


РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Специальная астрофизическая обсерватория

УДК 520; 523.3; 523.9; 524

№

УТВЕРЖДАЮ

Директор САО РАН
член-корр. РАН Балагеа Ю.Ю.


«__» _____ 2013 г.


ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
«Проведение наземных астрофизических исследований с использованием
уникальной установки – крупнейшего российского оптического телескопа -
Большого телескопа азимутального (УСУ БТА)»
Шифр «2012-1.8-16-518-0006-160»
(промежуточный)

Этап 2: «Проведение научных исследований и работ по созданию новых методик»

(государственный контракт № 14.518.11.7070 от 20 июля 2012 г.)

Руководитель работ,

заместитель директора САО РАН


В.В.Власюк

Нижний Архыз

2012

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, к.ф.-м.н.	_____	В.В. Власюк (введение, разделы 1-3)
Исполнители темы ст.н.с, к.ф.-м.н.	_____	Н.В. Борисов (разделы 1,2,5,6)
ст.н.с., к.т.н.	_____	Г.В.Якопов (раздел 4)
аспирант	_____	М.М. Габдеев (разделы 1,2,5)
аспирант	_____	И.А. Якунин (разделы 1-3)
н.с., к.ф.-м.н.	_____	А.А.Смирнова (разделы 1,2)
ст.н.с., к.ф.-м.н.	_____	С.В.Карпов (разделы 1,2)
инженер	_____	А.А. Ломакин (разделы 2,3)
инженер	_____	Г.Ш.Митиани (разделы 2,3)
инженер	_____	А.Л. Теплякова (разделы 1,2)
н.с., к.ф.-м.н.	_____	О.Г.Насонова (разделы 1,2)
м.н.с.	_____	Ю.А.Лямина (раздел 2)
м.н.с.	_____	В.В.Дьяченко (разделы 1-3)
м.н.с.	_____	Р.И.Уклеин (раздел 1-3)
Нормоконтролер	_____	Ш.А. Узденова

Реферат

Отчет 26 с., 17 рис., 4 прил.

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

Цель настоящей НИР — 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 УСУ БТА.

В рамках проведения второго этапа НИР проведены плановые наблюдения на УСУ БТА, обеспечены условия для проведения на УСУ БТА сторонними организациями, проведены мероприятия по развитию УСУ БТА в части повышения эффективности спектральных наблюдений.

Для предложенных задач в отчете приведен обзор состояния проблемы в мире, выполнен анализ современной литературы, обоснован выбор направления исследований.

В рамках НИР разработаны методики, направленные на повышение эффективности научных исследований, выполняемых на УСУ БТА, улучшение точностных параметров получаемых на УСУ научных данных.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ		5
1	Проведение плановых наблюдений на УСУ БТА	6
2	Обеспечение проведения исследований для сторонних организаций с использованием УСУ БТА	10
3	Проведение мероприятий по развитию УСУ в части повышения эффективности спектральных исследований	16
4	Разработка методики нанесения высокоотражающего зеркального слоя в вакуумной камере ВУАЗ-6	23
5	Разработка методики фотополяриметрических исследований на 1-м телескопе, предназначенная для высокоточных калибровок спектрополяриметрических данных, получаемых на УСУ БТА	24
6	Разработка методики автоматического определения атмосферной экстинкции для энергетической калибровки данных, получаемых на УСУ БТА.	25
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		26

ВВЕДЕНИЕ

Большой Альт-азимутальный телескоп (УСУ 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 все более мощных астрономических телескопов УСУ БТА пользуется спросом среди ученых Российской Федерации, стран СНГ и дальнего зарубежья. В целом работу телескопа обеспечивают около 100 сотрудников САО РАН – как научных работников, так и инженеров, рабочих, вспомогательного персонала, занятых в его текущем обслуживании, модернизации оборудования, создании новых методик научных исследований. Выполнение работ по Госконтрактам с Министерством образования и науки позволяют решать эксплуатационные проблемы телескопа, задачи снабжения его текущей деятельности, развивать наблюдательные методы, своевременно обновлять инструментальный парк научного оборудования.

Цель работы, проводимой по контракту, - 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, развитие навесной аппаратуры, обеспечение возможностей доступа к возможностям телескопа, создание новых методик, повышающих эффективность использования оборудования УСУ 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 2013 года по перечисленным выше темам – обеспечению плановых наблюдений, предоставлению услуг внешним пользователям, повышению эффективности использования оборудования, разработке новых методик.

1 Проведение плановых наблюдений на УСУ БТА

Итоги деятельности 6-метрового оптического телескопа БТА во втором полугодии 2012 года подведены в ходе планового заседания Комитета по тематике больших телескопов (КТБТ), проведенного в САО РАН в апреле 2013 года. Общие статистические данные приведены на рисунках 1-5. На рисунке 1 показано распределение времени работы телескопа в часах по месяцам по данным, представленным ответственными наблюдателями и по данным инженерной службы, в истекшем 2012 году.

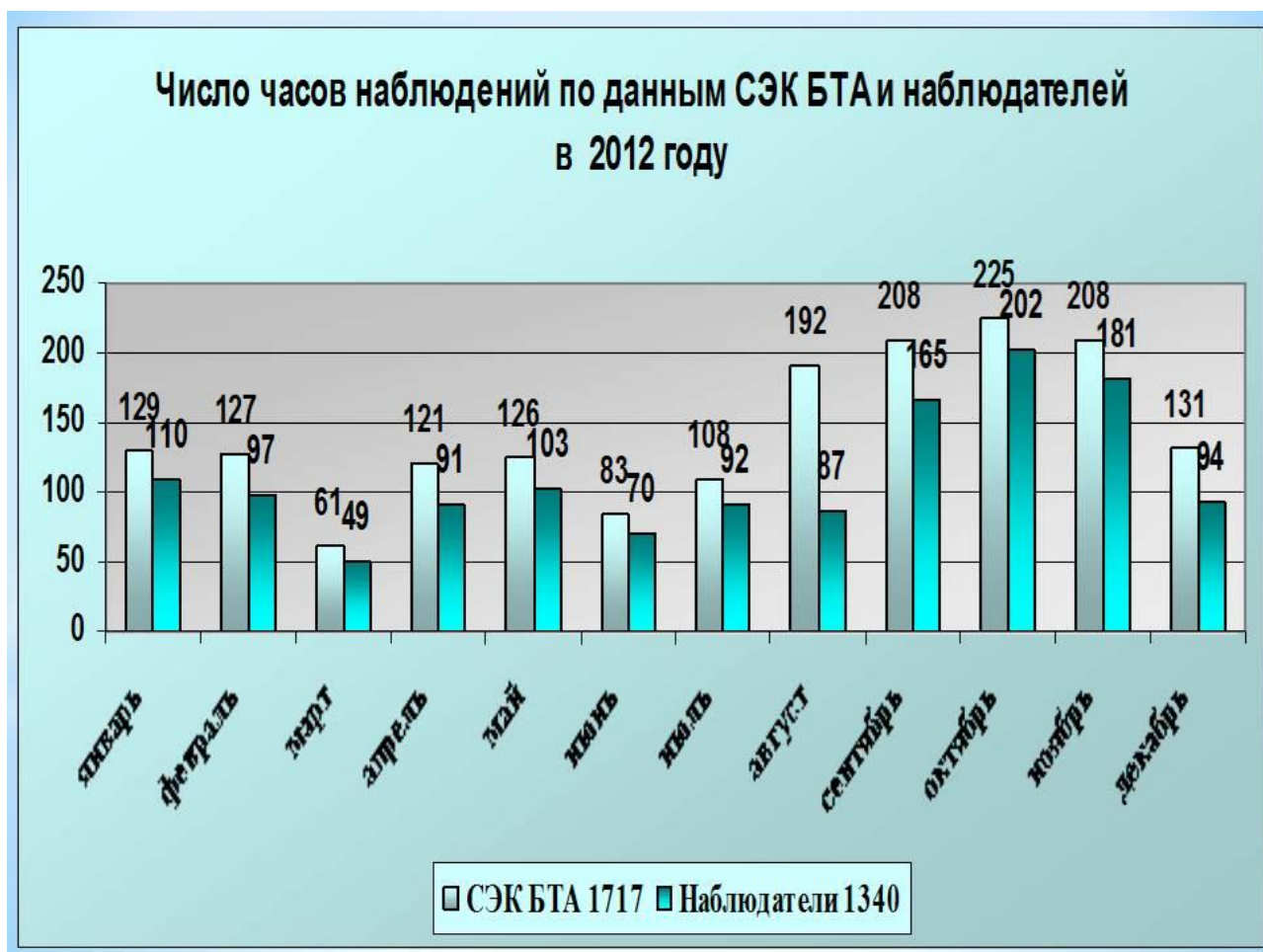


Рисунок 1. Общее количество времени работы УСУ БТА в 2012 году по данным службы эксплуатации и наблюдателей.

Приведенные данные указывают на значимое увеличение доли погодного времени, пригодного для проведения астрофизических исследований, в отчетном году по сравнению с предшествующим 2011 годом. Так, по данным СЭК количество часов увеличилось с 1428 часов до 1717, что существенно выше данных и по 2009 и 2010 годам, когда аналогичные данные составили 1543 и 1523 часа, соответственно. Как и ранее, существенно большая доля наблюдательного времени пришлась на второе полугодие.

