



УТВЕРЖДАЮ  
Директор CAO РАН

Балега Ю.Ю.  
(печать организации)

## ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ УНУ БТА НА 2014-2015 ГОДЫ

### Раздел 1. Характеристика УНУ

#### 1.1. Краткое описание УНУ и ее основные параметры и характеристики.

УНУ БТА – Большой Телескоп Альт-азимутальный - является крупнейшим оптическим телескопом в стране. Первый свет на телескопе был получен в 1975 году. Это первый в мире большой оптический телескоп, работающий на азимутальной монтировке.

Основные направления деятельности на БТА связаны с проведением фундаментальных исследований в области наземной астрономии с использованием современной экспериментальной базы, модернизацией оборудования телескопа, модернизацией и созданием новых методов наблюдений,

Основные характеристики:

Диаметр главного зеркала – 6 метров.

Длина конструкции – 25 метров.

Имеет 3 фокуса: первичный со светосилой 1:4 и 2 фокуса Несмита со светосилой 1:30.

Высота башни – 56 метров.

Рабочий спектральный диапазон – 300 – 1000 нм.

Вес главного зеркала – 42 тонны.

Общий вес телескопа – 850 тонн.

Проницающая сила – 27.5 зв.вел.

Для проведения наблюдений используются 12 оригинальных методов наблюдений, разработанных сотрудниками CAO, в основном являющихся уникальными. С помощью этих методов проводятся фотометрические (в стандартных системах и с высоким временным разрешением), спектральные и спектрополяриметрические (с высоким, средним и низким разрешением), спекл-интерферометрические наблюдения.

Являлся крупнейшим в мире оптическим телескопом с момента постройки в 1975 году до 1994 года. В настоящее время мировым сообществом созданы телескопы большего размера – с диаметром 10 м (Кеск-I,II США), с диаметром 8.2 м – VLT-1,2,3,4 (Южная Европейская обсерватория) и др. Уникальная альт-азимутальная конструкция, впервые примененная на БТА, и сейчас заимствуется всеми современными проектами. Занимает место в первой десятке телескопов мира.

#### 1.2. Обоснование необходимости модернизации УНУ и улучшения ее параметров (характеристик)

Оптический телескоп БТА – Большой телескоп азимутальный – с диаметром главного зеркала 6 метров являлся крупнейшим астрономическим телескопом в мире на протяжении почти 20 лет, начиная с момента постройки в 1975 году. Пионерские идеи в

создании конструкции гигантских телескопов, впервые успешно опробованные нашими учеными и инженерами в ходе его создания, открыли путь к постройке телескопов нового поколения, создаваемых странами Запада с середины 90-х годов. К настоящему времени телескоп БТА находится в конце первой десятки крупнейших инструментов мира, сконцентрированных в основном в Западном полушарии. Уникальное географическое положение делает его незаменимым при проведении международных научных исследований, а отсутствие в стране новых телескопов по-прежнему оставляет его основным поставщиком научной информации для ученых Российской Федерации и стран Содружества.

Уникальное 6-метровое Главное зеркало УНУ БТА находится в работе с 1979 года и давно нуждается в замене или реконструкции зеркального отражающего слоя. Он претерпел множество процедур снятия и нанесения алюминиевого слоя, что привело к росту его микрошероховатости. Кроме того, за прошедшие десятилетия отечественная оптическая промышленность освоила современные методы обработки крупногабаритных деталей, которые позволяют существенно улучшить качество поверхности астрономических зеркал. Программа замены Главного зеркала, начатая Российской академией наук в 2005 году, позволила начать обработку 6-метровой заготовки первого зеркала БТА в цехах ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла». К сожалению, финансовые трудности, испытываемые РАН, привели к затягиванию завершения работ. По состоянию на сегодняшний день завершение работ и установка зеркала в оправу телескопа планируется на конец 2015 года. Новые методы цеховой обработки требуют от нас внедрения новых средств инструментального контроля непосредственно на телескопе. Установка зеркала с улучшенной поверхностью обеспечит повышение проникающей силы телескопа и продление его рабочего ресурса на ближайшие 20-25 лет.

Все крупнейшие мировые телескопы сконцентрированы в местах с наилучшим астроклиматом – высокогорных пустынях и изолированных океанических островах. БТА сложно конкурировать с телескопами 8-10-м класса именно в силу ограничений, накладываемых атмосферными условиями, особенно при получении прямых снимков космических объектов. Тем не менее, опыт создания новых астрофизических методов исследований, имеющийся у ученых CAO РАН, позволяет утверждать, что мы остаемся конкурентоспособными прежде всего в области проведения технически сложных научных экспериментов.

Ярким примером такой конкурентоспособности является универсальный спектрограф SCORPIO, созданный специалистами CAO в 2000 и 2011 гг (первая и вторая генерации). Оба прибора в настоящее время являются основными инструментами для исследования слабых объектов на 6-м телескопе, занимая более половины наблюдательного времени УНУ БТА. Универсальность метода и его высокая эффективность позволяют в течение ночи наблюдений проводить комплексные наблюдения исследуемого объекта – фотометрию и спектроскопию, спектрополяриметрию и двумерную спектроскопию с интерферометром Фабри-Перо. Именно эти свойства прибора, несмотря на неидеальные условия наблюдений, позволяют получать на БТА результаты, конкурирующие с результатами ведущих западных обсерваторий, а часть работ, выполненных на нем, получили мировое признание и были отмечены различными наградами и премиями. За последние 10 лет на основе данных, полученных со SCORPIO, опубликовано более 250 статей в журналах с высоким импакт-фактором. Однако из-за хронического недофинансирования работ по развитию новых возможностей спектрографа до сих пор не реализован заложенный в проекте режим интегральной полевой спектроскопии (ИПС), а используемый светоприемник – ПЗС матрица EEV42-90 формата 2068x4600 – имеет низкую чувствительность на длинах волн короче 0.42 мкм. Два последних обстоятельства заметно снижают возможности БТА в исследовании 2-мерного поля скоростей звезд в балджах галактик – тематике, привлекающей серьезный интерес астрономов в мире.

