение о выдаче патента на изобретение данного устройства по заявке №2014139780/28(064387) «Способ сравнительного анализа спектра звезды».

В ходе работ по третьему этапу выполнено проектирование системы управления спектрографом на основе оборудования компании National Instruments. Эти работы можно

было начать только после приобретения минимального комплекта модулей. Выполнены монтаж, разводка, подключение и настройка. Программирование проведено в системе LabView. Написаны программные коды, проведено конфигурирование аппаратной части контроллера (ПЛИС FPGA), создан рабочий интерфейс (см. его вид на рисунке 24).



Рисунок 24 - Интерфейс панели управления прибором

Схема алгоритма управления прибором приведена на рисунке 25.

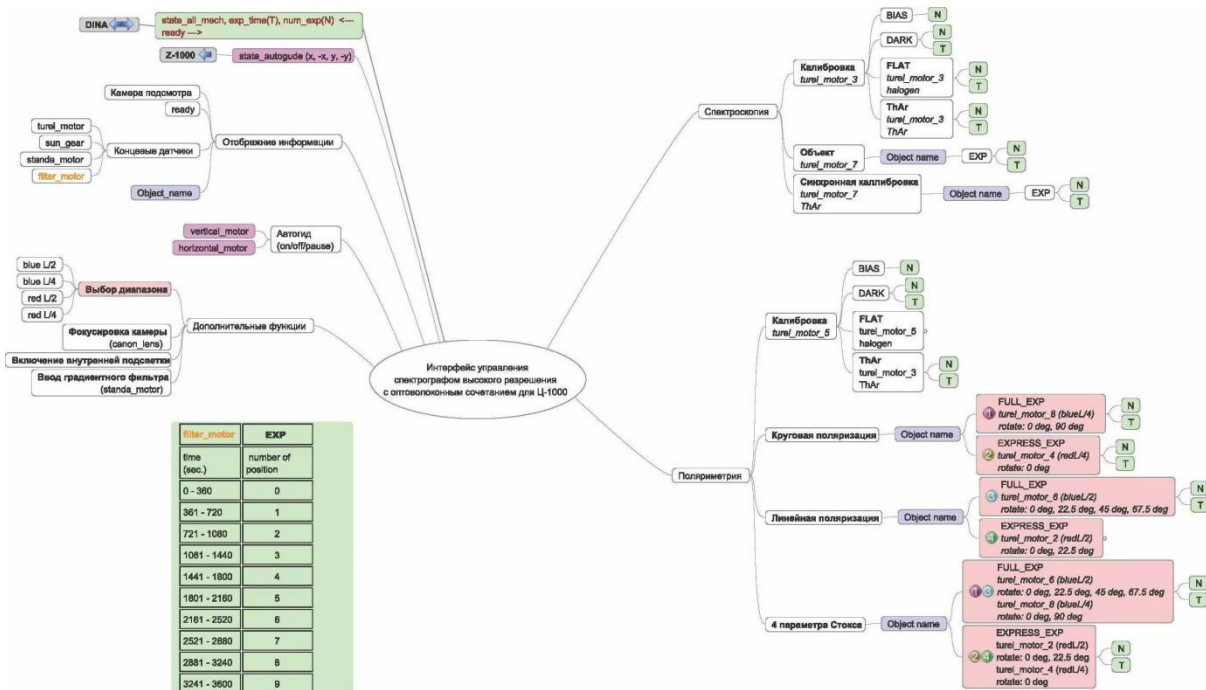


Рисунок 25 - Схема алгоритма работы прибора

Описание внедренной методики и акт внедрения приведены в Приложении Е к настоящему Отчету и работе [7].

4. Работы по калибровке приемников излучения видимого и инфракрасного диапазонов

В рамках проводимой ПНИ для обеспечения однородности и воспроизводимости астрофизических результатов необходимо проведение ряда мероприятий по калибровке используемых приемников оптического и инфракрасного излучения. Эти работы включают в себя как определение пропускания вспомогательной астрономической оптики, так и измерения характеристик собственно светоприемников – шумовых, точностных и энергетических.

4.1 Измерения характеристик пропускания оптических узлов

Для определения пропускания оптики без диспергирующих элементов было проведено сравнение монохроматического потока на входе и выходе одного из спектрографов в интервале длин $360 \div 1000$ нм. Источник монохроматического излучения со светосилой F/20 формировался при помощи монохроматора Jarrel Ash и галогенной лампы. Измерения проводились с фотодиодом ФД-4А. Так было измерено относительное спектральное пропускание спектрографа. Абсолютное пропускание было определено по излучению лазера на длине волны 6438 \AA . На рисунке 26 показан результат определения полного пропускания оптики спектрографа. Как видно из рисунка пропускание оптики спектрографа в рабочем диапазоне около 90%.

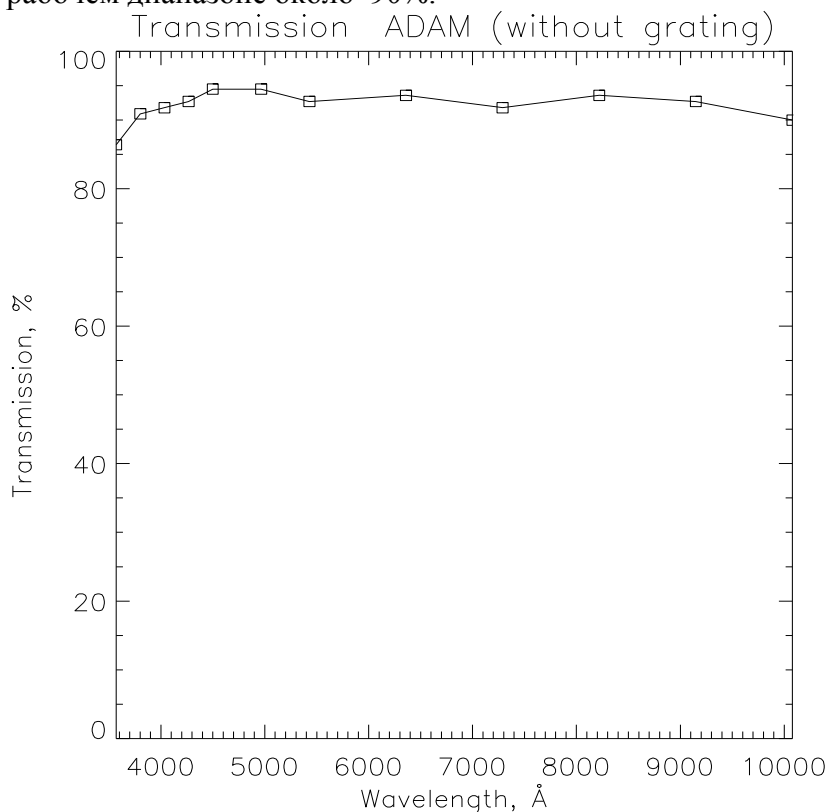


Рисунок 26 - Пропускание оптики спектрографа без голографических решеток

4.2 Исследование параметров ПЗС-светоприемника Newton

Устанавливаемый на спектрограф ПЗС-светоприемник Newton CCD фирмы ANDOR имеет формат 1024x256 px при размере элемента разрешения 26x26 мкм. ПЗС охлаждается многоступенчатым холодильником Пельтье и работает в двух режимах охлаждения горячего спая: воздушном - температура на ПЗС не ниже -30°C и жидкостном - температура на ПЗС до -100°C. Первый режим имеет очень большие темновые шумы и пригоден только для тестирования позиционных характеристик.