На рисунке 2 приведено количество календарных ночей, выделенных КТБТ для решения астрофизических задач на комплексах светоприемного оборудования УСУ БТА в течение 2011 и 2012 годов. Хорошо видно, что остается неизменно высокой популярностью 3-х основных методов наблюдений, ставших штатными в последние годы и разработанных и изготовленных в основном силами сотрудников CAO РАН. Это - фокальный редуктор «SCORPIO», позволяющий выполнять фотометрические и спектральные исследования предельно слабых и далеких объектов нашей Вселенной (стабильно порядка 90 ночей каждый семестр), ультрафиолетовый спектрометр НЭС для изучения спектров звезд с высоким спектральным разрешением, обладающий большим коллимированным пучком (порядка 30 ночей каждое полугодие), цифровой спекл-интерферометр для получения изображений с предельно высоким угловым разрешением (в среднем 25 ночей в полугодие).

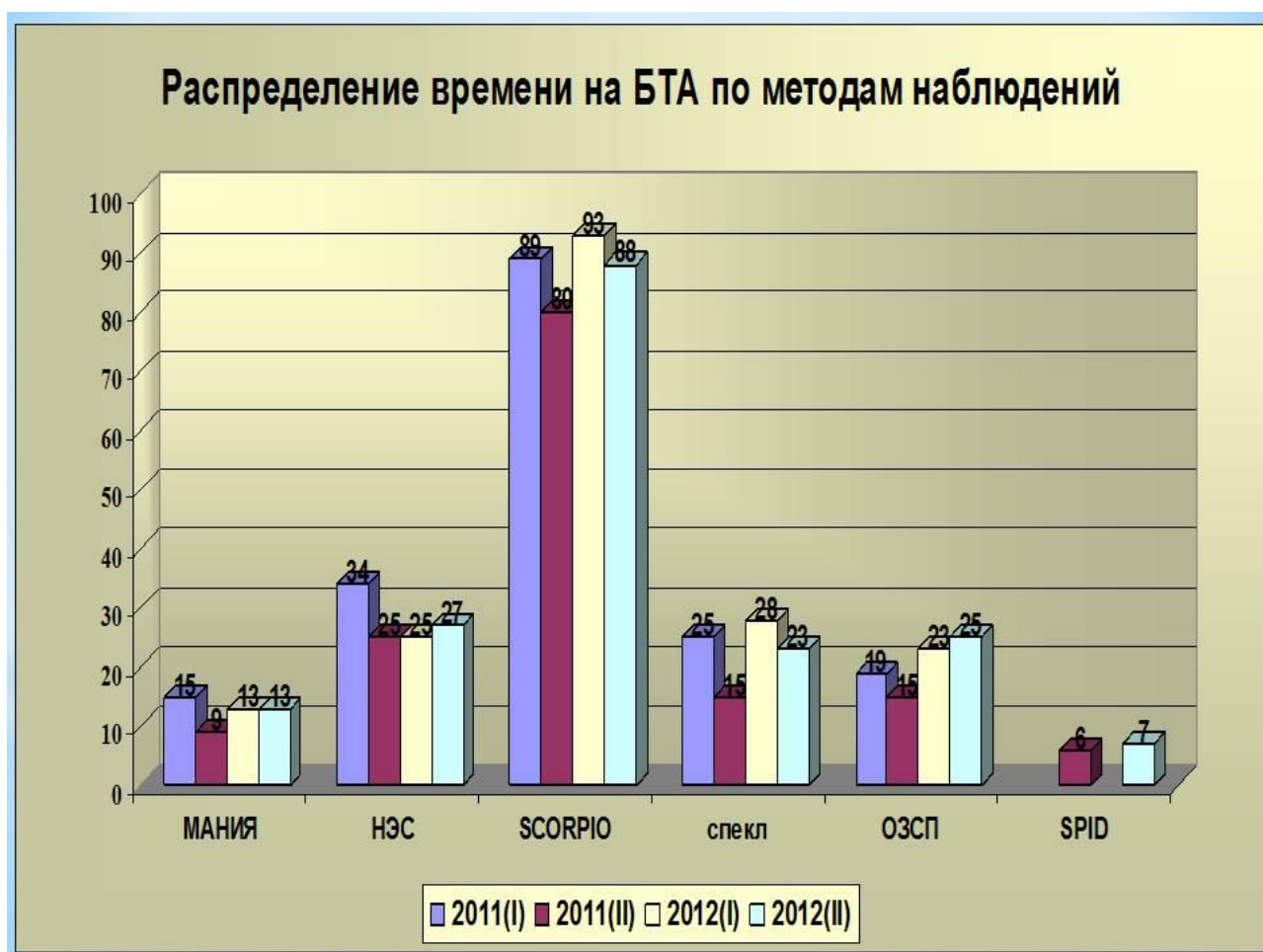


Рисунок 2. Распределение наблюдательного времени между методами наблюдений в 2011 и 2012 годах.

Порядка 15-20 ночей в каждое полугодие выделялось для исследований с такими приборами, как комплекс исследования микросекундной переменности МАНИЯ, основной звездный спектрограф (ОЗСП). Новый гостевой прибор SPID, предназначенный для

комплексных спектрально-интерференционных исследований, также получал часть рабочего времени на УСУ БТА.

На рисунке 3 дано распределение выделенного КТБТ времени работы УСУ БТА по группам заявителей – сотрудники САО, сотрудники других российских институтов и учреждений, сотрудники учреждений стран СНГ и стран дальнего зарубежья.



Рисунок 3. Распределение календарного времени между группами заявителей – САО РАН, Россия, страны СНГ и дальнего зарубежья в 4-х полугодиях 2011-2012 гг.

Сравнение результатов с данными более ранних лет показывает примерное сохранение пропорций при увеличении общего количества пользователей инструмента. Тенденцией можно считать увеличение количества наблюдательного времени заявки из стран Содружества. Тенденция же к уменьшению количества времени, выделяемого ученым из дальнего зарубежья, в истекшем полугодии не подтвердилась.

Анализ рисунка 4 демонстрирует тот факт, что в последние годы наиболее популярными являются наблюдательные программы, на которые выделяется 2-3 ночи. Эта тенденция достаточно устойчива на протяжении последних 5-7 лет. Отметим также тот факт,

что в истекшем полугодии существенно увеличилась доля программ, обеспеченных 4 и 5 ночами.



Рисунок 4. Распределение количества поддержанных научных программ по количеству ночей в 4-х полугодиях 2011-2012 гг.

Одной из важных задач, стоящих перед программным комитетом, остается выделение крупных так называемых «ключевых» программ с большим количеством рабочего времени инструмента.

2 Обеспечение проведения исследований для сторонних организаций с использованием УСУ БТА

На следующих рисунках этого раздела приведен ряд наблюдательных результатов, полученных на УСУ БТА за отчетный период с использованием штатного оборудования УСУ, для заявителей из сторонних организаций. Основные результаты сейчас готовятся к печати в ведущих российских и зарубежных изданиях.

Из большого количества результатов нами отобраны наиболее результативные программы, демонстрирующие потенциальные возможности оптического 6-метрового телескопа. Результаты расположены в порядке уменьшения пространственной шкалы исследуемых явлений – от исследований скоплений галактик (программа Е.Чуразова из ИКИ РАН) вплоть до объектов звездных масс (как в программах В.П.Горанского (ГАИШ МГУ)).

Одной из наиболее интригующих проблем современной астрофизики и космологии остается ответ на вопрос – когда начали образовываться галактики и звезды в нашей Вселенной. Существенной остается проблема образования первых скоплений и групп галактик. Прогресс в мировой науке в сторону все более далеких и более молодых (на наш взгляд) галактик ведется уже более 20 лет с применением всех мощи современных больших оптических телескопов. За это время эпоха образования первых галактик отодвигалась все дальше и дальше и сейчас достигла времени, когда возраст Вселенной составлял порядка миллиарда лет.

Для отбора самых массивных скоплений галактик перспективным остается способ отбора по их рентгеновскому излучению. Е.Чуразов (Институт космических исследований РАН) предложил проводить оптические исследования галактик, включая определение их кинематических параметров, обладающих существенным избытком излучения в рентгеновском диапазоне спектра. Для исследований на УСУ БТА был использован многомодовый фокальный редуктор SCORPIO в режиме спектроскопии с длинной щелью.

Проводимые на УСУ БТА исследования дополняются данными космического телескопа Chandra, получающего информацию о рентгеновском излучении горячего газа, находящегося в изучаемых скоплениях галактик.

