

ПРОВЕДЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ АСТРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОИСКУ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РОССИЙСКО-УЗБЕКСКИХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ПУНКТОВ В РАМКАХ СОЗДАНИЯ РОССИЙСКОЙ НАЗЕМНОЙ СЕТИ ОПТИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ

Информация о проекте «Проведение комплексных астроклиматических исследований по поиску перспективных российско-узбекских астрономических пунктов в рамках создания российской наземной сети оптических телескопов» (соглашение № 075-15-2021-962 от 23.09.2021, внутренний номер соглашения: 13.2251.21.0027), выполняемом в рамках обеспечения реализации программы двух- и многостороннего научно-технологического взаимодействия, предусмотренного мероприятием подпрограммы 4 «Формирование и реализация комплексных научно-технических программ по приоритетам Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, а также научное, технологическое и инновационное развитие по широкому спектру направлений» государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации».

Период выполнения: 23.09.2021 – 31.12.2021 гг.

Получатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия (ИНАСАН)

Иностранный партнер: Астрономический институт имени Улугбека Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Республика Узбекистан (АИ АН РУз)

Ключевые слова: НАЗЕМНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СЕТЬ, ТЕСТИРОВАНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ПУНКТОВ, АСТРОКЛИМАТ, КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЯ, АТМОСФЕРНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ, DIMM-МЕТОД, ДАТЧИК ВОЛНОВОГО ФРОНТА

Цель проекта

Разработка, создание, проведение испытаний и подготовка к установке макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан». Макет предназначен для проведения комплексных астроклиматических исследований по поиску перспективных астрономических пунктов на территории Республики Узбекистан в рамках создания российской наземной сети оптических телескопов. Макет планируется использовать для проведения долгосрочных комплексных исследований астроклимата в двух перспективных пунктах Республики Узбекистан – на плато Суффа (место расположения Международной радиоастрономической обсерватории Суффа с радиотелескопом RT-70) и плато Майданак (место расположения Майданакской астрономической обсерватории АИ АН РУз).

В рамках Проекта выполнялись следующие основные задачи:

- 1) Разработка и изготовление макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан».
- 2) Разработка программного обеспечения для получения, обработки, хранения и передачи данных, получаемых с помощью макета.
- 3) Подготовка эскизного проекта колонны для установки макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан».
- 4) Проведение астроклиматических наблюдений по исследованию экстинкции и яркости фона ночного неба на территории Республики Узбекистан.

При выполнении работ получены следующие основные результаты:

1. Проведен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему в рамках выполнения проекта.
2. Разработан макет «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан». Созданная эскизная конструкторская документация на макет приложена к отчету.
3. Изготовлен действующий макет «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан».
4. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для получения, обработки, хранения и передачи данных, получаемых с помощью макета.

5. Разработаны программа и методика проведения испытаний макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан» и программного обеспечения для получения, обработки, хранения и передачи данных, получаемых с помощью макета.
6. Проведены и получены результаты испытаний макета и созданного программного обеспечения.
7. Проведены астроклиматические наблюдения по исследованию экстинкции и яркости фона ночного неба на территории Республики Узбекистан (работа выполнена Иностранным партнером АИ АН РУз).
8. Проведена обработка полученных наблюдательных данных экстинкции и яркости фона ночного неба на территории Республики Узбекистан (работа выполнена Иностранным партнером АИ АН РУз).
9. Подготовлена эскизная проектная документация в составе Пояснительной записки и чертежа общего вида колонны для установки макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан» (работа выполнена Иностранным партнером АИ АН РУз).