При тестировании ПЗС в лаборатории мы измеряли уровень электронного нуля (bias), шум считывания (R.O.N.) и величину темнового шума (dark) ПЗС при низких температурах, близких к рабочей -100°C при максимально усилении ($ADU=2.6 e^-$) и минимальной скорости считывания 50 кГц. В таблице 2 приведены результаты измерений.

Таблица 2 – Шумовые параметры системы регистрации Newton (ANDOR Corp)

CCD temperature, °C	Bias, ADU	R.O.N., e^-	Dark, $e^-/px/min$
-100	299.79 ± 0.10	3.51 ± 0.06	0.24 ± 0.03
-90	300.52 ± 0.13	3.64 ± 0.02	0.75 ± 0.07
-80	300.59 ± 0.20	3.70 ± 0.02	8.28 ± 0.26
-70	300.64 ± 0.24	3.81 ± 0.02	58.76 ± 0.19

Квантовая эффективность ПЗС приемника была измерена при помощи монохроматора МДР-41 в интервале длин волн 360-1000 нм. В качестве источника света использовалась галогенная лампа, а абсолютная привязка осуществлялась посредством калиброванного охлаждаемого кремниевого светодиода фирмы Optronic Laboratory. Измерения проводились на радиометре OL730D той же фирмы. Результат измерений показан на рисунке 27. Характерная точность измерений составила 1-2%.

Программа пробных наблюдений предполагала наблюдения спектрофотометрических стандартов с целью определения квантовой эффективности и слабых объектов различных типов. В ночь 18/19 июня 2015 г. удалось получить спектр стандарта BD+33°2642 удовлетворительного качества в красной области спектра, пригодный для оценки квантовой эффективности. Яркость звезды $10.^m5$ в цвете V, спектральный тип B2IV. На рисунке 28 показана общая эффективность системы «телескоп+спектрограф+ПЗС», приведенная за атмосферу. Учтены потери на конверторе светосилы и зеркалах телескопа.

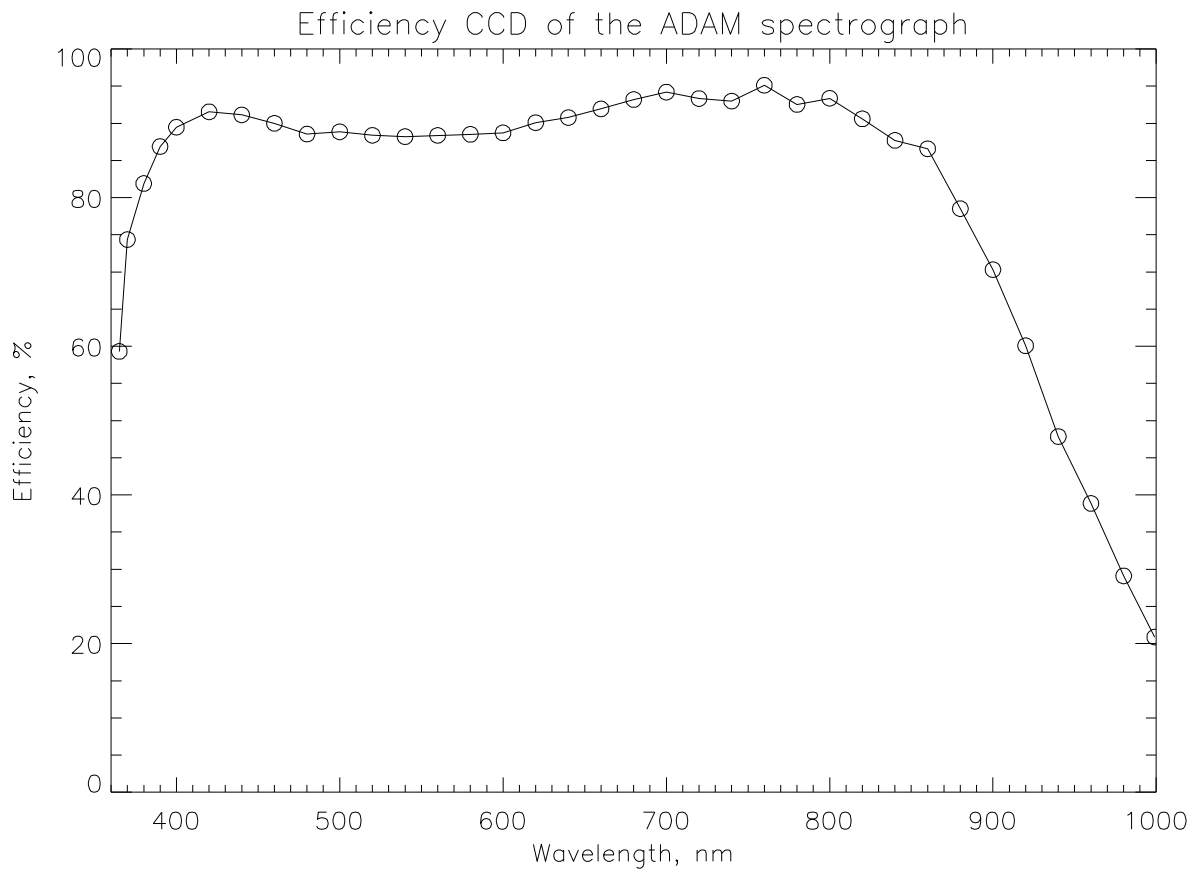


Рисунок 27 - Измеренная квантовая эффективность ПЗС камеры Newton(Andor Corp)