Массивные эллиптические галактики БТА+ SCORPIO (Е. Чуразов, ИКИ)

БТА: измерение хода дисперсии скоростей звезд, вычисления профиля полной массы и массы звездного населения. **Chandra:** сравнения с результатами рентгеновских наблюдений позволит оценить вклад нетепловой компоненты в давление газа, поставить ограничения на отношение масса/светимость и вклад темной материи. **Конечная цель программы — ограничения на сценарии роста центральных галактик групп и скоплений.**

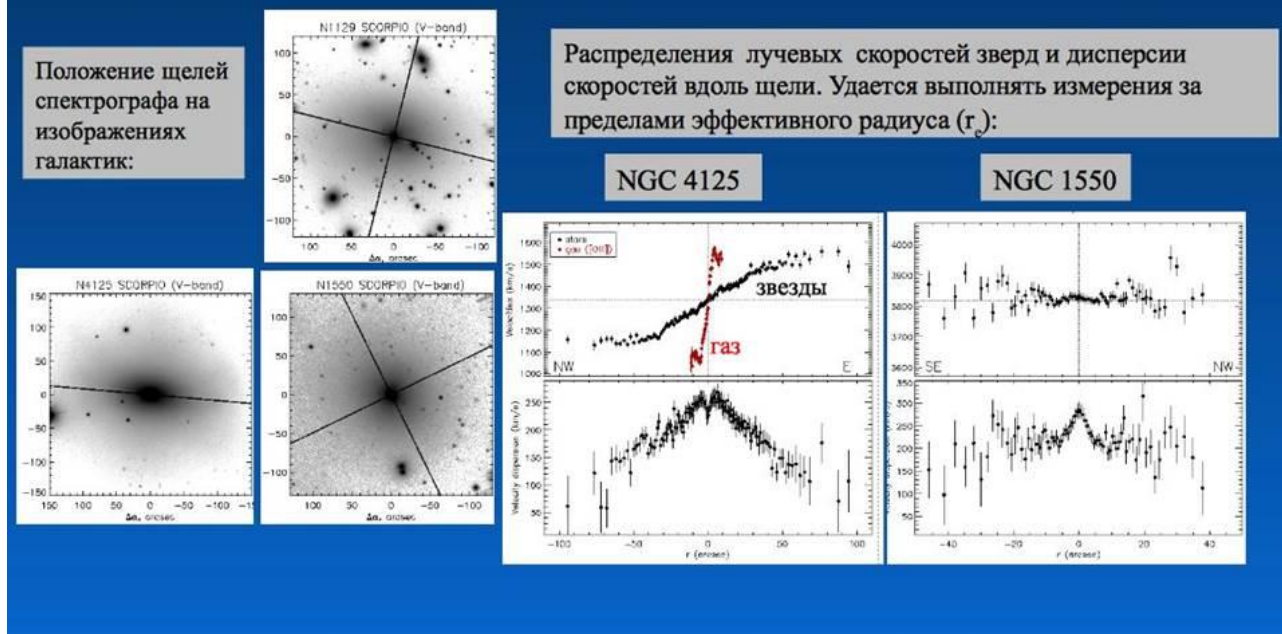


Рисунок 5. Результаты исследования двух массивных эллиптических галактик - NGC 4125 и NGC 1550 из программы Е.Чуразова (ИКИ РАН) с фокальным редуктором SCORPIO.

На рисунке 5 приведены результаты этой программы для двух галактик выборки – NGC 4125 и NGC1550. Слева приведены прямые снимки этих галактик, полученные на УСУ БТА, а справа – распределения лучевых скоростей для звездной и газовой составляющих а также значения дисперсии скоростей звезд вдоль указанных направлений. Данные с УСУ БТА позволяют определить полную массу галактики, а привлечение рентгеновских данных космического телескопа Chandra дает возможность ограничить величину отношения массы к светимости и уточнить вклад темной материи.

Уже несколько лет на УСУ БТА исследователями из Астрономического института Санкт-Петербургского университета ведутся программы исследования галактик, обладающих сложными структурами, движение вещества в которых происходит вне плоскости основного звездного диска галактики, изогнутыми дисками. Основная задача программы, предложенной ученым В. Решетниковым из АИ СПбГУ – выяснение деталей механизма генерации и поддержания изгибов дисков галактик.

На рисунке 6 показан результат исследования одной из таких галактик на фокальном редукторе SCORPIO, оснащённом сканирующим интерферометром Фабри-Перо с расширенным спектральным диапазоном.

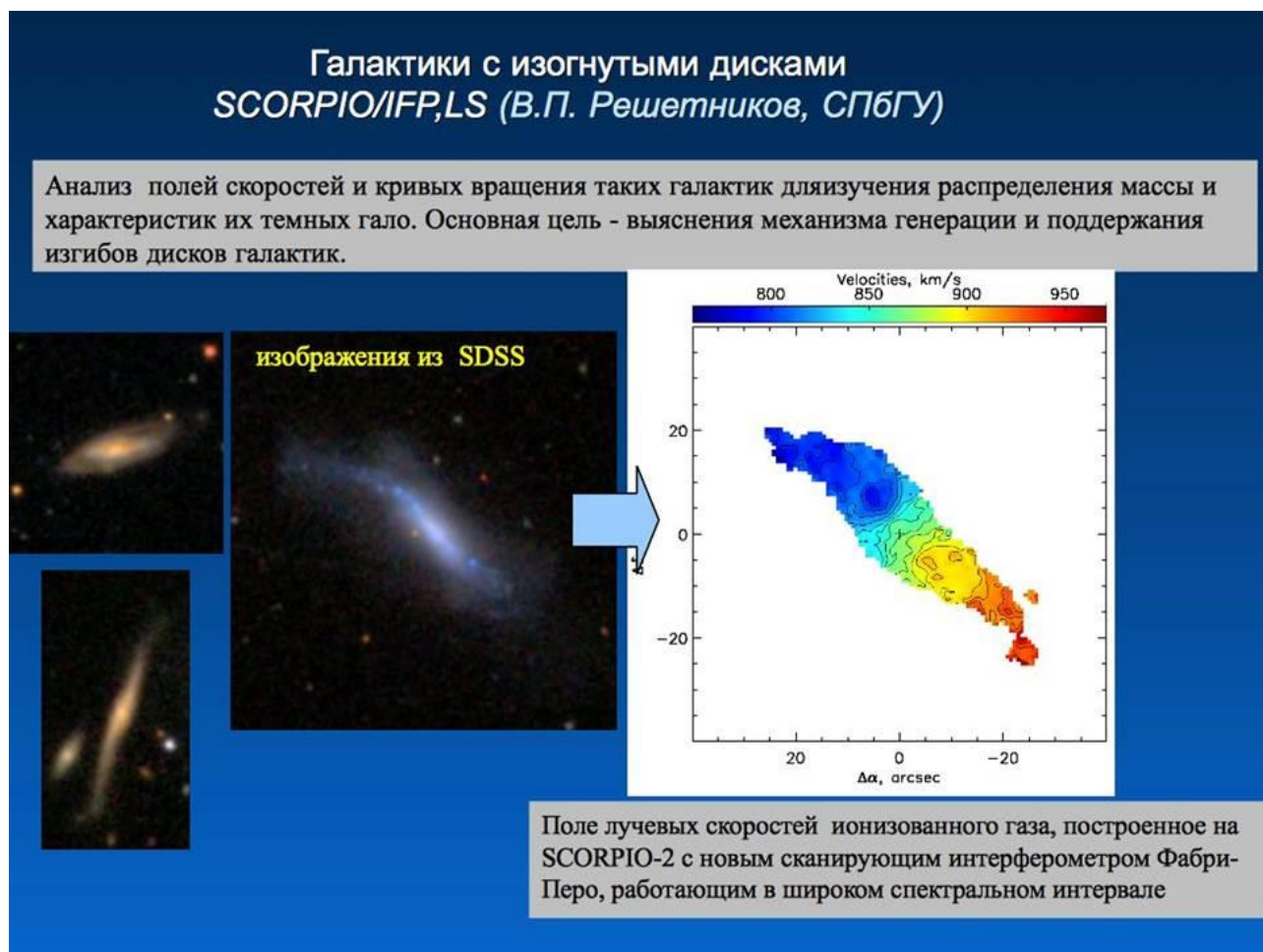


Рисунок 6. Результаты исследования галактик с изогнутыми дисками. Заявитель – В.П. Решетников (Астрономический институт СПбГУ).

Полученные автором программы характеристики для обнаруженных искривленных дисков позволят наложить ряд ограничений на параметры тёмного гало у исследуемых галактик, что имеет важнейшее значение для теории возникновения галактик.

Многолетние исследования галактик с активными ядрами (Active Galactic Nuclei – AGN), проводимые в CAO РАН с использованием аппаратных средств УСУ БТА, указывают на наличие связи самого явления AGN с окружением собственно галактики. Кроме того, ранее было показано, что у ряда галактик с активным ядром существуют приливные структуры на значительных расстояниях от центра.

Заявителем W.Keel из университета штата Алабама (США) была поставлена задача по детальному изучению природы приливных структур, ионизованных излучением активного ядра. Предварительный отбор объектов осуществлялся по данным обзора Слоановского глубокого обзора SDSS. Детальная морфология околоядерной области выполнялась с использованием данных Космического телескопа им. Хаббла, а параметры протяженных

областей приливного характера определялись на фокальном редуторе SCORPIO, оснащённом сканирующим интерферометром Фабри-Перо с расширенным спектральным диапазоном.