Описание полученных основных результатов проекта

1) Проведен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему в рамках выполненного Проекта. Обзор включает 37 использованных источников. В обзоре кратко изложены и обсуждены основные научно-исследовательские и конструктивно-методические проблемы, относящиеся к проблеме исследования астроклимата, тестирования и выбора перспективных мест. В обзоре кратко обсуждены уже созданные и апробированные мировым астроклиматическим сообществом астроклиматические разработки и приборы, показаны их возможности и ограничения. В обзоре излагается и обосновывается выбранный для выполнения Проекта подход – создание датчика волнового фронта Шака-Гартмана на основе оригинальной конструкторской разработки. Также в обзоре приведено краткое изложение физико-математических подходов и алгоритмов программного обеспечения, лежащих в основе получения астроклиматических параметров с применением созданного ДВФ Ш-Г.

2) Проведена разработка макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан». Макет представляет собой полнофункциональное наблюдательное оборудование астроклиматического поста. Макет полностью разработан исполнителями Проекта. Макет предназначен для задач измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан. В состав макета входит следующее основное оборудование: Телескоп системы Ричи-Кретьена GSO RC12 с апертурой 305 мм; Монтировка Юптрон СЕМ120; Датчик волнового фронта Шака-Гартмана (ДВФ Ш-Г); Модуль управления астроклиматическим комплексом (модуль типовой, используемый в проектах роботизированных обсерваторий ИНАСАН); Метеокомплекс, включая камеру всего неба (метеокомплекс типовой, используемый в проектах роботизированных обсерваторий ИНАСАН); Колонна телескопа высотой 1470 мм (колонна проектируется и представляется в Аннотационном отчете Иностранного партнера). Приведены общие виды, фотографии и описание основного оборудования, входящего в состав макета. Дано описание основных характеристик датчика волнового фронта Шака-Гартмана. Подчеркивается, что ДВФ спроектирован на основе общедоступных стандартных оптических элементов и ПЗС-камер серийного производства. Приведена принципиальная схема (3D модель) ДВФ и описана схема его работы (смена и контроль диафрагм, построение и регистрация изображений).

3) Проведено изготовление макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан». Для изготовления макета и входящего в его состав основного оборудования были осуществлены и описаны в разделе следующие работы: изготовлен и испытан типовой модуль управления; изготовлен типовой метеокомплекс; проведено тестирование работоспособности монтировки Юптрон СЕМ120ЕС; изготовлен и протестирован основной элемент комплекса - датчик волнового фронта Шака-Гартмана; разработано

программное обеспечение (ПО) для управления и автоматизации макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан». ПО составлено из компонентов, которые свободно распространяются и безвозмездно предоставляются производителями оборудования. Взаимодействие между отдельными компонентами ПО и макета производится в соответствии с набором стандартов ASCOM. Показаны и кратко обсуждены основные интерфейсы ПО, описаны схемы их взаимодействия с элементами макета и между собой. Изготовленный макет является актуальной и востребованной оригинальной разработкой, изложенной в отдельной научной статье международного коллектива Проекта, направленной для публикации в российское астрономическое издание «Астрофизический бюллетень».

4) Осуществлена разработка алгоритмов и программного обеспечения (ПО) для получения, обработки, хранения и передачи данных, получаемых с помощью макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан». Описаны два основных назначения разработанного и созданного ПО: а) управление основным астроклиматическим устройством (датчик волнового фронта Шака-Гартмана) и б) получение, обработка, хранение и передача данных, получаемых с помощью макета. Созданное ПО состоит из трёх принципиальных и самостоятельных компонент: сервис управления устройством и сбора информации, сервис хранения данных, сервис обработки и визуализации данных. Каждая из компонент реализована собственным набором ПО, которое включает как оригинальные алгоритмы и ПО, созданные в рамках Проекта, так и использование готового ПО с открытым исходным кодом и свободной лицензией. Приведено описание перечисленных компонент ПО. Разработанное ПО является актуальным и востребованным, оно изложено в отдельной научной статье и направлено для публикации в российское астрономическое издание «Астрофизический бюллетень».