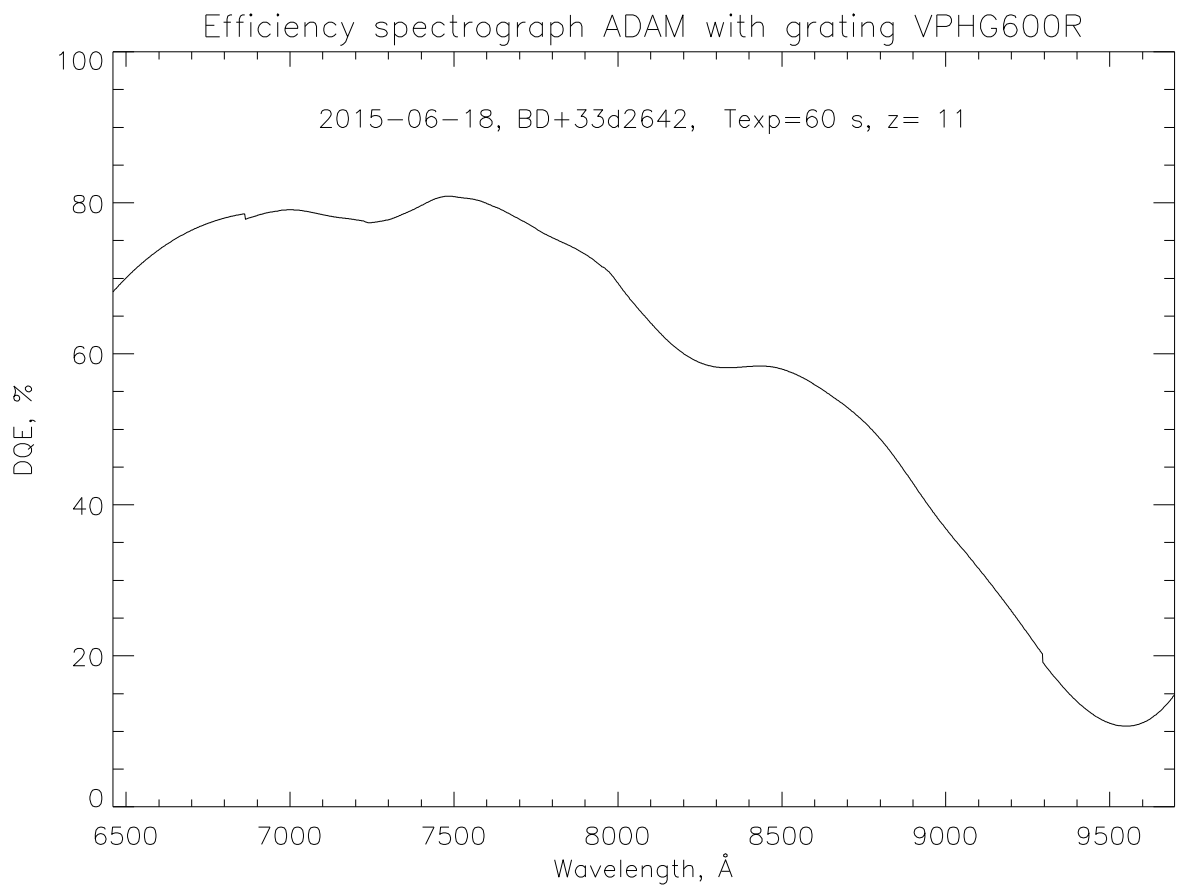


Рисунок 28 - Квантовая эффективность спектрографа ADAM в красном диапазоне

4.3 Исследование шумовых параметров ИК-приемника

Для исследования шумовых параметров ИК-приемника использовались изображения, полученные на участке неба, свободном от объектов, которые считались приближением «темнового изображения». На рисунке 29 приведены характерные гистограммы для темного сигнала, получаемого с ИК-приемника, полученные по одиночному кадру и по усредненному по серии из 2000 кадров. Параметры наблюдения указаны в подписях.

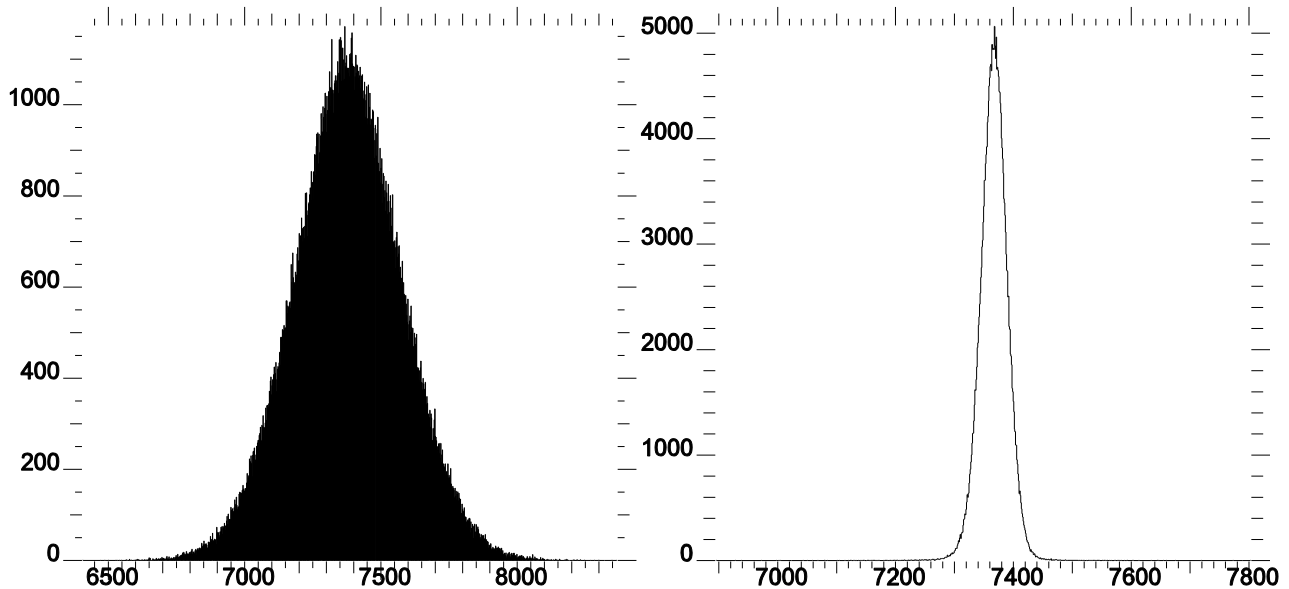


Рисунок 29 - Гистограммы темного сигнала №2, рассчитанные по одиночному кадру (слева) и усредненному по серии из 2000 кадров (справа). Техр = 50ms, микрообъектив x10

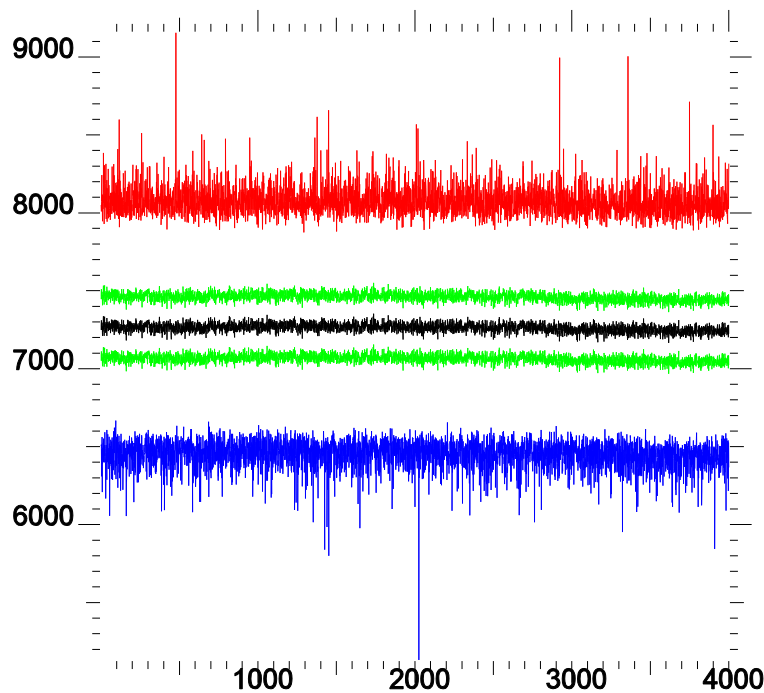


Рисунок 30 - Вариации максимального отсчета (красный), минимального (синий), среднего значения (черный), суммы и разности (зеленый) в «темновой» области, по серии изображений объекта gj1230. Фильтр 900/80 нм, микрообъектив x10, техр = 50мс

На рисунке 30 даны вариации сигнала в «темновых» зонах, по горизонтали отложен номер кадра, по вертикали - отсчеты матрицы.