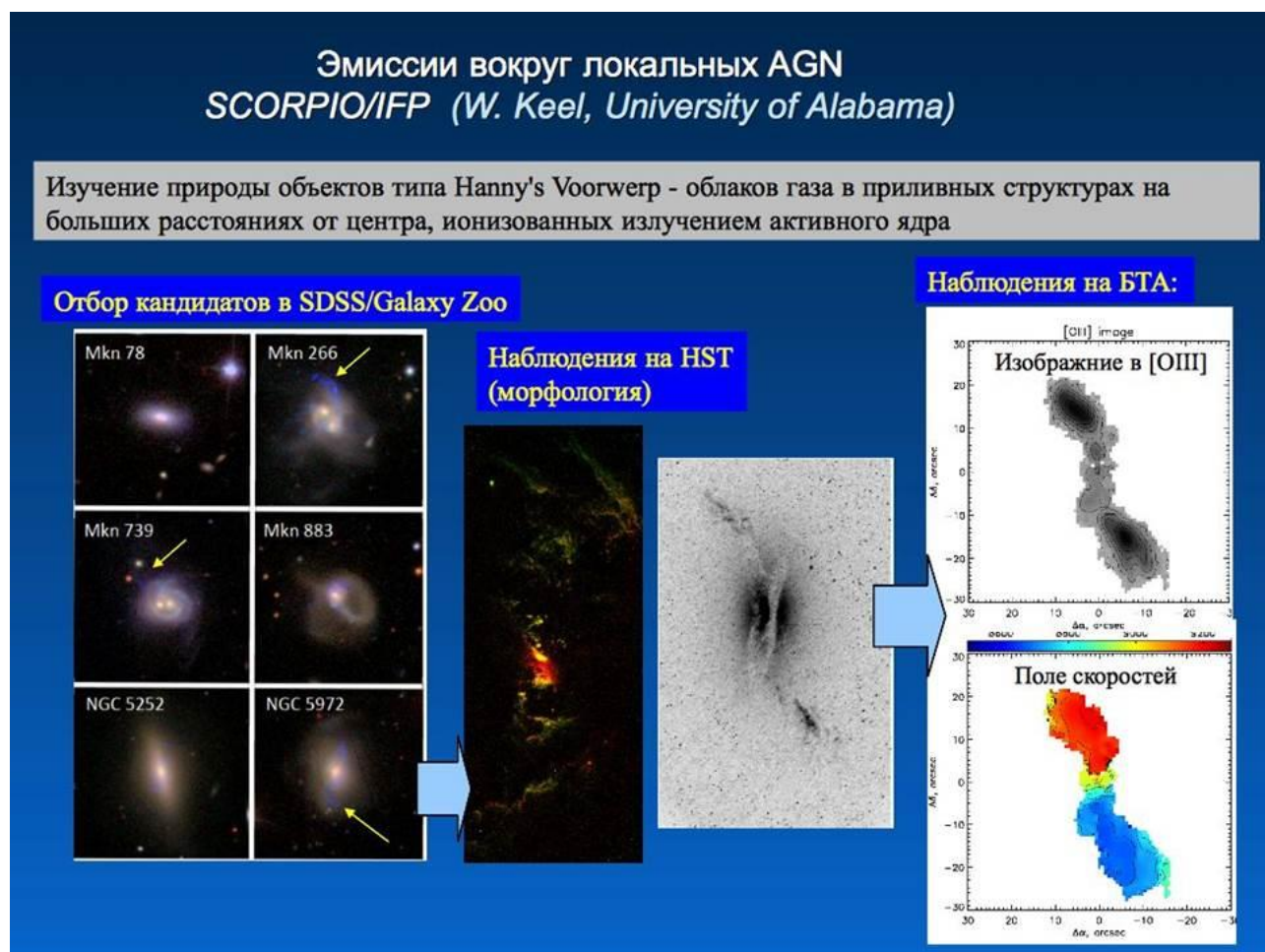


Рисунок 7. Результат исследования структуры эмиссионных областей в галактиках с активным ядром (AGN) с фокальным редутором SCORPIO УСУ БТА (заявитель – W.Keel, University of Alabama, США).

На рисунке 7 показаны результаты исследования подобных структур в галактике NGC5972 (ее изображение – слева, данные по центральной части – в центре, справа – данные по структуре ионизованных областей, видимых в линии излучения дважды ионизованного кислорода).

В отчетном периоде на УСУ БТА впервые удалось получить спектр и многоцветную фотометрию «импостера сверхновой». Так называют сверхновые пониженной светимости, которые изредка вспыхивают и при этом достигают абсолютных величин в максимуме в промежутке между классическими новыми и сверхновыми. Кривые блеска их похожи на

обычные сверхновые, так что «импостер сверхновой» означает в переводе «мошенник, выдающий себя за сверхновую». Предшественниками этих вспышек являются звезды класса супер-AGB: инфракрасные источники очень высокой светимости, которых в галактиках встречаются единицы. В спектре вспышек импостеров видны узкие линии водорода с широкими крыльями, а также абсорбции и эмиссии в линиях Ca I и Ca II.

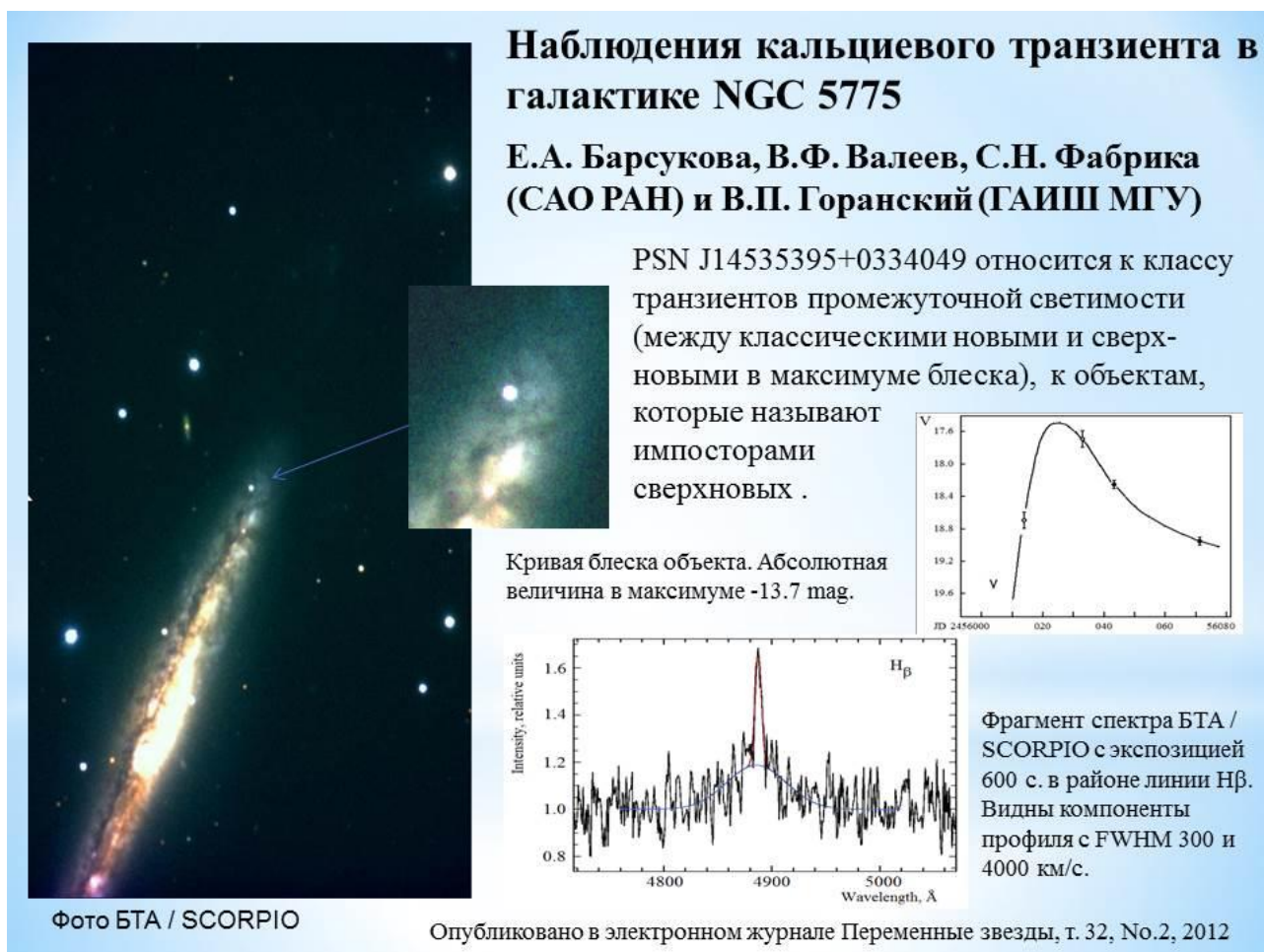


Рисунок 8. Результаты исследования «Импостера сверхновой» - кальциевого транзиента в галактике NGC 5775 (заявители – Е.А. Барсукова (САО РАН) и В.П.Горанский (ГАИШ МГУ)).

На рисунке 8 показаны результаты исследования «Импостера сверхновой», вспыхнувшего в галактике NGC 5775. Слева приведен прямой снимок, полученный на УСУ БТА, внизу – фрагмент спектра умеренного разрешения в области эмиссионной линии водорода. Полученные данные позволяют утверждать о наличии выбросов вещества в момент взрыва со скоростью до 4000 км/сек.

Ранее многоцветная фотометрия V934 Her выявила в ультрафиолетовом диапазоне волну с орбитальным периодом нейтронной звезды 415 дней. В оптическом диапазоне преобладает свет красной звезды-гиганта класса M2III. Волна может быть связана с эффектом переработки рентгеновского излучения на поверхности красного гиганта.