За последние годы редукторы светосилы дополняются поляриметрическими режимами наблюдений, что позволяет реализовать наблюдения слабых звездообразных и протяженных объектов с умеренным и низким спектральным разрешением. Этот метод исследований для таких объектов, как активные ядра галактик, сверхновые, сильно замагниченные белые карлики и другие, позволяет во многих случаях получать определяющую информацию о природе регистрируемого излучения, изучать их геометрические и магнитные характеристики. Одной из самых серьезных причин, ограничивающих точность поляризационных наземных наблюдений, является влияние атмосферы Земли. Простое изменение прозрачности не влияет на точность измерений, однако вариация параметров переноса излучения в атмосфере приводит к изменению коэффициента деполяризации в различных экспозициях. Для учета влияния атмосферы Земли и предполагается использовать в наблюдениях двулучевую поляризационную призму Волластона.

Изображения астрономических объектов в различных линиях излучения являются важным исходным материалом для изучения физического состояния ионизованного газа. Традиционный способ получения таких изображений — съемка в нескольких узкополосных фильтрах, центрированных на требуемую эмиссионную линию и на континуум рядом. Существенный недостаток этой методики — требуется иметь большой набор фильтров для наблюдений объектов с разной лучевой скоростью. С другой стороны, фильтры должны быть достаточно узкими, что бы избежать «загрязнения» эмиссией от соседних линий. Наиболее оптимальным решением проблемы получения изображений в отдельных линиях на УНУ БТА представляется использование сканирующего интерферометра Фабри-Перо (ИФП) на низких порядках интерференции ( $n \approx 20$  вместо принятого для детальных спектральных наблюдений  $n = 200-700$ ). Такая концепция хорошо известна в мировой практике как настраиваемый фильтр (tunable filter). Однако реальное его использование в практике астрофизических наблюдений ограничено рядом практических трудностей, связанных с настройкой и эксплуатацией интерферометров с узкими воздушными промежутками. Наилучших результатов с этой техникой смогли добиться на телескопе 3.9 м ААО (Австралия), а с недавнего времени (2011-2012 г.) - на 10-м телескопе GTC (Канарские о-ва). В большинстве остальных случаев (включая аппаратуру на 8-м телескоп SUBARU) применение перенастраиваемых фильтров ограничивается разовыми пробными наблюдениями. Поэтому ввод в эксплуатацию такого прибора на УНУ БТА позволит получать уникальный наблюдательный материал мирового уровня. В САО РАН уже имеется многолетний успешный опыт работы с ИФП. По сочетанию своих основных характеристик (предел детектирования, поле зрения, ширина полосы пропускания) спектрограф с перенастраиваемым фильтром просто не имеет аналогов в России и будет соответствовать по параметрам аналогичным приборам в лучших мировых обсерваториях. Расширение возможностей для наблюдений различных астрофизических объектов (кометы, галактические туманности, молодые звездные объекты, активные галактические ядра и т.п.) позволит активно проводить научные исследования в кооперации как с российскими вузами и институтами, так и с зарубежными научными центрами.

Из вышеизложенного следует, что расширение возможностей за счет внедрения новых режимов работы и увеличение эффективности спектрографа SCORPIO актуально и имеет прямое отношение к повышению эффективности УНУ БТА.

Проблема измерения лучевых скоростей звезд является для звездной спектроскопии центральной уже в течение века. По мере того, как возрастала точность измерения радиальной компоненты движения звезды, астрономы получали представления о: массах звезд, массах звездных скоплений, пульсациях звезд, наличии у звезд маломассивных спутников, включая и планеты. Последняя проблема стала особенно актуальной в последнее десятилетие. Техническая сторона проблемы состоит из двух компонент. Традиционный подход — совершенствование известных технических решений, когда

точность возрастает либо за счет увеличения светособирающих характеристик телескопа (диаметра объектива, просветления оптики), либо за счет повышения характеристик спектрографа, либо за счет снижения потерь при сочетании телескопа и спектрографа. Наряду с развитием этого подхода необходимо проводить поисковые исследования с целью разработки более эффективных методов измерения доплеровских смещений линий.

Спектрографы с оптоволоконным входом для звёздных и планетных исследований на сегодняшний день являются самыми эффективными инструментами, с помощью которых можно проводить высокоточные исследования различных объектов Вселенной. Большинство обсерваторий наиболее развитых стран уже внедрило такие спектрографы в стандартную практику звёздной спектроскопии. По ряду объективных причин российская астрофизика не имеет такого инструмента. Между тем, наличие высокоточного спектрографа с волоконным входом в составе УНУ БТА могло бы привести к существенному качественному скачку в целом ряде уникальных космических исследований. Среди этих исследований наиболее интересными и актуальными в настоящее время являются поиск и исследование внесолнечных планет, исследования следов органического вещества во Вселенной. В этом же ряду находится и целый ряд других актуальных астрофизических задач, которые выполняются средствами астроспектроскопии. Отсутствие высокоточного оптоволоконного астроспектрографа у российской научной общественности фактически вывело российскую астрономию из общемировой дискуссии по некоторым из этих актуальных задач (в частности, по экзопланетным). Создание такого спектрографа качественно изменит ситуацию.

Среди уникальных методов наблюдений, которыми обладает УНУ БТА, следует отметить спекл-интерферометрический комплекс, который позволяет реализовать дифракционное угловое разрешение ( $0.''02$ ) при исследованиях отдельных источников. Его предельные возможности более чем вдвое превышают параметры Космического телескопа им.Хаббла, а десятки работ, опубликованных в ведущих мировых изданиях, неизменно вызывают интерес и цитирование у коллег в стране и за рубежом. До настоящего времени основные спекл-интерферометрические исследования на УНУ БТА проводились в видимом диапазоне спектра, ряд значимых работ, посвященных исследованиям в инфракрасной области спектра, вышли в международной кооперации с учеными Германии, предоставившими приемник ИК-диапазона для разовых наблюдений. Следует отметить, что в последние годы центр тяжести астрофизических исследований все больше смещается в инфракрасный диапазон спектра. Это особенно значимо для задач по исследованию образования молодых звезд в запыленных областях звездообразования, определения параметров так называемых «коричневых карликов» - звезд с крайне низкой температурой, измерению параметров внесолнечных планетных систем. Инструментальные возможности УНУ БТА по получению данных дифракционного качества будут существенно расширены при внедрении приемника ИК-излучения.

### 1.3. Перечень приоритетных направлений развития науки и технологий, в рамках которых работает УНУ

Информационно-телекоммуникационные системы

### 1.4. Основные направления научных исследований, проводимых с использованием УНУ

Выполнение фундаментальных исследований в области астрофизики.