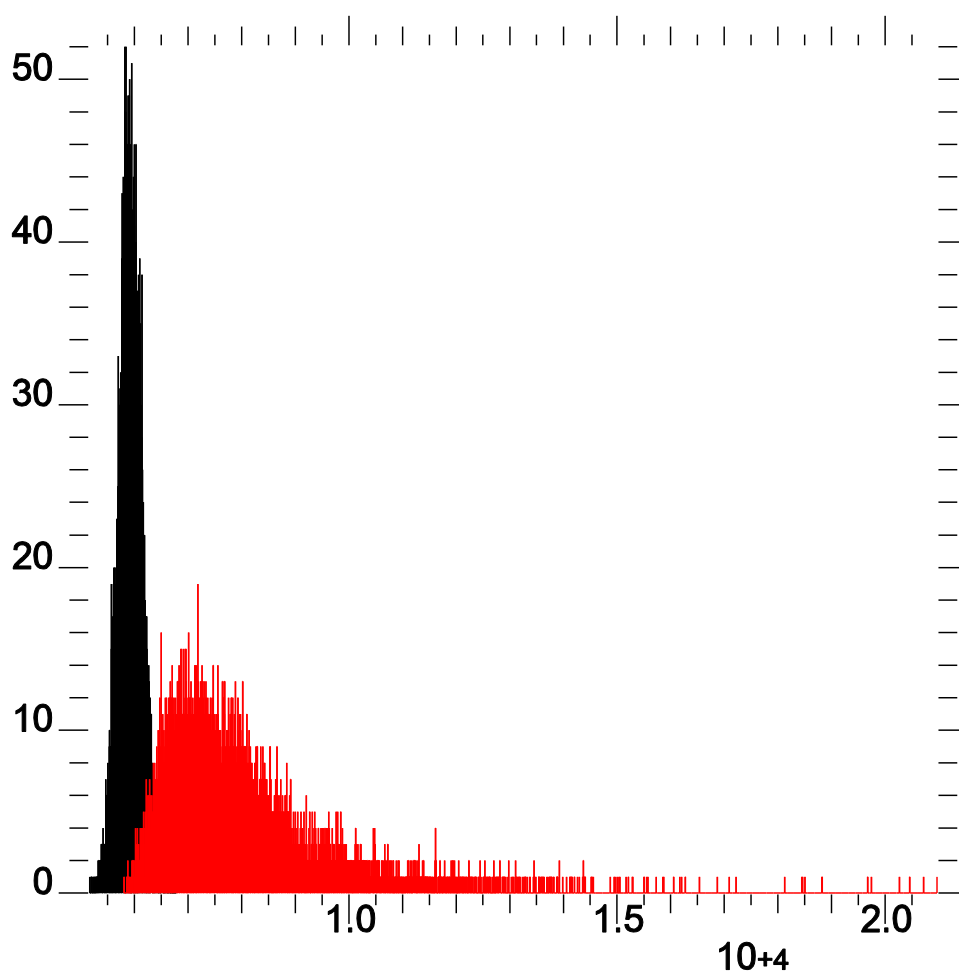


Рисунок 31 - Гистограммы сигнала в области, занятой полезным сигналом (красный) и темновой (черный) по 1 кадру для объекта IN Vul. Jmag = 2.^m8 Фильтр 900/80нм, микрообъектив x16, texp = 20мс. Отсчеты матрицы - по горизонтали, количество событий - по вертикали

На рисунке 31 приведен вид гистограммы отсчетов сигнала ИК-приемника в зоне, занятой полезным (показана красным цветом) и темновым (показана черным) сигналами.

Акты работ по калибровке приемников приведены в Приложении Ж к настоящему Отчету.

5. Работы по модернизации, содержанию и ремонту оборудования

5.1 Ремонт оптоволоконной линии УНУ БТА – ННП САО РАН

Необходимость проведения ремонта оптоволоконной линии, соединяющей Верхнюю научную площадку, где расположена УНУ БТА и Нижнюю площадку САО РАН была обоснована в ходе второго этапа ПНИ. Тогда же был разработан план проведения работ. В ходе третьего этапа ПНИ поставленные задачи были полностью выполнены, была проложена новая волоконнооптическая линия связи (ВОЛС), приобретены и установлены новые цифровые оконечные устройства, которые обеспечивают требуемые скорости передачи научных данных и потоков видеoinформации в реальном времени.

Так, для передачи данных были использованы гигабитные медиаконверторы D-Link DMC-810SC/B8A и WDW 1000 Base-T.

Использованные оптические кабели ОКПМ-02-6x4E3-(9,0) имеют выносной силовой элемент и обладают следующими характеристиками:

Количество оптических волокон	24
Габаритный размер кабеля, мм	20,5
Диаметр кабеля с оптическими волокнами, мм	10,5
Диаметр выносного элемента, мм	6,5
Расчётная масса кабеля, кг/км	174
Максимальное растягивающее усилие, кН	9,0
Максимальное сдвливающее усилие, Н/см	300
Минимальный радиус изгиба кабеля, мм	400
Коэффициент затухания:	
- на длине волны 1550 нм	< 0.22 дБ /км
Температурный диапазон эксплуатации	от - 40 до + 60 град. С
Срок службы ВОК, не менее	25 лет

Как показал опыт использования новой линии связи, наличие нового оптического кабеля позволило значительно повысить надёжность и пропускную способность ВОЛС и упростило, в случае необходимости, проведение на ней ремонтных и профработ.

Измерения величины оптических потерь сигнала в линии показали, что из величина на всей длине в 5.2 км составила с учетом коннекторов на линии не более 8 дБ.

Итогом проведенной работы стало создание новой линии оптоволоконной связи, которая обеспечит возможности скоростного соединения оборудования УНУ БТА на ближайшие 10-15 лет. В частности, существующая линия связи была проложена в 2002 году и до сих пор сохраняет свою работоспособность, хотя резервы ее ремонта уже близки к исчерпанию. На рисунке 32 показан один из этапов прокладки оптоволоконной линии, а на

рисунке 33 дан вид узла сопряжения оптоволоконной линии с оконечными устройствами в башне телескопа БТА.



Рисунок 32 – Верхолазные работы при прокладке оптоволоконной линии в октябре 2015 г.