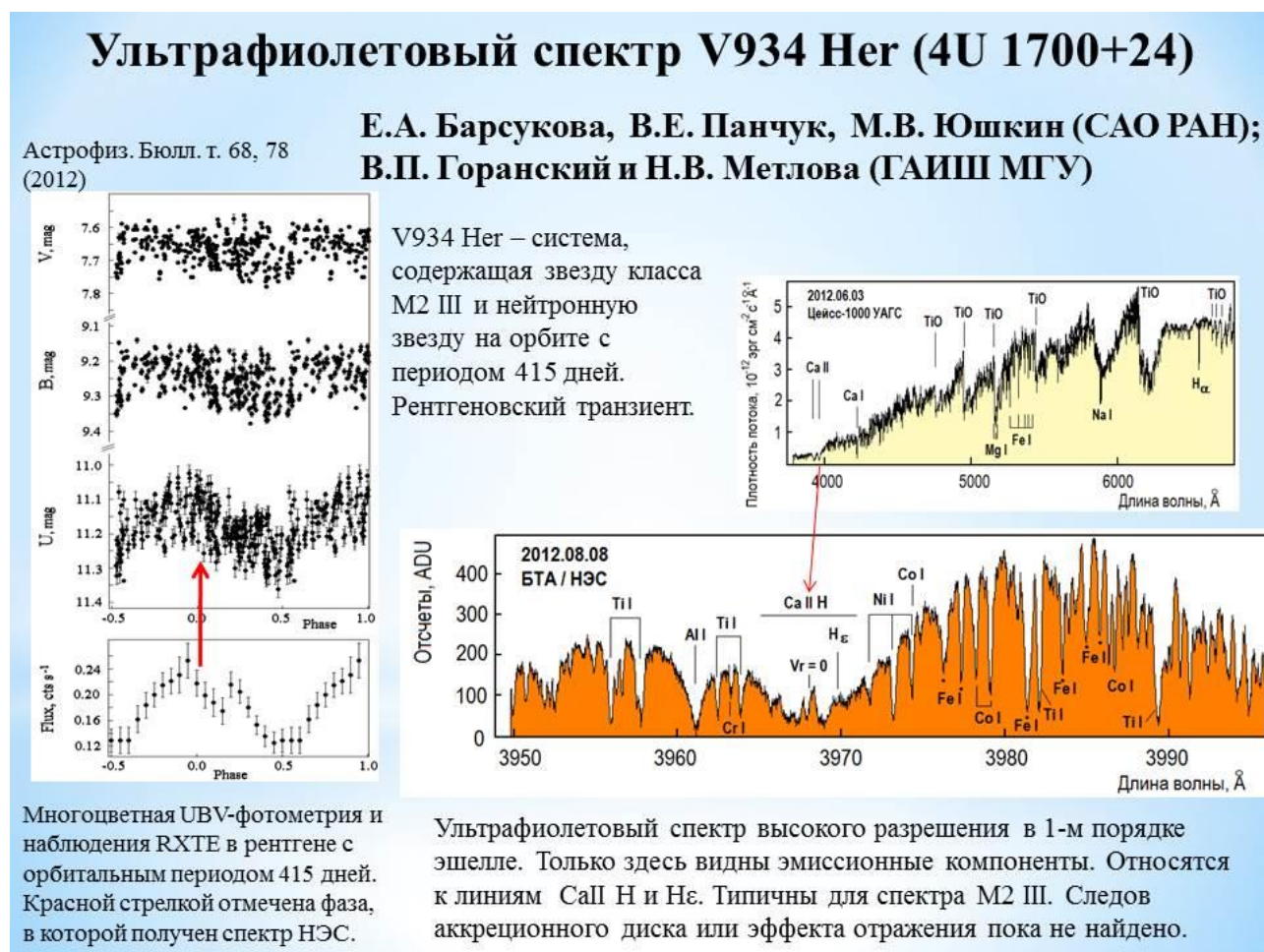


Рисунок 9. Результаты исследования ультрафиолетового спектра системы V934 Her (заявители – В.Горанский и Н.Метлова (ГАИШ МГУ)).

Спектр высокого разрешения на спектрографе НЭС УСУ БТА получен в фазе вблизи максимума ультрафиолетового и рентгеновского излучения для поиска эмиссий горячего пятна на поверхности гиганта или аккреционного диска. Пока обнаружены только эмиссии в линиях Ca II и H-эпсилон, которые характерны для одиночных звезд этого класса. На рисунке 9 показаны результаты фотометрических и спектральных исследований этой системы.

Для этих исследований также использовался фокальный редуктор SCORPIO в спектральной моде, а дополнительные фотометрические и спектральные данные получены с применением возможностей 1-метрового оптического телескопа САО, входящего в состав УСУ БТА.

3 Проведение мероприятий по развитию УСУ в части повышения эффективности спектральных исследований

Эффективность проводимых на УСУ БТА спектральных исследований определяется набором различных факторов инструментального характера. Детальный анализ показывает, что их можно разделить на несколько подгрупп, в рамках которых возможно поэтапное решение существующих проблем, снижающих результативность работы наблюдательных методов.

3.1 Внедрение новых приемников излучения

Повышение качества получаемых данных существенным образом зависит от свойств используемых систем регистрации изображений. Ранее нами использовались лучшие в то время матрицы E2V Technologies: CCD42-40 2048 x 2048, «тонкие» с обратной засветкой и CCD42-90 2048 и 4096, «тонкие» и «толстые» с глубоким обеднением материала подложки.

Высокая стабильность ПЗС-систем обеспечила возможность улучшения качества исправления интерференционных искажений (так называемых «фрингов»), возникающих при накоплении изображений преимущественно в диапазоне длин волн 700 – 1000 нм. Тем не менее, остаточные «фринги» снижают чувствительность системы. Использование «толстых» матриц не только существенно повышает квантовую эффективность используемых методов, как видно из рисунка 10, но и позволяет решить проблему исправления этих искажений, проиллюстрированных рисунком 11.