Модернизация телескопа и его узлов.

Разработка и внедрение современных светоприемников и инструментов, новых методов

наблюдений, методов сбора, обработки и хранения полученной на телескопе информации.

#### 1.5. Использование УНУ в мероприятиях по подготовке кадров высшей квалификации

САО РАН имеет лицензию на осуществление образовательной деятельности по послевузовскому образованию по специальности «Астрофизика и звездная астрономия». Среднее ежегодное количество аспирантов составляет 6 человек. Все аспиранты осваивают методы наблюдений на УНУ БТА. Также ежегодно проходит стажировку по методам наблюдений на УНУ около 7 аспирантов ведущих российских вузов и институтов РАН. Ежегодно в организациях астрономического профиля защищается несколько диссертационных работ (от 3 до 6), в которых используются наблюдательные данные, полученные на УНУ БТА.

#### 1.6. Перечень услуг, оказываемых УНУ внешним и внутренним пользователям

Получение спектров ярких звездообразных астрономических объектов с разрешением $R=15000$
Получение спектров протяженных астрономических объектов в диапазоне длин волн 360-1000 нм и средним спектральным разрешением
Получение прямых изображений астрономических объектов с широкополосными (или среднеполосными или узкими интерференционными) фильтрами
Получение 16 одновременных спектров астрономических объектов с перемещаемыми щелями $1.2 \times 18$ угл.сек.
Получение 2D спектроскопии протяженных объектов со сканирующим интерферометром Фабри-Перо
Измерение коэффициента поляризации в спектрах астрономических объектов
Получение астрономических изображений с дифракционным угловым разрешением 0.02 угл.сек.
Измерение интенсивности в четырех широкополосных фотометрических полосах и трех параметров Стокса с временным разрешением до 0.01 мсек
Получение спектров астрономических объектов с разрешением до $R=60000$
Получение спектров протяженных астрономических объектов в диапазоне длин волн 360-1000 нм и средним спектральным разрешением
Получение прямых изображений астрономических объектов в широкополосных фильтрах U, B, V, R, I и узких фильтрах

Получение спектров астрономических объектов в диапазоне длин волн 330-1000 нм с разрешением до  $R=40000$

## Раздел 2. Цель и задачи Программы

### 2.1. Цель программы

Расширение функциональных возможностей и повышение научно-технического уровня работ, проводимых на УНУ БТА до уровня, соответствующего мировому по масштабу, сложности и качеству проводимых научных исследований и обеспечивающего ведущую роль уникальных научных установок в национальной и мировой системах фундаментальных и прикладных исследований, в повышении конкурентоспособности УНУ на рынке исследований и разработок, обеспечение эффективного функционирования УНУ, способствующего развитию базовой организации.

### 2.2. Задачи программы и основные мероприятия, направленные на решение задачи

1. Развитие материально-технической базы УНУ БТА, модернизация комплекса телескопа;
2. Развитие кадрового потенциала УНУ БТА;
3. Обеспечение доступности УНУ БТА для заинтересованных исследователей;
4. Разработка новых методов исследований, совершенствование характеристик уже существующих методов;
5. Получение значительных научных результатов исследований, сопоставимых с мировым уровнем.

## Раздел 3. Мероприятия Программы

### 3.1. Дооснащение объекта научной инфраструктуры необходимыми материалами и оборудованием.

№ п/п	Наименование оборудования (вид материалов)	Единица измерения	Количество	Обоснование необходимости приобретения/ изготовления оборудования и материалов	Номер этапа работ, в котором планируется закупка	Стоимость, млн. руб., из них:	
						Средства субсидии	Средства получателя субсидии
1	Рефлектометр для астрономической оптики	Шт.	1	Необходим для внедрения методики контроля качества рабочей поверхности зеркала БТА в ходе приемки и установки на телескоп	1	0,8	0,4
2	ПЗС-чип EЕV CCD 261-84	Шт.	1	Для создания системы регистрации астрономических данных SCORPIO-II	1	4,3	0,4
3	Поляризационная оптика	Комп.	1	Для дооснащения спектрометра SCORPIO-II	1	0,5	0,2
4	Радиокомпоненты для создания системы регистрации	Комп.	1	Для создания системы регистрации астрономических данных SCORPIO-II на базе CCD 261-84	2	1,0	0,5
5	Сканирующий эталон Фабри-Перо	Шт.	1	Для дооснащения спектрометра SCORPIO-II методом фотометрии в настраиваемых полосах.	2	2,5	0
6	Абсолютный трекер Leica	Шт.	1	Неооходим для проведения метрологических измерений при	1	4,8	0

	AT401/402			установке зеркала в оправе телескопа и его юстировке в ходе эксплуатации			
7	Охладитель на смесевых хладагентах Polycold Compact Cooler	Шт.	2	Для установки в новые и реконструируемые системы регистрации оптического излучения	2	2,0	0
8	Система регистрации ИК-диапазона Raptor OWL	Комп.	1	Для расширения спектрального диапазона метода спекл-интерферометрии	1	2,5	0
9	Четырехканальный паяльно-ремонтный центр с портативным микроскопом	Комп.	1	Предназначен для сборки и ремонта электронного оборудования, контроля качества пайки микросхем с малым шагом и микросхем в корпусах BGA.	2	0,4	0,2
10	Комплект цифровых осциллографов	Комп.	1	Предназначен для отладки малошумящих электронных устройств, а также для работы непосредственно на месте установки фотоприемных устройств.	2	1,0	0,3
11	Набор интерференционных фильтров для видимого и ИК-диапазона	Комп	1	Предназначен для выделения исследуемого спектрального диапазона от 400 до 2500 нм с полуширинами от 2 до 50 нм в методе спекл-интерферометрии.	2	2,0	0
12	Маршрутизатор CISCO UCS C240 Rack Server	Шт.	1	Предназначен для расширения пропускной способности компьютерных сетей на УНУ БТА.	1	0,4	0
13	Система хранения данных VNXe3150	Шт.	1	Необходима для хранения больших потоков данных, поступающих от научных комплексов УНУ	1	1,0	0
14	Коммутаторы 24-порт 3 уровня Гбит Ethernet	Шт.	6	Необходимы для переоснащения компьютерных сетей	1	0,2	0,1
15	Сервер графической обработки данных GS-R22PHL	Шт.	1	Предназначен для ускорения тяжелых вычислительных задач по восстановлению данных спекл-интерферометрии	2	0,8	0,2
16	Монохроматор МДР-41	Шт.	1	Для метрологического обеспечения работ по калибровке светопримной аппаратуры	2	0,7	0,2
<b>ИТОГО</b>						24,9	2,5

Обоснование необходимости приобретения вышеперечисленного оборудования дано в Приложении 1.