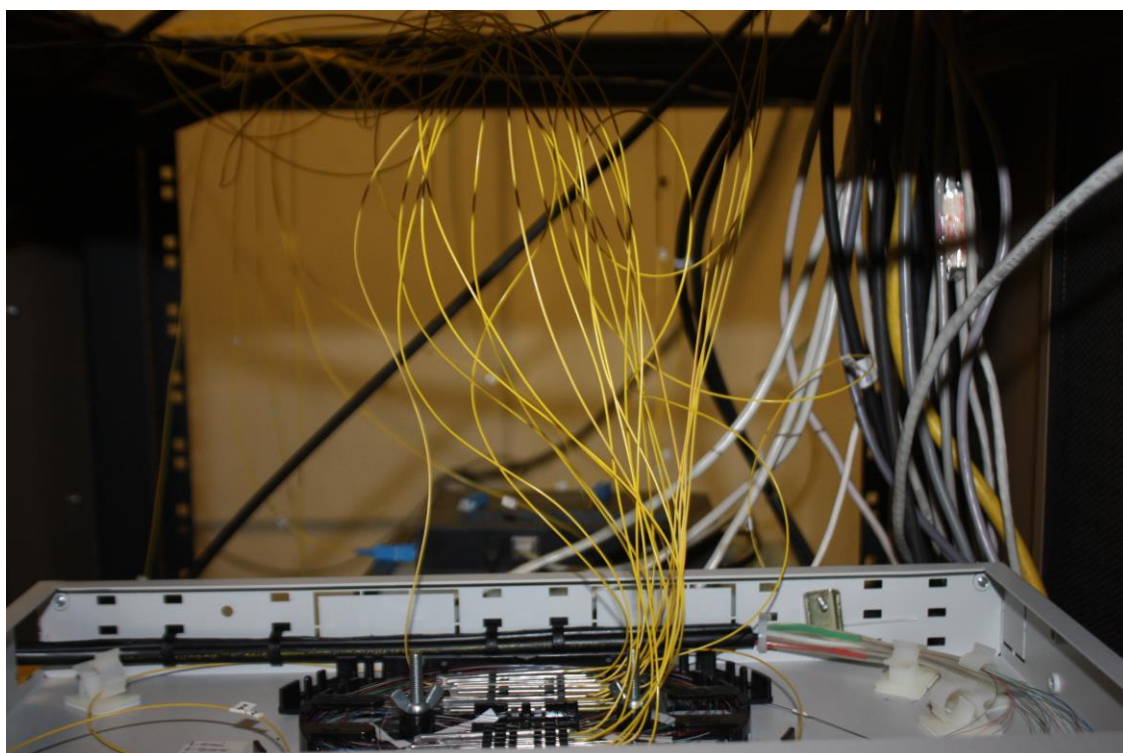


Рисунок 33 – Сопряжение оптоволоконного кабеля с оконечным устройством

5.2 Ремонт камеры ВУАЗ-6, алюминирование и мойка рабочей поверхности зеркала УНУ БТА.

В ходе проведения текущего этапа ПНИ были завершены начатые весной 2015 г. работы по ремонту камеры алюминирования ВУАЗ-6, замене вакуумных насосов и датчиков. С 1 июля по 4 августа 2015 г. была осуществлена процедура переалюминирования рабочей поверхности Главного зеркала. На рисунке 34 дан общий вид внутренней части камеры алюминирования ВУАЗ-6 в процессе ее текущего ремонта.

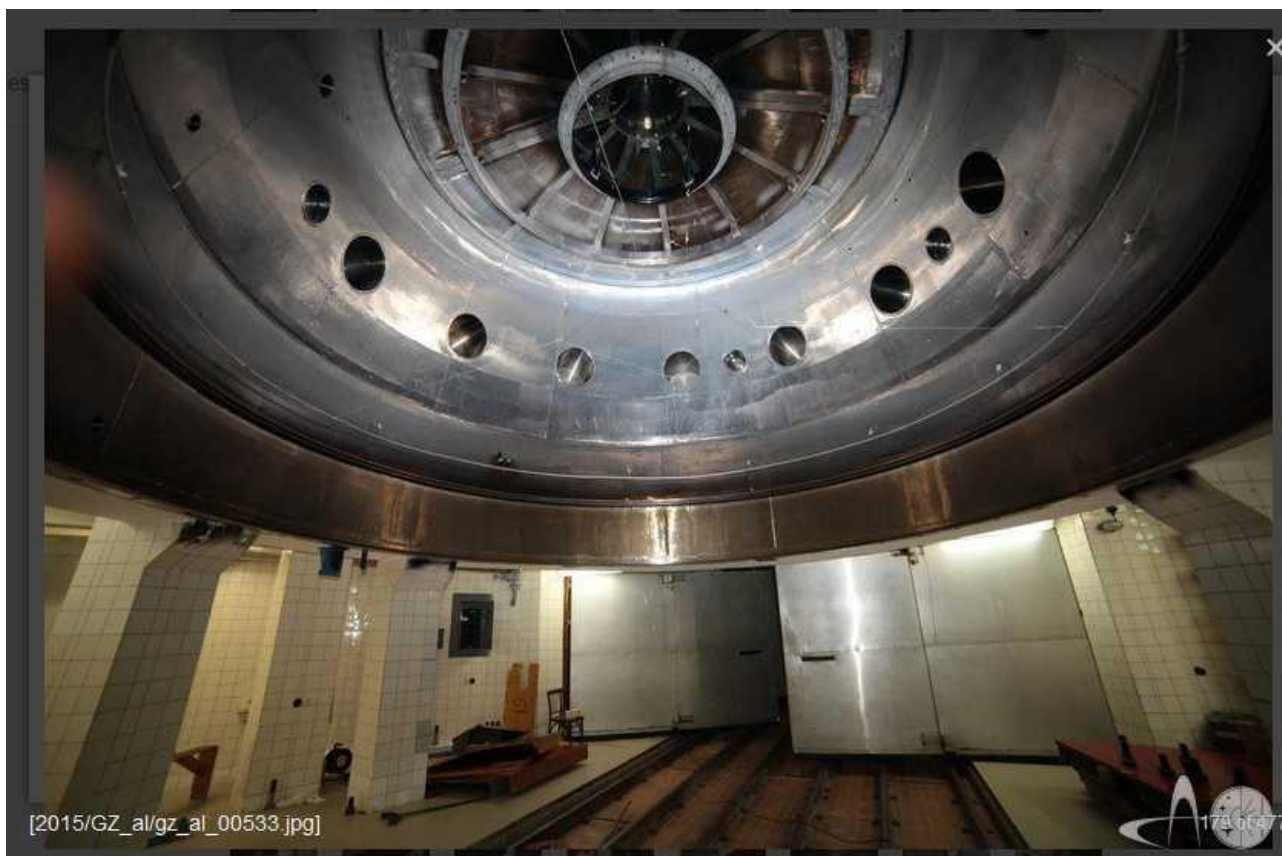


Рисунок 34 – Общий вид камеры алюминирования ВУАЗ-6

Результаты осуществленного алюминирования свидетельствуют об общем улучшении коэффициента отражения рабочей поверхности. Для проведения измерений во всем рабочем диапазоне зеркала применялся рефлектометр СТ7 (Otto Pregizer Optik), приобретенный в ходе проведения первого этапа работ по настоящей ПНИ. Благодаря его применению удалось определить значение коэффициента отражения в диапазоне от 365 до 970 нм, что ранее не представлялось возможным. Результаты даны на рисунке 35. Ниже на рисунке 36 показан один из этапов мойки рабочей поверхности Главного зеркала.