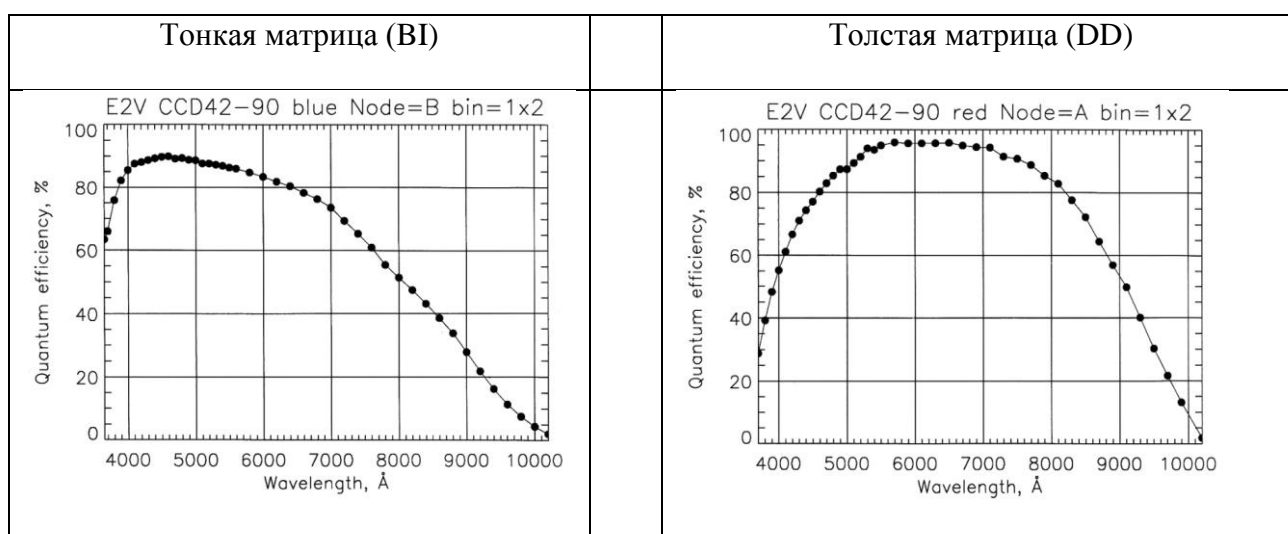


Рисунок 10. Сравнение квантовой эффективности тонких и «толстых» матриц

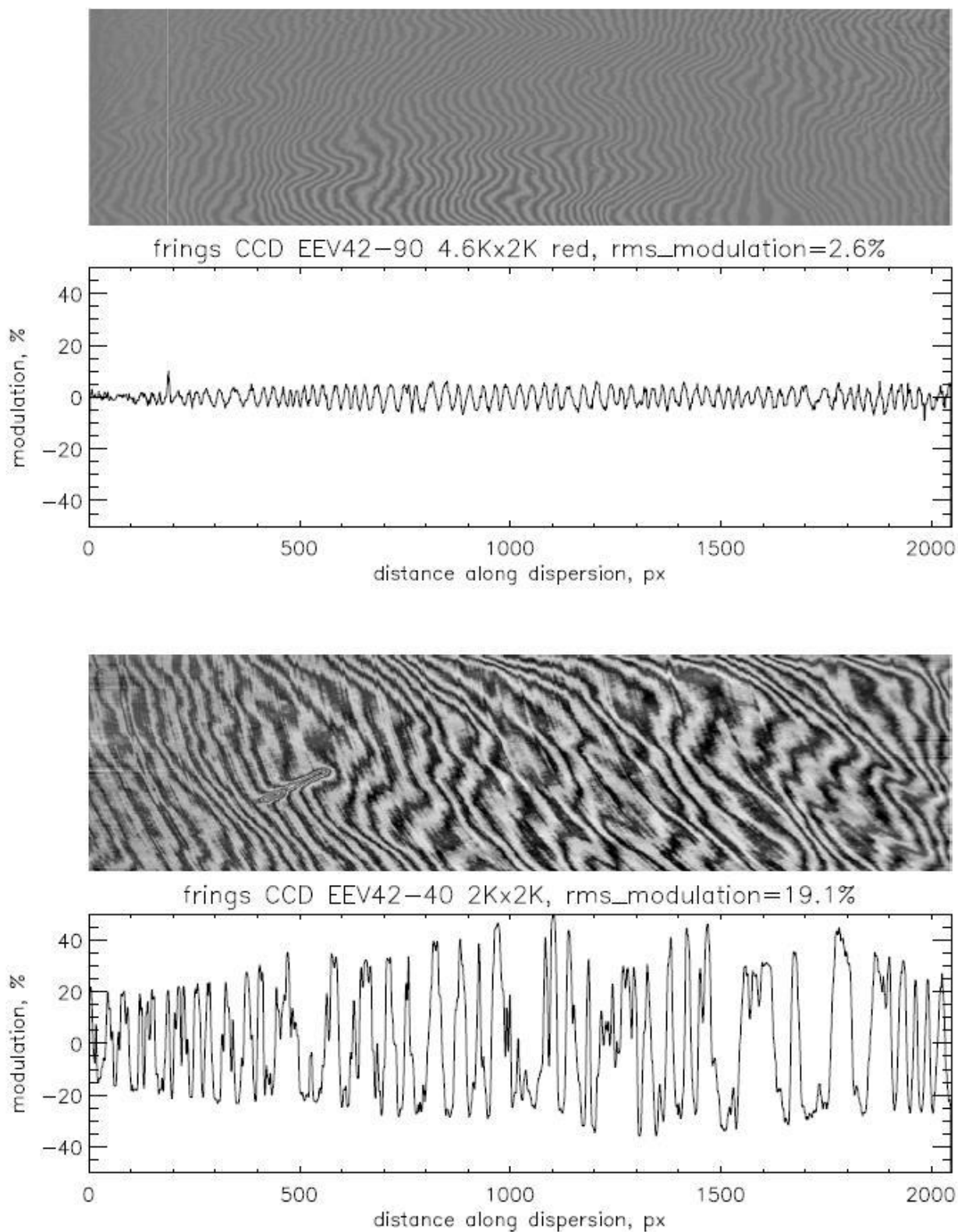


Рисунок 11. Сравнение фрингов в непрерывном спектре для «толстой» матрицы EEV 42-90 и типичной тонкой матрицы EEV 42-40

На матрице с толстой подложкой с исходной величиной фрингов 3-5% после исправления достигнут уровень помех в 0.5%, что значительно повышает точность регистрации спектров слабых объектов. На матрице с тонкой подложкой «фринги» составляют 15-20%, их исправление обычно возможно до 3-4%. На рисунке 12 показан

результат коррекции спектральных накоплений в ближнем ИК диапазоне, демонстрирующий возможность работы с слабыми спектрами в этом диапазоне.

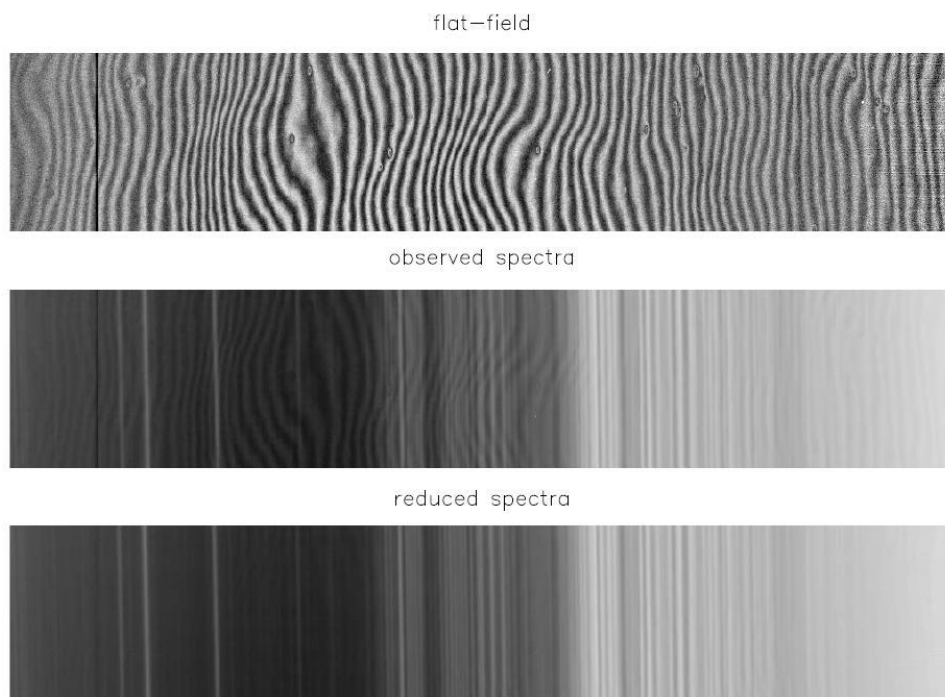


Рисунок 12. Пример исправления спектра дневного неба (теллурический спектр). Вверху показано изображение непрерывного спектра в диапазоне 0.77-0.93 мкм, полученного на SCORPIO. Посредине – наблюдаемый спектр дневного неба. Внизу – исправленный спектр неба с уровнем «фрингов» 0.5%.

3.2 Внедрение системы стабилизации изображений (ССИ) для спектральных исследований

Испытание ССИ проведено в ходе наблюдений в первичном фокусе УСУ БТА во время, выделяемое для испытаний различных приборов, оптики и системы управления. Основной целью испытаний было определение эффективности компенсации ССИ колебаний телескопа на различных частотах, а также эффективности устранения ошибок сопровождения телескопом исследуемого объекта.

Получено несколько серий изображений звезд при работающей и не работающей ССИ на временных интервалах, соответствующих коротким и длинным временам накопления сигнала в спектрографе. Пример эксперимента на временном интервале около 2500 секунд приводим ниже. На рисунке 13 показано смещение центра изображения звезды по одной из координат относительно среднего положения, совпадающего с геометрическим центром щели.

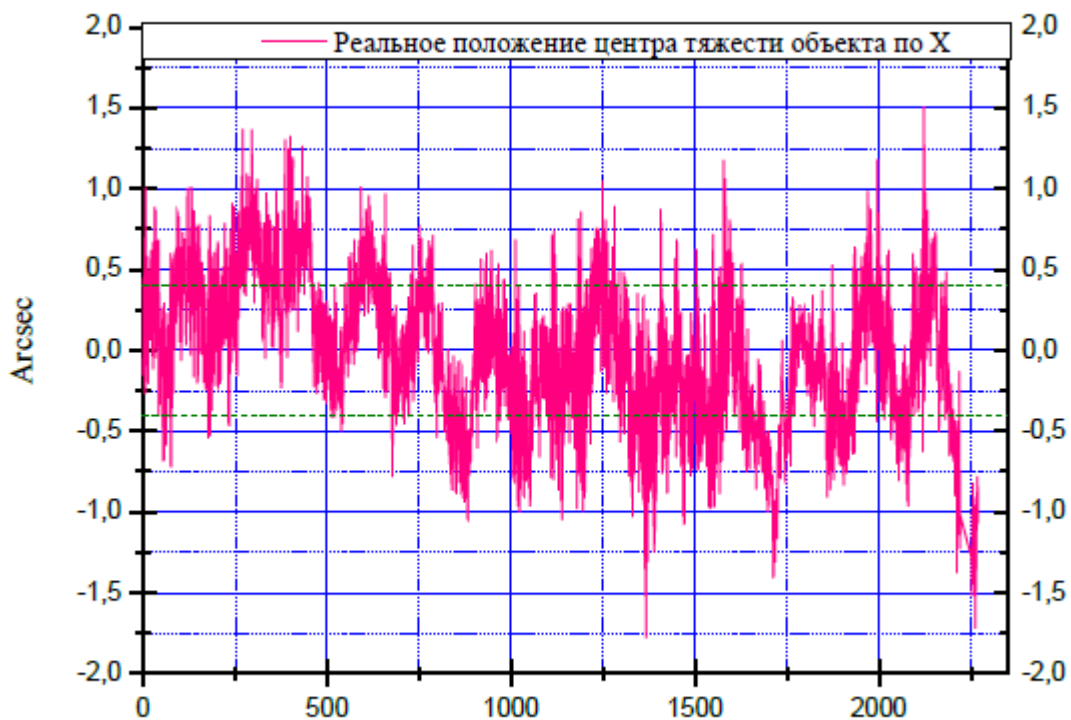


Рисунок 13. Колебания центра тяжести изображения звезды в ходе приемки ССИ на УСУ БТА.

Из данных следует, что звезда проводит много времени вне щели, обозначенной зеленым цветом. Амплитуда колебаний центра звезды относительно среднего положения превышает 1 угл.сек, исследования показали, что среднеквадратичное отклонение составляет 0.43 угл.сек. Это означает, что при спектроскопических наблюдениях центр изображения звезды более 30% от времени экспозиции находится за пределами входной щели спектрографа.

На рисунке 14 представлен полученный спектр мощности колебаний телескопа, рассчитанный по зарегистрированным смещениям центра изображения звезды.