### 3.2. Модернизация, содержание и ремонт оборудования УНУ.

№ п/п	Наименование работы	Краткое содержание работы	Ожидаемые результаты выполнения работы	Стоимость, млн. руб., из них:	
				Средства субсидии	Средства получателя субсидии
Модернизация объекта научной инфраструктуры					
1	Модернизация компьютерных сетей УНУ БТА	Для перехода на новые скоростные протоколы связи необходимо проведение работ по замене коммутаторов сети Ethernet, установке	Будет осуществлен переход на новый протокол сети Ethernet, существенно повышена скорость передачи данных, обеспечен удаленный	0,4	0,1

		маршрутизатора, замене серверов общего пользования.	режим наблюдений.		
2	Модернизация исследовательских комплексов УНУ БТА	Будет проведена работа по обновлению управляющей электроники, телевизионного подсмотрного оборудования, систем сбора данных для основных спектральных и фотометрических комплексов УНУ БТА	Основные научные исследовательские комплексы УНУ БТА получают новую вычислительную и микропроцессорную технику для управления и сбора данных. Существующие телевизионные подсмотры УНУ БТА будут модернизированы. В ряде систем сбора данных будет осуществлена замена электронных компонентов – печатных плат, дискретных элементов.	2,5	0,3
3	Модернизация узлов приводного механизма УНУ БТА	Существующие узлы приводов основных осей телескопа работают с 2000 года с минимумом отказов. Тем не менее, конечный срок жизни радиоэлектронных компонентов и средств вычислительной техники требует начать их поэтапную замену – как цифровых управляемых инверторов на осях, так и компьютерной и микропроцессорной техники.	Будет осуществлен переход к новой приводной технике в главных осях управления УНУ БТА, заменено устаревшее компьютерное и микропроцессорное оборудование. После замены приводов будет продлен на 10 лет ресурс работы.	1,5	0,2
4	Модернизация систем энергосбережения и использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ)	На комплексе УНУ БТА с начала 2000-х гг. активно используются системы энергосбережения и использования ВИЭ – солнечные установки, тепловые насосы и др. Необходимо осуществить их модернизацию для более рационального и эффективного использования природных ресурсов.	Будут модернизированы тепловые насосы, установленные на УНУ БТА, увеличена мощность солнечных энергетических установок, смонтированных на площадке УНУ БТА. В результате это даст существенную экономию энергоресурсов.	6,0	0,5
Ремонт объекта научной инфраструктуры					
1	Ремонт оптоволоконной линии связи УНУ БТА – пос.Нижний Архыз, линий связи с фокусами УНУ БТА	Оптоволоконная линия связи, соединяющая аппаратуру в фокусах УНУ БТА и пос.Нижний Архыз, где расположена основная научная инфраструктура, успешно функционирует почти 10 лет. Необходимо осуществить замену оптического волокна, установить новые медиаконверторы.	Новая оптоволоконная линия связи обеспечит надежную связь научного оборудования с внешним миром на ближайшие 10-15 лет.	1,5	0,1
2	Ремонт камеры алюминирования ВУАЗ-6	Должна быть выполнена замена узлов вакуумного	После ремонта блоков камеры ВУАЗ-6 будут значительно улучшены его	0,5	0,1

		оборудования и системы испарителей для достижения большей однородности и воспроизводимости нанесения алюминиевого слоя.	технические характеристики, что позволит гарантировать эффективность отражающего слоя.		
Содержание объекта научной инфраструктуры					
1	Электроснабжение системы активного охлаждения подкупольного пространства.	Система активного охлаждения подкупольного пространства позволяет существенно смягчить температурные броски при перепадах наружной температуры. Ее работа сопряжена с повышенным расходом электроэнергии.	В итоге работ по системе будет достигнуто снижение расходов электроэнергии.	1,0	0,2
2	Мойка главного зеркала	Рабочая поверхность Главного зеркала нуждается в периодической чистке от загрязнения.	Аттестация зеркала после ежегодной чистки показывает повышение эффективности отражающего слоя на 7-8%.	0,2	0
3	Алюминирование главного зеркала	Для восстановления отражательных свойств главного зеркала необходимо с периодом в 5-7 лет проводить процедуру снятия старого и нанесения свежего слоя. Работы планируются на 2015 год.	Проведенные работы позволяют полностью восстановить отражательные свойства Главного зеркала и дополнительной оптики УНУ БТА.	1,0	0,1
<b>ИТОГО</b>				<b>14,6</b>	<b>1,6</b>

### 3.3. Разработка и освоение новых методик исследований или измерений.

№ п/п	Наименования разрабатываемых (осваиваемых) методик исследований или измерений	Ожидаемые результаты использования разработанных/освоенных методик	Номер этапа выполнения мероприятия	Стоимость, млн. руб., из них:	
				Средства субсидии	Средства получателя субсидии
1	Методика интегральной полевой спектроскопии для спектрографа первичного фокуса SCORPIO	Будет реализован метод панорамной спектроскопии с высокими пространственным разрешением и улучшенной эффективностью в синей части спектра	1	1,0	0,1
2	Методика спектрополяриметрических исследований с призмой Волластона двойного лучепреломления для спектрографа первичного фокуса SCORPIO	Будет втрое повышена точность спектрополяриметрических измерений и вдвое уменьшено время, необходимое для их проведения.	3	0,4	0,1
3	Методика проведения наблюдений с перестраиваемым фильтром в первичном фокусе.	Впервые в стране будет реализован метод фотометрии объектов в поле зрения УНУ БТА с предельным спектральным разрешением, откроется возможность решения принципиально новых задач.	3	0,2	0,1
4	Методика измерений коэффициента отражения поверхности Главного зеркала УНУ БТА	Будет реализован способ одновременного измерения коэффициента отражения Главного зеркала УНУ БТА в 7 спектральных полосах от ультрафиолета до ИК-диапазона с точностью лучше 0.5%.	1	0,1	0