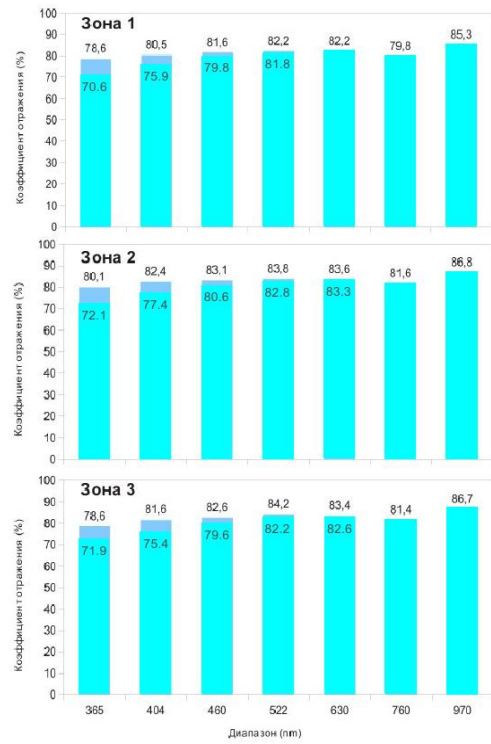
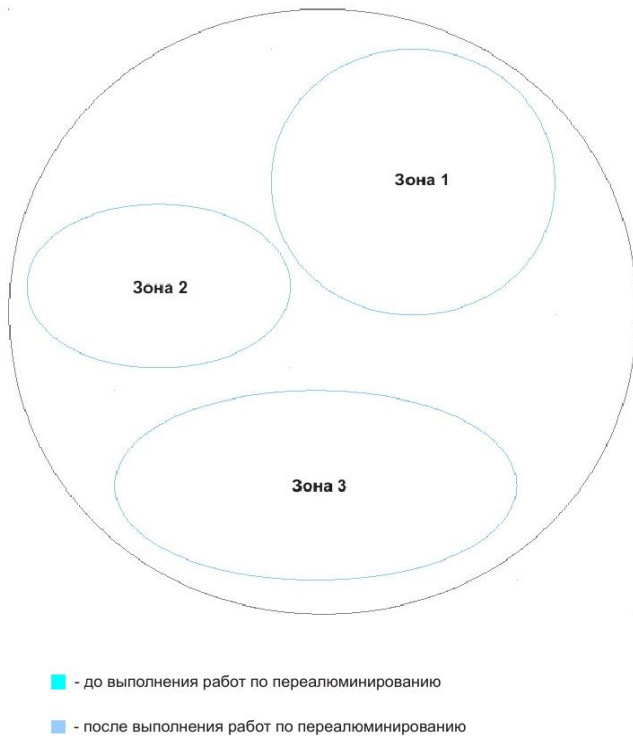


Рисунок 35 – Изменение параметров отражающего слоя после процедуры алюминирования



Рисунок 36 – Процесс мойки рабочей поверхности Главного зеркала

6. Работы по повышению доступности УНУ для внешних и внутренних пользователей: расширение возможностей ИНТЕРНЕТ, проведение конференций пользователей, занятия с преподавателями школ и вузов

Одной из важных задач, которая была решена в ходе проведения этапов настоящей ПНИ, являлось повышение доступности УНУ БТА для внешних и внутренних пользователей. Учитывая ограниченность текущих ресурсов УНУ и конкурсный принцип распределения наблюдательного времени на ней, важнейшей возможностью по расширению доступа к ней является открытый доступ к ранее полученным данным, находящимся в архиве. В соответствии с Положением об архиве САО данные в архиве в течение 2 лет после их получения доступны только заявителю наблюдательной программы, после чего данные переходят в открытый доступ.

Доступ к таким данным возможен в реальном времени через сетевой ресурс с адресом www.sao.ru/oasis/cgi-bin/fetch. Этот интерфейс позволяет осуществлять выбор данных по имени объекта, его координатам, типу данных. Слева находится список наблюдательных методов, которые поддерживаются архивом (см. рисунок 37).

Общий архив наблюдательных данных

Положение об архиве Текущее состояние Расписание (БТА / Дейкс-1990) Работа поддержана грантами РФФИ 07-07-90415, 10-07-00412, 11-07-00100, 14-07-00261

Локальные архивы БТА	
<input type="radio"/> CCD	1996-02-13 - 2000-04-30
<input type="radio"/> IFP	1997-05-14 - 2000-03-02
<input type="radio"/> LYNX	1996-02-28 - 2002-05-28
<input type="radio"/> MOFS	1997-03-07 - 2001-08-18
<input type="radio"/> MPFS	1996-08-18 - 2009-10-27
<input type="radio"/> MSS	1996-05-26 - 2014-05-17
<input type="radio"/> NES	1998-03-10 - 2014-04-19
<input type="radio"/> PFES	1996-08-06 - 2001-01-07
<input type="radio"/> SCORPIO	2000-09-21 - 2015-04-16
<input type="radio"/> SP124	1996-02-18 - 2000-12-09
<input type="radio"/> UAGS	1994-11-08 - 2005-10-20
Малые телескопы	
<input type="radio"/> CEGS	1997-03-24 - 2010-10-26
<input type="radio"/> Z600	1996-01-12 - 2001-06-06
<input type="radio"/> ZMCCD	1996-12-31 - 2015-05-23
<input type="radio"/> ZMUAGS	1998-04-30 - 2015-03-01
Радиотелескоп	
<input type="radio"/> RATAN	1996-06-01 - 1999-01-25
Архивы с WCS-привязкой	
<input type="radio"/> SCORPIO_C	2000-09-21 - 2015-04-16
<input type="radio"/> ZMCCD_C	2013-08-27 - 2015-05-23
<input type="radio"/> ZMUAGS_C	2005-08-11 - 2015-03-01

Вопросы и замечания к rlne@sao.ru

Начальная дата: 1994 ▾ 01 ▾ 01 ▾ Конечная дата: 1994 ▾ 01 ▾ 01 ▾

или
выбрать дату по ключу программы наблюдений

R.A. (J2000) Decl. (J2000)
(ra=hh mm ss.s; dec=[-]dd mm ss.s или в градусной мере)
или имя объекта:

Радиус поиска: 5 (arcmin)

Тип данных: obs ▾ Режим наблюдений: any ▾
Фильтр: any

Автор программы:

[Справка](#)

Рисунок 37 – Общий вид экранного интерфейса для доступа к архиву наблюдательных данных УНУ БТА

При обращении к архивным данным, находящимся в свободном доступе, возможно просмотреть как сами изображения, так и их заголовки. По запросу доступно также скачивание цифровых данных в двоичном формате. Если же данные в ограниченном доступе, то их можно получить только по паролю.

Часть архивных данных уже имеет так называемую WCS-привязку, т.е. координаты на снимках уже привязаны к экваториальной системе координат, что облегчает доступ к непосредственному анализу данных. Так, на рисунке 38 показано изображение сейфертовской галактики NGC 7469, полученное из архива 1-м телескопа, входящего в состав УНУ БТА, уже приведенное к мировой системе координат.