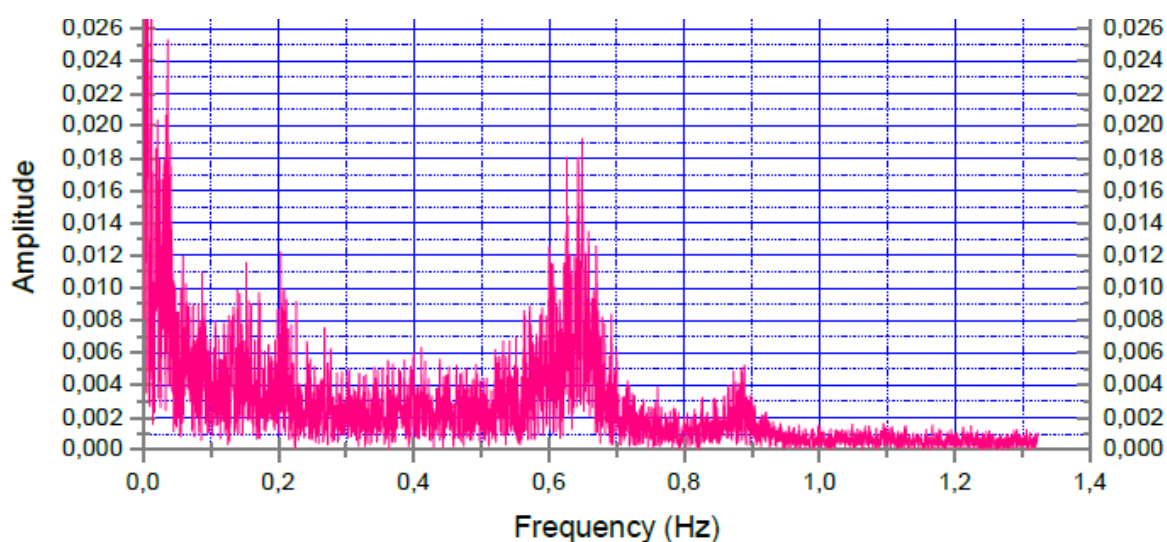


Рисунок 14. Спектр частот колебаний изображения в фокусе УСУ БТА.

Видно, что колебания телескопа возбуждаются практически на всех частотах, но более отчетливо выделяются частоты 0.65 Гц и 0.85 Гц, которые являются резонансными для конструкции телескопа.

Аналогичная серия изображений звезды получена при функционирующей ССИ. По каждому кадру телевизионного сигнала камеры определялось положение центра звезды, и смещение изображения относительно выбранного среднего положения компенсировалось наклоном пластины корректора. На рисунке 15 приведена запись остаточных колебаний центра изображения звезды, демонстрирующая существенное снижение потерь света на щели спектрографа.

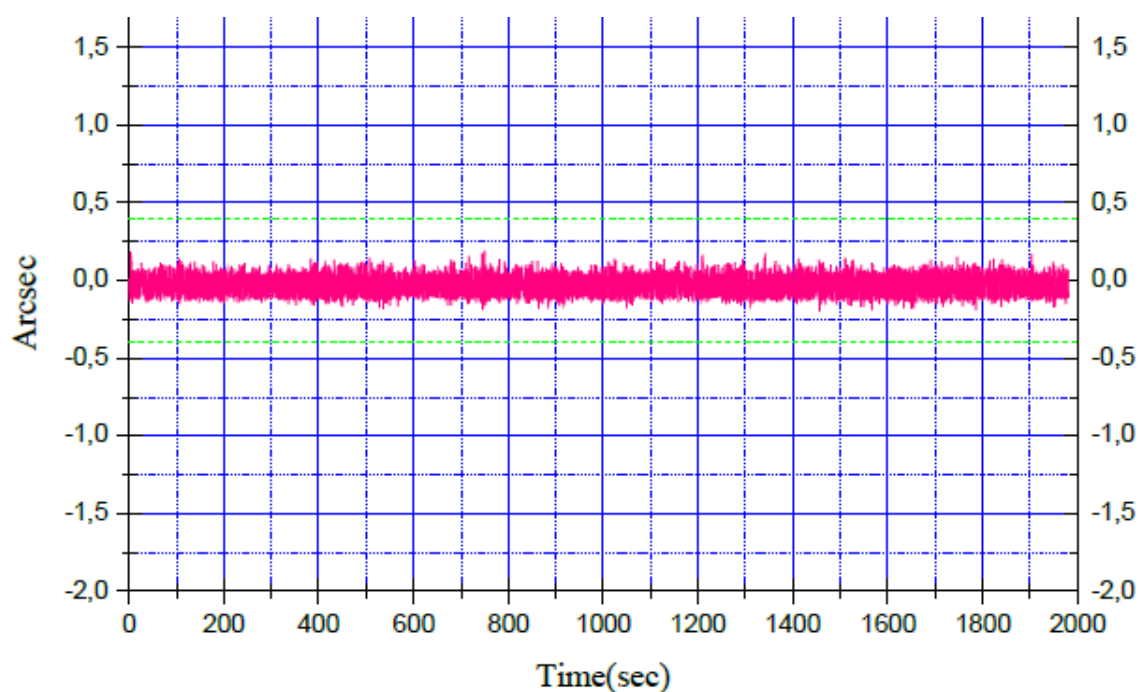


Рисунок 15. Смещения центра тяжести звезды при включенной ССИ.

Расчеты дают, что при выключенной коррекции в среднем за экспозицию в щель спектрографа УСУ БТА проходит 28% света относительно интегрального количества излучения, собранного телескопом. При включенной коррекции – 37%. Отсюда следует вывод, что при работающем локальном корректоре в щель спектрографа проходит примерно в 1.3 раза больше света. Поэтому эффективность работы ССИ равна 30% при качестве изображения около 1.5 угл.сек. При более хороших погодных условиях эффективность ССИ будет выше. При более низком качестве изображений эффективность работы (как ССИ, так и системы телескоп-спектрограф в целом) будет ниже. Приходим к выводу, что даже только для БТА развитие ССИ целесообразно.

3.3 Внедрение детекторов с внутренним усилением заряда в спекл-интерферометр УСУ БТА

Возможности метода спекл-интерферометрии на УСУ БТА, позволяющего получить данные с дифракционным разрешением (около 20 миллисекунд дуги), были существенно расширены благодаря внедрению детекторов с внутренним усилением заряда. Результаты приведены на рисунке 16. Здесь показано восстановленное изображение уникальной тройной системы, главный компонент которой обладает сильным магнитным полем.

Использование обновленного светоприемника позволило обеспечить динамический диапазон метода более 50 раз. Поставленная программа направлена на уточнение фундаментальных параметров магнитных звезд методом прямого определения по собственным движениям в парах и группах.

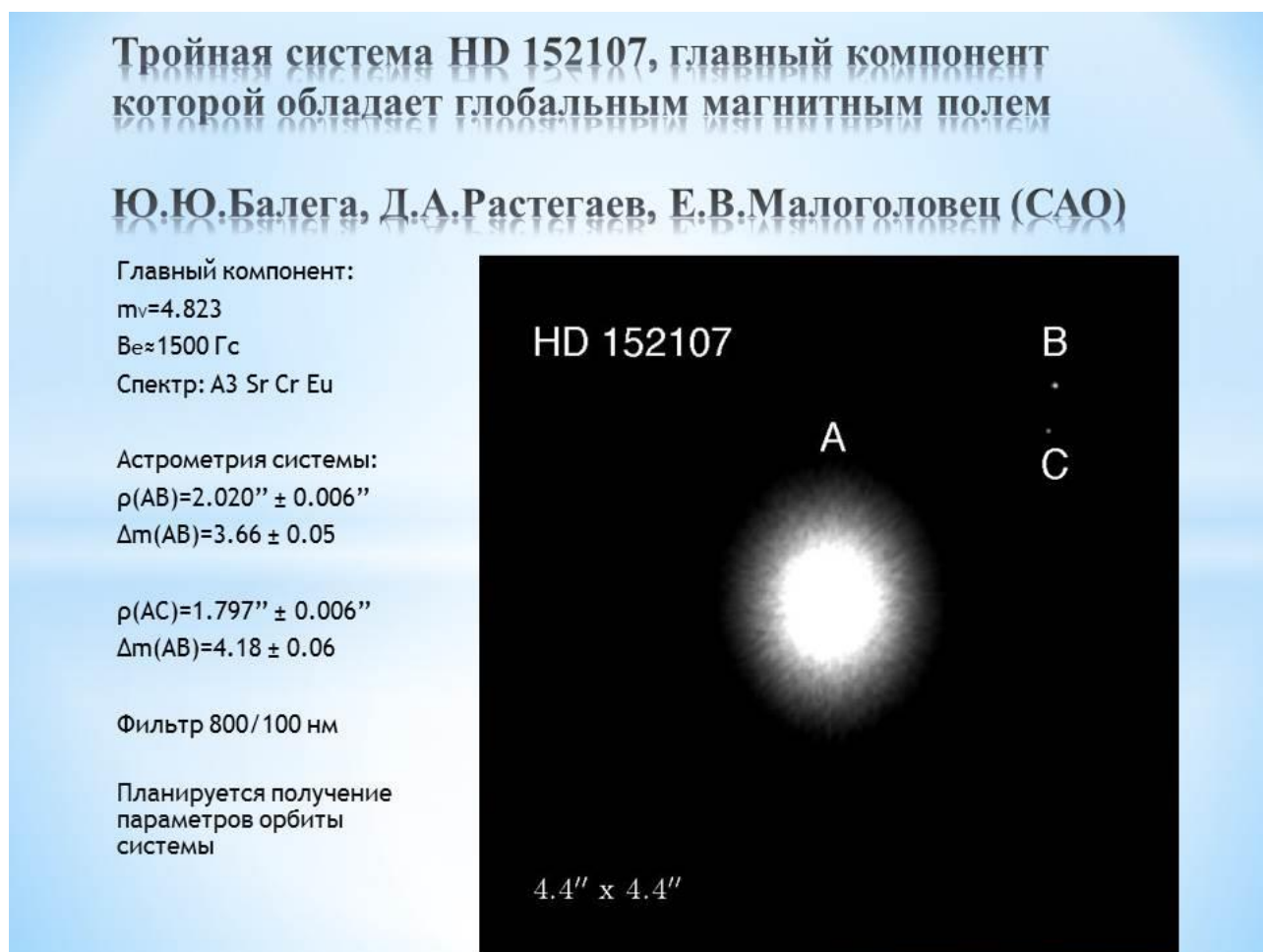


Рисунок 16. Результаты исследования уникальной тройной системы на УСУ БТА по заявке Ю.Ю.Балеги, Е.Малоголовца, Д.Растегаева (САО РАН).