5	Методика спектроскопии сверхвысокого разрешения с применением интерференционно-дифракционного спектрографа	Освоение методики позволит реализовать рекордное для больших телескопов спектральное разрешение с сохранением эффективности по свету, будет заложена база для создания спектрографов нового поколения.	3	0,4	0.1
6	Методика спекл-интерферометрических исследований в инфракрасном диапазоне	Впервые в стране будут начаты систематические исследования астрофизических объектов в ИК-диапазоне вплоть до длины волны 1.7 мкм с дифракционным угловым разрешением.	3	1,0	0,2
7	Методика спектральных исследований высокого разрешения со спектрографом с оптоволоконным входом.	Будет продемонстрирована возможность установки на УНУ БТА спектрографа высокого разрешения с оптоволоконным входом.	3	6,0	1,0
<b>ИТОГО</b>				9,1	1,6

#### 3.4. Метрологическое обеспечение функционирования УНУ.

№ п/п	Наименование мероприятия	Ожидаемые результаты выполнения мероприятия	Номер этапа выполнения мероприятия	Стоимость, млн. руб., из них:	
				Средства субсидии	Средства получателя субсидии
1	Сертификация анализатора Шака-Гартмана для проведения цеховых измерений качества поверхности заготовки Главного зеркала	Сертификация позволит осуществить гарантированный независимый контроль качества поверхности заготовки Главного зеркала как во время цеховых испытаний в ОАО «ЛЗОС», так и после процедуры алюминирования и установки его на телескоп	1	0,6	0.05
2	Проверка и калибровка абсолютного трекера Leica	Процедура проверки и калибровки позволит осуществить надежные высокоточные позиционные измерения в процессе установки Главного зеркала в оправу телескопа и в ходе его дальнейшей эксплуатации.	2	0.2	0.05
3	Калибровка приемников излучения видимого и инфракрасного диапазонов	Осуществление калибровки позволит гарантировать надежные энергетические привязки получаемых на УНУ БТА астрофизических данных.	3	1,0	0.1
<b>ИТОГО</b>				1,8	0.2

#### 3.5. Повышение доступности УНУ для внешних и внутренних пользователей

№ п/п	Наименование мероприятия	Краткое содержание мероприятия	Ожидаемые результаты выполнения мероприятия	Номер этапа выполнения мероприятия	Стоимость, млн. руб., из них:	
					Средства субсидии	Средства получателя субсидии
1	Расширение возможностей по доступу по сети INTERNET	Планируется реорганизация сайта УНУ БТА с целью облегчения доступа к его информационным ресурсам	Реорганизованный сайт облегчит доступ внешних пользователей, обновляемая информация позволит увеличить количество посещений.	3	0.2	0
2	Проведение ежегодных конференций пользователей УНУ	Заседания программного комитета УНУ сопровождается	Освещение работы таких конференций раскрывает для потенциальных	3	0,2	0

	БТА	конференциями пользователей, на которых заслушиваются результаты их исследований	пользователей возможности оборудования УНУ			
3	Проведение занятий с преподавателями вузов и школ региона	Сотрудниками УНУ регулярно проводятся занятия по повышению квалификации преподавателей вузов и школ региона.	Повышение уровня знаний преподавателей, преподавания астрономии в рамках дополнительной программы.	3	0,1	0
4	Выпуск рекламной продукции для широкого круга читателей	Сотрудниками УНУ периодически проводится выпуск рекламных изданий, описывающих работу УНУ БТА	Рост осведомленности населения о работе УНУ БТА	3	0,2	0
5	Размещение информации в СМИ	Регулярное размещение в средствах массовой информации данных о работ УНУ	Рост престижа науки в целом и УНУ БТА	3	0,1	0
<b>ИТОГО</b>					0,8	0

### 3.6. Расширение перечня оказываемых с использованием УНУ услуг

№ п/п	Наименование мероприятия	Краткое содержание мероприятия	Ожидаемые результаты выполнения мероприятия	Номер этапа выполнения мероприятия	Стоимость, млн. руб., из них:	
					Средства субсидии	Средства получателя субсидии
1	Ввод в эксплуатацию новых методов исследований с универсальным спектрографом SCORPIO	Разработка и внедрение новые методы исследований с универсальным спектрографом SCORPIO: метод интегральной полевой спектроскопии, метод спектрополяриметрических исследований с двулучепреломляющей призмой Волластона, метод получения снимков в узких фильтрах с помощью настраиваемого фильтра	Должны быть введены в опытную эксплуатацию 3 новых метода исследований с универсальным спектрографом SCORPIO	3	1,6	0,3
2	Расширение диапазона спекл-интерферометрических исследований до 1,7 мкм.	Адаптация метода спекл-интерферометрических исследований для работ в инфракрасной области спектра.	Благодаря использованию нового приемника ИК-излучения станут возможными исследования с дифракционным угловым разрешением на длинах волн до 1,7 мкм.	3	1,0	0,2
3	Апробация методов повышения разрешения звездных спектрографов УНУ БТА	Проработка технических решений для повышения спектрального разрешения и повышения эффективности спектральных исследований.	Будут разработаны и опробованы в реальных условиях методы повышения спектрального разрешения и точности позиционных	3	6,4	1,1

			измерений на звездных спектрографах УНУ БТА.			
<b>ИТОГО</b>					<b>9,0</b>	<b>1,6</b>

### 3.7. Развитие внутренней и международной кооперации УНУ

№ п/п	Наименование мероприятия	Краткое содержание мероприятия	Ожидаемые результаты выполнения мероприятия	Номер этапа выполнения мероприятия	Стоимость, млн. руб.	
					Средства субсидии	Средства получателя субсидии
1	Совместная разработка для УНУ БТА метода дифференциальной спекл-интерферометрии (УНУ БТА – Франция)	На УНУ БТА проходит лабораторное тестирование прибор, созданный французскими учеными, использующий метод дифференциальной спекл-интерферометрии. В случае успешного завершения работ можно планировать совместные исследования.	Ввод в эксплуатацию уникального метода дифференциальной спекл-интерферометрии, не имеющего аналогов в мире.	3	0,3	0
2	Создание новых систем регистрации оптического излучения в интересах российских и зарубежных заказчиков (УНУБТА – Армения, УНУ БТА-ИНАСАН)	Силами коллектива УНУ БТА планируется создание ряда малошумящих систем регистрации оптического излучения в интересах заказчиков из России и из-за рубежа	Будут созданы малошумящие системы регистрации изображений на основе ПЗС-систем.	3	1,0	0
3	Проведение совместных научных исследований в интересах заказчиков из российских и зарубежных организаций	Сотрудниками УНУ БТА выполняются исследования по заявкам российских и зарубежных ученых.	Развитие российской и международной кооперации по результатам совместных исследований	3	10,0	0,5
<b>ИТОГО</b>					<b>11,3</b>	<b>0,5</b>