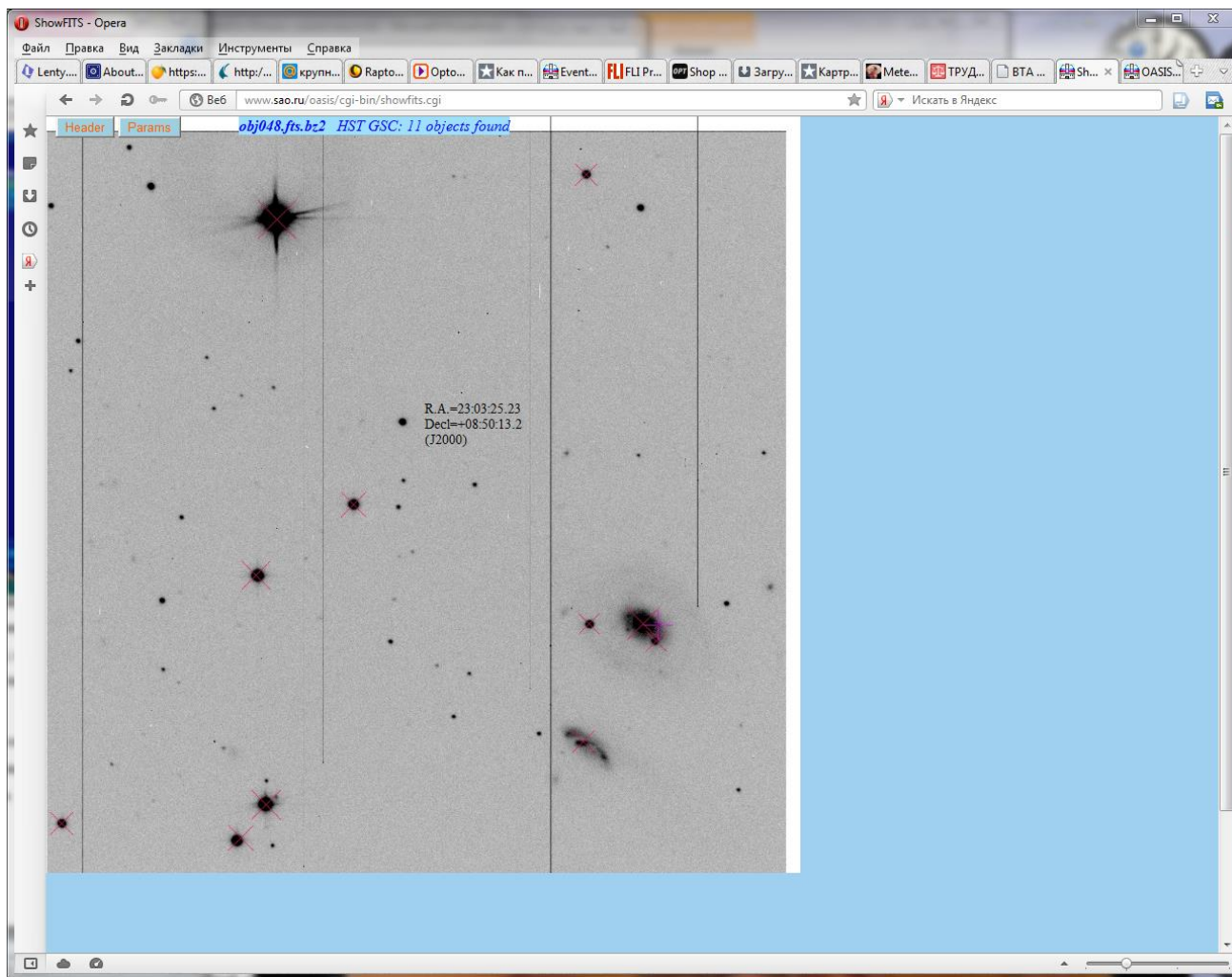


Рисунок 38 – Экранный интерфейс с изображением галактики NGC 7469, приведенным к экваториальной системе координат

Проведение конференций пользователей, приуроченных к заседаниям Программного комитета больших телескопов, также служит хорошим инструментом для обмена новыми научными результатами, ознакомления пользователей с новыми инструментальными возможностями УНУ БТА.

На рисунке 39 изображены участники одной из таких конференций, проведенных в CAO РАН осенью 2015 г., при частичной поддержке из средств настоящего Соглашения.

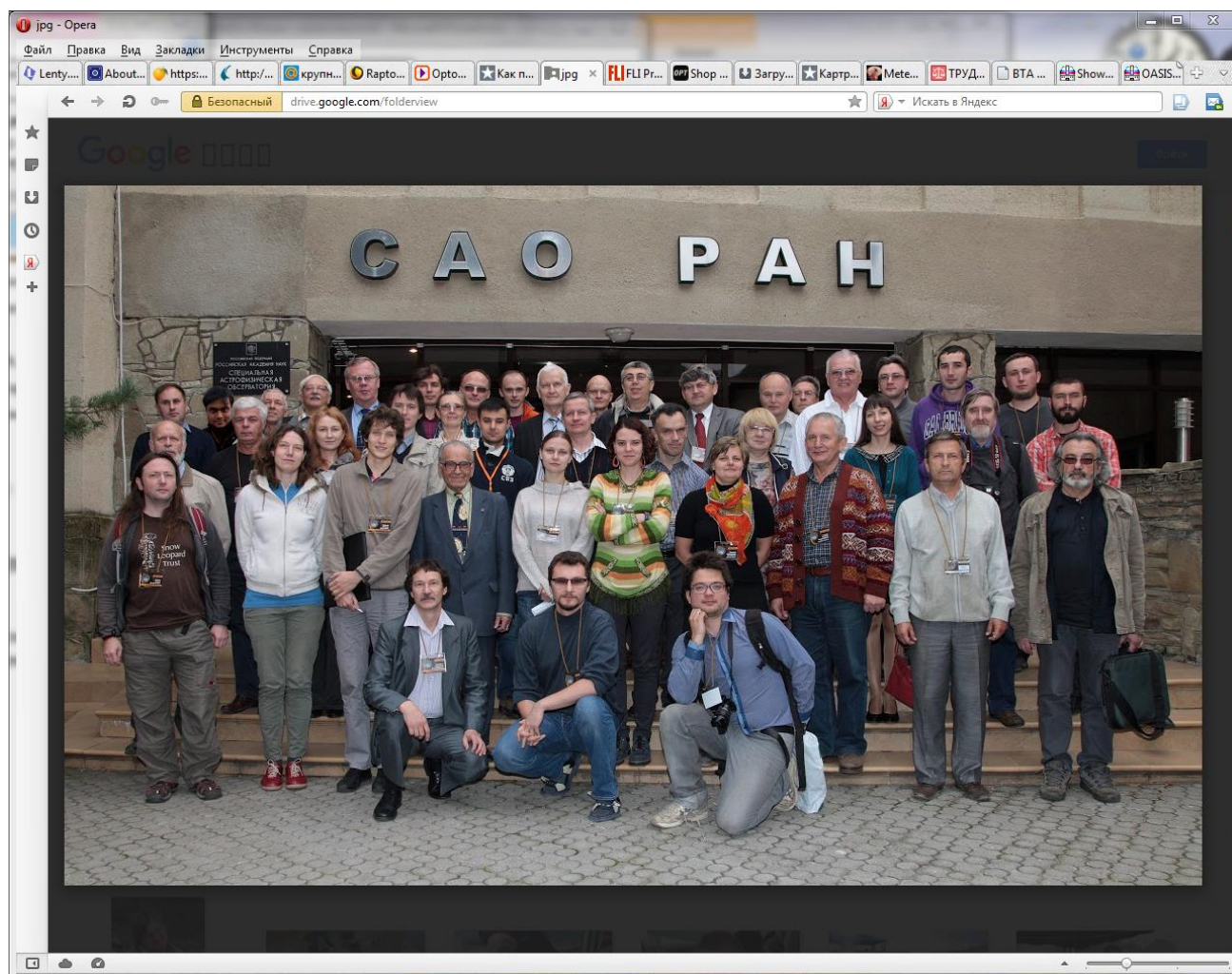


Рисунок 39 – Участники международной конференции пользователей, проведенной в CAO РАН в октябре 2015 г.