3.4 Внедрение нового сканирующего интерферометра Фабри-Перо на фокальном редукторе SCORPIO

Проведение на УСУ БТА интерферометрических исследований со сканирующим интерферометром Фабри-Перо на протяжении последних 10 лет неизменно остается востребованным методом. Для повышения эффективности метода было принято решение об внедрении в практику исследований нового эталона Фабри-Перо, работающего в более низких интерференционных порядках. Установка прибора и первые наблюдения с УСУ БТА подтвердили превосходные оптические параметры этого прибора (показаны на рисунке 17).



Рисунок 17. Характеристики внедренного на УСУ БТА интерферометра Фабри-Перо.

Расширенный в 4 раза (до 1600 км/сек) спектральный диапазон нового прибора позволил значительно расширить круг исследуемых объектов, что ранее сдерживалось малым рабочим диапазоном используемых интерферометров.

4 Разработка методики нанесения высокоотражающего зеркального слоя в вакуумной камере ВУАЗ-6

Работы по переполировке Главного зеркала телескопа БТА, проводимые ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», приближаются к своему завершению. В настоящее время необходимо решить задачу нанесения современного высококачественного и надежного отражающего слоя на его поверхность. Эта задача может быть выполнена на единственной установке в стране такого размера - вакуумной установке напыления (ВУАЗ-6), расположенной в башне БТА. Насущная потребность в разработке методики нанесения отражающего слоя связана с устарением существующей технологии.

САО РАН было принято решение о модернизации технологии нанесения отражающих покрытий на зеркала УСУ БТА. В рамках настоящей НИР был проведен анализ существующей технологии, определены ее недостатки, выработаны рекомендации по улучшению технологии.

Работы начаты в 2009 году и проводятся в 2 этапа – первый этап запланирован на 2010-2012 годы (в настоящее время частично осуществлен), второй на 2016-2017 г.г. Заключены соглашения с «НИИ НПО ЛУЧ», Подольск и «Хилберг-вакуумтехник», Германия

Итак, конечной целью работ является нанесение отражающего (Al) и защитного (SiO₂) покрытий на Главное и вторичные зеркала и образцы-свидетели методом резистивного испарения в вакууме.

Для достижения результата (повышение отражающей способности зеркала БТА на 70% на длине волны 300нм) необходимо решить комплекс проблем:

1. Модернизация процесса нанесения покрытия с высоким коэффициентом отражения – это обеспечивается в первую очередь:
 - отсутствием паров органических соединений в вакуумной атмосфере
 - минимальным содержанием паров воды и кислорода в остаточной атмосфере.
 - наличием современных средств контроля толщины и скорости наносимых пленок
2. Модернизация собственно вакуумной установки алюминирования зеркала (ВУАЗ).
3. Более тщательная подготовка поверхности зеркал к алюминированию.
4. Отработка технологии в лабораторных.

Создание методики нанесения высокоотражающего зеркального слоя на оптические поверхности телескопа БТА в существующей камере ВУАЗ-6 путем переноса уже существующих на малых камерах технологий позволит осуществить напыление основных

рабочих поверхностей телескопа с более высокими отражательными свойствами, защищенных от внешнего воздействия на 15-20 лет. Это существенно снизит затраты рабочего времени высококвалифицированного персонала на процедуру периодического (раз в 3-5 лет) нанесения свежего покрытия.

Так, существующая система не позволяла достичь предельного расчетного вакуума, в связи с чем не удавалось достичь высокого коэффициента отражения; система испарителей крайне ненадежна и существует большой риск образования капель расплавленного алюминия на поверхности зеркала; отсутствует возможность нанесения защитного слоя, что вынуждает периодически проводить дорогостоящую и ресурсоемкую процедуру переалюминирования ГЗ, ведущую к тому же к нарушению качества поверхности вследствие ее взаимодействия с агрессивными химическими элементами, применяемыми для смывания отражающего слоя.

Описание методики дано в Приложении 1 к настоящему Отчету.

5 Разработка методики фотополяриметрических исследований на 1-м телескопе, предназначенная для высокоточных калибровок спектрополяриметрических данных, получаемых на УСУ БТА

Необходимость разработки указанной методики обусловлена потребностями калибровок спектрополяриметрических исследований, выполняемых на УСУ БТА с редуктором светосилы первичного фокуса 6-м телескопа БТА SCORPIO (Spectral Camera with Optical Reducer for Photometric and Interferometric Observations), который оснащен модой спектрополяриметрических наблюдений.

Для получения неискаженной информации о поляризации излучения исследуемого объекта необходимо учитывать фон неба, полученный для аналогичных состояний анализатора, а также деполяризацию, вносимую в ходе наблюдений.

В CAO сейчас создается высокоэффективный фотометр — поляриметр с максимальным пропусканием оптического тракта. В качестве приемника будет использован быстрый прибор Andor sCMOS Neo. Разработанная методика измерения эффектов деполяризации в атмосфере с использованием фотометра — поляриметра 1м телескопа Цейсс — 1000 позволит:

1. Корректно учитывать эффекты нестабильности атмосферы при выполнении спектрополяриметрических наблюдений на БТА.

2. Определять поляризацию межзвездной среды в направлении исследуемого объекта и, учитывая ее, получать истинное значение поляризации излучения.

Подробное описание методики дано в Приложении 2 к настоящему Отчету.

6 Разработка методики автоматического определения атмосферной экстинкции для энергетической калибровки данных, получаемых на УСУ БТА.

В рамках данного проекта разработана методика для получения параметров экстинкции атмосферы в месте установки телескопа БТА.

В качестве инструмента для реализации методики определения атмосферной экстинкции нами выбран оптический телескоп системы Ричи-Кретьена «ASTROSIB RC360» с диаметром главного зеркала 360 мм.

В качестве светоприемника нами выбрана система Arogee Alta F16M со основными параметрами:

Тип сенсора - ПЗС-матрица с фронтальной подсветкой KAF-16803

Формат - 4096 x 4096 активных точек

Размер активной точки - 9 мкм

Размер сенсора - 36 x 36 мм.

Сочетание этих параметров телескопа и системы регистрации дает следующие характеристики метода:

– масштаб в плоскости приемника – 71.6 угл.сек/мм

- поле зрения – 44x44 угл.мин.

Описание методики и детальные параметры телескопа и системы регистрации даны в Приложении 3 к настоящему Отчету.

Эти характеристики полностью удовлетворяют требованиям технического задания.

Важно отметить, что данные измерения должны проводиться при полном раскрытии купола башни телескопа, другими словами результаты измерений не должны быть отягощены тепловыми потоками, возникающими в подкупольном пространстве.

Регулярный мониторинг атмосферной экстинкции в широком спектральном диапазоне даст возможность выполнять редукцию результатов наблюдений учитывающий этот параметр в реальном времени. Это позволит проводить высокоточные фотометрические и спектральные наблюдения на телескопе БТА. Кроме того, данный метод может быть эффективно использован для изучения экологического состояния атмосферы.

Заключение

Принимая во внимание приведенные выше материалы и результаты работы УСУ БТА в ходе проведения второго этапа НИР, приходим к выводу, что в целом задачи, поставленные Заказчиком перед Исполнителем, выполнены.

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

В отчете описаны мероприятия по развитию УСУ в части повышения эффективности спектральных исследований, включающие в себя: внедрение новых эффективных светоприемников для спектроскопии высокого и умеренного разрешения, реализацию системы стабилизации изображений, использование детекторов с внутренним усилением заряда в задачах спекл-интерферометрии, внедрение эффективного сканирующего интерферометра Фабри-Перо.

В отчете и 3-х приложениях к нему описаны разработанные в ходе НИР методики повышения эффективности научных исследований на УСУ БТА: методика нанесения высокоотражающего зеркального слоя вакуумной камере ВУАЗ-6, методика проведения фотополяриметрических исследований на 1-м телескопе, предназначенная для высокоточных калибровок спектрополяриметрических данных, получаемых на УСУ БТА, методика автоматического определения атмосферной экстинкции для энергетической калибровки данных, получаемых на УСУ БТА.