### 3.8. Развитие кадрового потенциала УНУ

№ п/п	Наименование мероприятия	Краткое содержание мероприятия	Ожидаемые результаты выполнения мероприятия	Номер этапа выполнения мероприятия	Стоимость, млн. руб., из них:	
					Средства субсидии	Средства получателя субсидии
1	Подготовка специалистов высшей квалификации с использованием ресурсов УНУ БТА	Использование инструментальных возможностей УНУ БТА для подготовки специалистов высшей квалификации астрономического профиля в рамках аспирантуры САО	Подготовка 2-3 специалистов астрономического профиля ежегодно.	3	0,1	0,1
2	Подготовка технических	Подготовка технических	Подготовка 2-3 технических	3	0,2	0,1

	специалистов для нужд УНУ БТА	специалистов для нужд УНУ БТА в рамках базовых кафедр, целевого обучения молодых специалистов, инженерных практик.	специалистов для работы на УНУ БТА			
3	Организация студенческих практик	Проведение ознакомительных и производственных практик для студентов вузов астрономических специальностей	Содействие профессиональной ориентации студентов с целью дальнейшей подготовки через аспирантуру САО и вузов в интересах УНУ БТА	3	0.1	0.1
4	Содействие в организации и проведении астрономических олимпиад и школ	Содействие в проведении школьных астрономических олимпиад и школ	Отбор способной молодежи для последующего поступления в вузы астрономического профиля.	3	0.1	0.1
<b>ИТОГО</b>					<b>0.5</b>	<b>0.4</b>

#### Раздел 4. Контроль за реализацией Программы

##### 4.1. Порядок контроля за ходом реализации Программы со стороны руководителя УНУ

Контроль за ходом реализации Программы осуществляется через механизм регулярной отчетности ответственных исполнителей работ перед руководителем на совещаниях о ходе реализации Программы с периодичностью, определяемой Соглашением о выделении субсидий.

##### 4.2. Порядок контроля за ходом реализации Программы со стороны базовой организации

Контроль за ходом реализации Программы осуществляется через механизм отчетности руководителя УНУ в Ученом и научно-техническом советах САО РАН с периодичностью, определяемой Соглашением о выделении субсидий.

#### Раздел 5. Результаты реализации Программы, оценка ее эффективности

##### 5.1. Ожидаемые значения показателей реализации Программы развития УНУ на 2014-2015 годы.

№ п/п	Наименование показателя	Ожидаемые значения в 2014 году	Ожидаемые значения в 2015 году
1	Удельный вес сотрудников УНУ, имеющих ученую степень, %	41	43
2	Удельный вес времени работы УНУ в интересах внешних пользователей в общем объеме фонда рабочего времени УНУ, %	57	59
3	Количество организаций-пользователей за год и/или организаций-участников проводимых совместных экспериментов, ед.	23	24
4	Публикационная активность (статьи, подготовленные по результатам исследований, проведенных с использованием УНУ в научных журналах,	38	39

	индексируемых в базах данных Web of Science или Scopus), публ. в год		
5	Удельный вес исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности исследователей, выполняющих работы на уникальных научных установках, %	36	36

## 5.2. Индикаторы и показатели развития УНУ

№ п/п	Наименование параметра (характеристики) УНУ	Значения параметров (характеристик) УНУ на момент подачи заявки	Ожидаемые значения основных параметров (характеристик) УНУ в результате реализации Программы развития УНУ	Значения параметров (характеристик) лучших мировых аналогов УНУ
1	Эффективность панорамных методов спектроскопии низкого разрешения	3-5%	10-15%	12-20%
2	Точность спектрополяриметрических измерений	0.3%	0.1%	0.2%
3	Спектральное разрешение при панорамных исследованиях	50А	10-20А	10-20А
4	Точность измерения лучевых скоростей звезд методами звездной спектроскопии	100 м/с	10 м/с	5 м/с
5	Спектральный диапазон спекл-интерферометрических исследований	0.5-0.9 мкм	0.4-1.7 мкм	0.4-2.5 мкм
6	Точность определения коэффициента отражения зеркального слоя	1.5%	0.5%	0.5%

## Раздел 6. Концепция развития УНУ на период до 2020 года

### 6.1. Создание новых наблюдательных средств

Задачу создания новых наблюдательных средств для УНУ БТА следует рассматривать как первоочередную в рамках проектов технического развития. Ее выполнение позволит поддержать в ближайшее десятилетие высокий уровень проводимых на БТА астрофизических исследований, сохранив ее уникальные свойства перед конкурирующими установками в России и за рубежом. Основные работы планируются по расширению рабочего спектрального диапазона телескопа в область инфракрасного и субмиллиметрового диапазонов, по созданию сложных высокотехнологичных измерительных комплексов и крупноформатных приемников оптического излучения.