Достаточно важная работа проводится в рамках проекта и по профессиональной переподготовке преподавателей школ и вузов Северо-Кавказского региона: они посещают Обсерваторию и ее инструменты, слушают лекции ведущих ученых, с ними проводят практические занятия. Существует также практика выезда сотрудников в образовательные организации Юга России с курсами лекций. Это также позволяет слушателям повысить свой профессиональный уровень, получив современные научные результаты, что называется, из первых рук.

7. Работы по развитию кадрового потенциала УНУ: подготовка специалистов астрономического и технического профиля, организация практик студентов.

Работы в рамках настоящей ПНИ, имеющие целью развитие кадрового потенциала УНУ БТА, включают в себя мероприятия по подготовке специалистов как астрономического, так и технического профиля, поддержку деятельности аспирантуры САО, ведущей подготовку кадров высшей квалификации.

Важным моментом в подготовке специалистов астрономического профиля является проведение ознакомительных, производственных и преддипломных практик студентов ведущих вузов страны – МГУ им. М.В.Ломоносова, СПбГУ, Казанского (Приволжского) федерального университета и других вузов. В течение 2015 года на ознакомительных и производственных практиках побывало около 70 студентов из перечисленных вузов. Преддипломную практику, завершившуюся защитой дипломных работ по тематике исследований САО РАН, прошли около 10 студентов-старшекурсников.

В аспирантуре САО в истекшем году проходило обучение 7 аспирантов 1-4 годов учебы, 2 аспиранта закончили обучение осенью с представлением кандидатских диссертаций. Частью учебно-производственного плана аспирантов явилась практическая работа на оборудовании УНУ БТА, участие в наблюдениях, обработке наблюдательного материала. Несколько аспирантов из вышеперечисленных вузов также проводили совместные исследования на оборудовании УНУ БТА в рамках проектов по мобильности молодых ученых России.

Подготовка необходимых инженерных кадров велась в рамках сотрудничества с вузами Юга России, таких как Южный и Северо-Кавказский федеральные университеты, Ставропольский государственный аграрный университет и др. Выпускники этих вузов в перспективе станут сотрудниками САО РАН, из средств Субсидии оказывалось содействие сотрудникам САО РАН, получающим в них высшее образование по инженерным специальностям. Такая работа планируется и в дальнейшем, учитывая остроту проблемы стареющего персонала организации. Проведение технических работ в рамках настоящей ПНИ также позволили закрепить в организации техническую молодежь, ориентируя ее на продолжение образования. В этой части достаточно перспективным является сотрудничество с СПбГУИТМО, в котором создана базовая кафедра САО РАН, имеющая целью подготовку специалистов в области астрономического приборостроения.

Заключение

Принимая во внимание приведенные выше материалы и результаты работы УНУ БТА в ходе проведения первого этапа ПНИ, приходим к выводу, что в целом задачи, поставленные Заказчиком перед Исполнителем, выполнены и соответствуют требованиям Технического задания.

В настоящем отчете приведены результаты плановых наблюдений, выполненных на УНУ БТА, подтверждено обеспечение условий для выполнения исследований сторонними организациями на оборудовании УНУ.

В рамках этапа ПНИ подготовлен отчет о результатах наблюдений на УНУ БТА во втором полугодии 2014 г., который представлен на заседании Комитета по тематике больших телескопов 16 апреля 2015 г. Проведена техническая экспертиза заявок на наблюдения на УНУ БТА на второе полугодие 2015 г., представленная на рассмотрение КТБТ. На основе Протокола распределения времени УНУ БТА составлено «Расписание наблюдений на БТА на второе полугодие 2015 г. (Приложение А к Отчету).

Обеспечены наблюдения на УНУ БТА в полном соответствии с расписанием (http://www.sao.ru/request/schedule/bta2015_1.html).

По результатам исследований подготовлены научные статьи, вышло в свет 5 работ.

В ходе ПНИ продолжены работы по реализации Программы развития УНУ БТА на 2014-2015 годы в части повышения эффективности универсального спектрографа низкого разрешения SCORPIO-II, разработки и изготовление узлов высокоточного эшелле-спектрографа с оптоволоконным входом.

В ходе ПНИ начато изготовление криостата и электроники системы регистрации, проведено исследование параметров ИПС, изготовлены ахроматические клинья и оправы, проведена склейка и сборка двулучевой поляризационной призмы Волластона, введен в наблюдения на УНУ БТА в составе прибора SCORPIO-2 настраиваемый фильтр на основе эталона Фабри-Перо.

В ходе работ проведено дооснащение объекта научной инфраструктуры необходимыми материалами и оборудованием, начат проект ремонта оптоволоконной линии связи УНУ БТА – ННП САО РАН, продолжены поисковые работы в целях модернизации систем энергосбережения и использования возобновляемых источников энергии.

Текущее состояние работ по проекту отражено на странице сети ИНТЕРНЕТ - http://www.sao.ru/Doc-k8/Science/reportMES/UNU_BTA.html.

Достигнутый научно-технический уровень работ сопоставим с мировым уровнем, что подтверждается растущими запросами зарубежных ученых по использованию оборудования УНУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.В.Моисеев, «Обработка ПЗС-наблюдений со сканирующим интерферометром Фабри-Перо. III. Уточнение шкалы длин волн» 2015, *Астрофизический бюллетень*, том 70, номер 4, стр 524-531.
2. P.Jacquinet. The luminosity of spectrometers with prisms, gratings, or Fabry-Perot etalons. *Journ. of the Optical Society of America*, 1954, v.44(10), p.761-765.
3. В.Е.Панчук, В.Г.Клочкова, М.Е.Сачков, М.В.Юшкин. Доплеровские методы поиска и мониторинга экзопланет. *Астрономический вестник*, 2015, т.49, №6, с.1-10.
4. V.G.Klochkova. Circumstellar envelope manifestations in the optical spectra of evolved stars. *Astrophysical Bulletin* 2014, v.69, issue 3, pp.279-295.
5. Меркулов А.В. Некоторые новые модификации интерферометра Фабри-Перо и их астрофизические приложения. *Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове*. 1960. Т.21. В.4. №163. С.35-69.
6. Кулагин Е.С. Интерференционный солнечный спектрограф. *Астрономический журнал*. 1980. Т.57. В.1. С.200-210.
7. Panchuk, V. E.; Yushkin, M. V.; Klochkova, V. G.; Yakopov, G. V.; Verich, Yu. B. « Design of a high resolution spectrograph for the SAO 1-m telescope» // 2015, *Astrophysical Bulletin*, Volume 70, Issue 2, pp.226-231.