Настоящая концепция предполагает выполнение следующих работ до 2020 года:

- Разработка охлаждаемого спектрометра инфракрасного диапазона на базе детектора HAWAII-2 с возможностью перехода к применению более эффективного приемника излучения типа HAWAII-4RG. На первом этапе планируется использование существующего приемника, а основные расходы будут предназначены для создания охлаждаемого корпуса прибора и системы сбора. Срок выполнения первого этапа – 2015-2016 гг. Соглашения с основными исполнителями (в частности, с ИПФ РАН) уже подписаны. Стоимость работ – 12 млн. рублей. На втором этапе (2018-2020 гг.) планируется замена приемника излучения стоимостью в 25-30 млн. рублей.
- Создание мозаичных детекторов и приемников суб-мм диапазона в 2016-2020 гг. планируется выполнять на основе собственных разработок и совместных исследований с учеными ИРЭ РАН и ИПФ РАН. На эти разработки планируется израсходовать до 50 млн. руб. В итоге УНУ БТА будет оснащен приемниками суб-мм диапазона, в стране в этом диапазон исследования пока не проводятся. После завершения работ ряд астрофизических комплексов будут оснащены мозаичными приемниками суб-мм диапазона, которые существенно увеличат рабочее поле телескопа.
- Создание средств адаптивной оптики для частичной компенсации атмосферных искажений. Эти работы планируются на весь период - до 2020 года. Первый этап – исследование параметров атмосферы и микротурбулентности в башне УНУ БТА – должен быть начат совместно с ИОА СО РАН в 2015 году. Дальнейшие работы с привлечением ИПЛИТ РАН и НПО «Луч» (г. Подольск) планируются на 2016-2020 гг. Общая стоимость работ оценивается в 100 млн. рублей и должна завершиться созданием систем адаптивной оптики для компенсации атмосферных искажений в фокусах телескопа, сначала – в несмитовских, а затем – и в первичном.
- Планомерная замена приемников оптического излучения по мере их морального и физического старения, с постепенным переходом к мозаичным приемникам формата вплоть до 10Кх10К. Собственно чипы по прежнему планируется закупать в Великобритании (E2V), а все остальные работы – проводить в Российской Федерации совместно со специалистами ИПФ РАН (Н.Новгород). Стоимость таких работ может достигать 20 миллионов рублей ежегодно.
- Постройка нового широкоугольного оптического телескопа с диаметром зеркала 3-4 метра рядом с расположением УНУ БТА. Цель проекта – обеспечение астрофизических исследований в широких полях (до 1.5 градусов), поддержка задач УНУ

БТА, апробация новых вариантов наблюдений. Преимущества такого решения – использование готовой инфраструктуры и кадрового потенциала САО РАН. Проект предполагается вести в кооперации с вузами Юга России, так что он будет решать и образовательные цели по подготовке специалистов. Оценочная стоимость проекта – около 1 млрд. руб., основные заказы будут размещены на отечественных предприятиях. Срок выполнения проекта – 2016- 2020 гг.

## **6.2. Решение кадровой проблемы УНУ БТА**

Цель работы: обеспечить успешное решение кадровой проблемы в условиях старения основного кадрового ядра САО.

Основные задачи:

- Подготовка молодых специалистов-астрофизиков: работа со студентами ведущих вузов страны – летние практики и стажировки, поддержка аспирантов.
- Подготовка инженерного персонала: укрепление связей с техническими вузами Юга России – практики, стажировки, проведение НИР с кафедрами вузов.
- Повышение престижности научных и инженерных специальностей

Ожидаемый результат: ежегодная подготовка 1-2 специалистов астрономического профиля, 1-2 инженерных специалистов.

## **6.3. Развитие энергосберегающих технологий**

Цель работы: широкое внедрение возобновляемых источников энергии в САО, содействие региональным программам.

Основные задачи:

- Дальнейшее создание установок нетрадиционной энергетики в САО, обеспечивающее реальную экономию энергоресурсов;
- Использование научно-технического потенциала САО для создания демонстрационного полигона и подготовки специалистов в этой области.

Ожидаемый результат: снижение реального энергопотребления на 10-15% по сравнению с 2014 годом.

## **6.4. Развитие инновационных технологий.**

Цель работы: создание условий для производства в промышленных масштабах высокотехнологичных изделий, разрабатываемых в научных лабораториях САО РАН.

Ожидаемый результат: передача технологий в предприятия реального сектора, проведение авторского надзора над их внедрением.

### **6.5. Развитие информационного обеспечения деятельности УНУ БТА.**

Цель работы: использование современных разработок в области информатики для полноценного решения задач дистанционного доступа, как к приборам УНУ БТА, так и к архивам научных данных, полученных на них.

Основные задачи:

- Реконструкция компьютерных сетей для обеспечения скоростного доступа к оборудованию УНУ БТА, обеспечение доступа в реальном времени для пользователей из других организаций;
- Создание систем хранения данных, получаемых на оборудовании УНУ БТА емкостью до 100 Тбайт;
- Внедрение специализированных вычислительных средств для обработки больших потоков данных с общей мощностью до 10 терафлопс.

## Приложение 1.

### Обоснования для закупки оборудования

1. Рефлектометр для астрономической оптики СТ7 производства компании Otto Pregizer Optic (Бельгия) будет служить основным прибором для оценки отражающей способности Главного зеркала УНУ БТА после его алюминирования и установки на телескопе. В настоящее время в САО РАН используется прибор собственной разработки, работающий только в одной длине волны. Приобретение рефлектометр f СТ7 позволит начать одновременные измерения в семи длинах волн сразу с улучшенной до 0.5% точностью измерений. Это существенно при оценке отражающих свойств зеркала в синей и красной частях спектра, где планируется повысить эффективность использования УНУ БТА.

2. ПЗС-детектор CCD261-84 производства мирового лидера в области астрономических систем регистрации изображений E2V technology (Великобритания) – один из наиболее оптимальных вариантов для создания высокоскоростной малошумящей системы накопления астрономических данных. Благодаря высокому квантовому выходу во всем оптическом диапазоне спектра (не ниже 70% от 400 до 900 нм) и отсутствию помех из-за эффектов интерференции созданная система будет использоваться на нескольких научных приборах, от ультрафиолетового до инфракрасного диапазона.

3. Для развития методики спектрополяриметрических исследований, успешно ведущихся на УНУ БТА, необходимо приобретение уникальных оптических кристаллов исландского шпата. Уникальность обусловлена как высокими требованиями к их чистоте

и однородности, так и к их габаритам, которые крайне редко встречаются в природе. Предприятие «Элан» (С.-Петербург) готово предоставить такие образцы для последующей обработки.

4. Для создания на систем регистрации оптического излучения собственной разработки на базе чипа CCD261-84 необходимо осуществить закупку комплекта электронных компонентов зарубежного производства, характеризующихся высокими точностными и эксплуатационными параметрами.

5. Разработанный и изготовленный в CAO РАН многорежимный спектрограф SCORPIO-II предусматривает использование в коллимированном пучке сканирующих пьезоэлектрических интерферометров ET-50. Для разработки методики получения снимков с перестраиваемым фильтром задачи планируется приобрести в фирме IC Optical Systems Ltd (Великобритания) интерферометр с воздушным промежутком 6.5 мкм. Это дает порядок интерференции  $n=20$  на длине волны 656 нм, что соответствует свободному от перекрытий порядков диапазону  $\Delta\lambda=32$  нм и полуширине контура  $\text{FWHM}=1.6-2.0$  нм. Пока будут выполняться изготовление и доставка прибора (3-4 месяца) в CAO РАН будут проведены работы по модернизации существующего программного обеспечения для управления наблюдениями и обработки получаемых данных. Важно, что в CAO РАН уже имеется контроллер CS-100, необходимый для настройки и дистанционного управления настраиваемым фильтром. Это позволит практически сразу по прибытию прибора провести лабораторные испытания и начать наблюдения на УНУ БТА.

6. Проведение высокоточных работ по установке зеркала в оправу УНУ БТА, его юстировке и последующем регулярном контроле требует применения современных высокоточных измерительных средств. Абсолютный трекер Leica AT401/402 запланирован для решения таких задач на ближайшие годы. В CAO есть обученные специалисты и имеется опыт использования подобных приборов.

7. Охладитель на смесевых хладагентах Polycold Compact Cooler приобретается для создания новых систем регистрации оптического излучения, не нуждающихся в периодической дозаправке. Система замкнутого цикла уже апробирована в условиях реальных наблюдений и показала хорошие результаты. В ходе проведения работ планируется включение таких охладителей в состав действующих на УНУ систем.

8. В качестве системы регистрации спекл-интерферометра в ИК-диапазоне оптимальным является использование системы регистрации Raptor OWL VIS-SWIR Digital с параметрами:

Количество элементов	640 x 512
Размер элемента	15 x 15 мкм
Кадровая частота	10 – 120 Hz
Шум считывания	< 50 e-
Квантовая эффективность в максимуме	- более 75%.
Рабочий диапазон	– от 0.4 до 1.7 мкм.

Предлагаемая система также оснащена скоростным интерфейсом Cameralink, что существенно ускоряет процесс оцифровки и передачи изображений.

9. Микропроцессорная паяльная станция с портативным видеомикроскопом Mobil score Kit 3 и программным обеспечением производства одного из мировых лидеров в этой области - ERSA Soldering Tools, Германия – приобретается для монтажа и демонтажа сложных SMD компонентов, в том числе и в корпусах BGA. Измерительно-аналитическое ПО с базой данных о дефектах предназначено для работы совместно с Mobil score Kit 3. . Четырехканальная паяльно-ремонтная антистатическая станция с унифицированным блоком управления (500 Вт), укомплектованная миниатюрным паяльником i-Tool с пиковой мощностью 150 Вт, миниатюрным термофеном Air-S (200 Вт), миниатюрным мощным термпинцетом ChipTool-VARIO (две демонтажные вставки с интегрированными нагревателями по 40 Вт) и вакуумным термоотсосом X-Tool (120 Вт).

Разработка современных высокопроизводительных систем требует внедрения самых современных технологий изготовления печатных плат и радиоэлектронных компонентов. Необходима для дооснащения рабочих мест инженеров-разработчиков систем регистрации изображений.

10. Комплект цифровых запоминающих осциллографов фирмы Tektronix (США) с 4 каналами регистрации, полосой пропускания вплоть до 1 ГГц необходимы для разработки и отладки радиоэлектронных узлов и систем, обеспечивающих работу высокоскоростных систем регистрации изображений, обеспечивающих использование современных стандартов передачи данных с минимальными искажениями.

11. Приобретаемый набор интерференционных фильтров предназначен для изготовления инфракрасного спектрофотометра и спекл-интерферометра БТА. Поскольку все детали прибора будут охлаждаться вплоть до температур в -100С, а работа узлов выполняется в вакуумированном объеме, то к этим фильтрам выдвигаются особые требования. Подобное оборудование в нашей стране не изготавливается, большинство астрономических телескопов оснащено фильтрами производства компании Andover (США).

12,14. Маршрутизатор CISCO UCS C240 Rack Server предназначен для реконструкции компьютерных сетей, соединяющих научные комплексы УНУ БТА с местами анализа и обработки данных. Для их дооснащения и перевода на более скоростной Гбит Ethernet IPv6 потребуется также приобретение 24-портовых коммутаторов 3 уровня. Проведенная замена позволит полностью обеспечить потребности в передаче нарастающих потоков научной информации.

13. В настоящее время суточный объем информации, получаемой на УНУ БТА, превышает несколько гигабайт. Для надежного хранения научных архивов, обработки получаемых данных необходимо расширение существующих систем хранения. В настоящее время их емкость составляет 4 Тбайта, что явно недостаточно уже сегодня. Система хранения данных VNХе3150 емкостью в 36 Тбайт, позволит решить проблемы хранения данных на ближайшие 2-3 года.

15. Обработка больших массивов научной информации, получаемых со спекл-интерферометром УНУ БТА, сейчас ведется на мощных компьютерах общего назначения. Тем не менее, время анализа данных сейчас составляет дни и недели, что явно недостаточно при анализе быстротекущих процессов. Выход заключается в использовании для решения специализированных графических серверов, таких, как, например, GS-R22PHL производства GIGABYTE (Тайвань), дающий многократный выигрыш при проведении тяжелых компьютерных вычислений. У специалистов САО РАН уже есть опыт в программировании таких специализированных систем.

16. Фотометрические, спектрофотометрические и другие методы оптической астрономии нуждаются в применении калиброванных по спектральной чувствительности приемников изображения оптического и инфракрасного диапазонов, а также различных оптических систем, элементы которых должны контролироваться на спектральное пропускание. На 6-м телескопе САО РАН имеется значительный парк ПЗС-систем, , ведутся разработки новых ПЗС-систем и оптических приборов, начаты работы по созданию приемной аппаратуры инфракрасного диапазона. Для метрологического обеспечения указанной аппаратуры требуется монохроматор МДР-41, являющийся источником монохроматического излучения в широком спектральном диапазоне и производимый ОКБ «Спектр» (С.-Петербург). Рабочий диапазон прибора 200-25000 нм охватывается сменными дифракционными решетками. Монохроматор имеет высокие характеристики по предельно разрешимому спектральному интервалу и воспроизводимости по шкале длин волн.