5) Разработана программа и методика проведения испытаний макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан» и программного обеспечения для получения, обработки, хранения и передачи данных, получаемых с помощью макета. Разработка программы и методики испытаний макета и ПО проводились с целью максимально охватить все созданное и задействованное оборудование макета, а также максимально полно протестировать взаимодействие между отдельными элементами оборудования макета и отдельными компонентами созданного ПО. Описана принципиальная схема тестирования и испытаний основного астроклиматического устройства – датчика волнового фронта Шака-Гартмана. Испытания по определению основных астроклиматических параметров производилось не только в варианте «оценка снизу» (макет, ДВФ Ш-Г и разработанная для них ПО), но и в варианте «оценка сверху» (она изложена в научной статье, опубликованной в 2021 году международным коллективом Проекта). Расчетные и аналитические испытания в варианте «оценка сверху» проведены с помощью специализированного пакета ПО, разработанного и примененного для реанализа космических данных.

6) Проведены и получены результаты испытаний макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан» и созданного для него программного обеспечения. Основное оборудование макета (телескоп, монтировка, ДВФ Ш-Г) проверялись и испытывались в оптической лаборатории ИНАСАН. В испытаниях ДВФ Ш-Г и разработанного для него ПО проверялась съюстированность, работоспособность и управляемость устройства, а также управление следующих основных его узлов: а) колесо со сменными диафрагмами (подсмотр, диафрагма поля, затвор); б) камера для регистрации гартманограмм; в) контроллер управления сервоприводом для смены диафрагм. Проведены лабораторные испытания ДВФ Ш-Г с искусственной звездой. В качестве искусственной звезды использовался торец оптоволокна диаметром 30 микрон, получена и проанализирована тестовая гартманограмма. Испытания проводились и включали как «оценку снизу», осуществляемую с помощью макета и его ДВФ Ш-Г, так и «оценку сверху», полученную с помощью реанализа данных для двух перспективных пунктов в Республике Узбекистан.

7) Иностраным партнером проведены астроклиматические наблюдения по исследованию экстинкции и яркости фона ночного неба на территории Республики Узбекистан. Для оценок фона ночного неба и экстинкции использовались два 60см телескопа Майданакской астрономической

обсерватории АИ АН РУз Цейсс-600-NT и Цейсс-600-ST. На этих телескопах в период 8-17 декабря 2021 г. были проведены 5-цветные ПЗС-фотометрические наблюдения в фильтрах UBVR_I в соответствии с согласованной программой.

8) Иностранным партнером проведена обработка полученных наблюдательных данных экстинкции и яркости фона ночного неба на территории Республики Узбекистан. По измерениям звезд-референтов и отдельных (беззвездных) участков звездных полей на ПЗС-кадрах получены следующие оценки фона неба и экстинкции на территории Республики Узбекистан: фон неба 20.5 ± 0.2 звездной величины, показатели поглощения $k_U = 0.33 \pm 0.12$, $k_B = 0.21 \pm 0.08$, $k_V = 0.16 \pm 0.06$, $k_R = 0.14 \pm 0.05$, $k_I = 0.08 \pm 0.05$.

9) Иностранным партнером подготовлен эскизный проект колонны для установки телескопа макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Республики Узбекистан». Макет представляет собой полнофункциональное наблюдательное оборудование для астроклиматического поста. Приведен общий вид наблюдательного оборудования.

10) Достигнутые в ходе реализации Проекта результаты опубликованы в 2021 году в 1 научной статье в издании, индексируемом в системе Web of Sciences и Scopus. Также результаты по Проекту были доложены в 2021 г. в 1 устном докладе на 1 международной конференции:

10.1) Одна опубликованная научная статья по теме Проекта:

Artem Yu. Shikhovtsev, Pavel G. Kovadlo, Evgeniy A. Kopylov, Mansur A. Ibrahimov, Shuhrat A. Ehgamberdiev and Yusufjon A. Tillayev. Energy Spectra of Atmospheric Turbulence for Calculating C_{2n} Parameter. I. Maidanak and Suffa Observatories in Uzbekistan // Atmosphere, 2021, 12, 1614-1634 (<https://doi.org/10.3390/atmos12121614>).

10.2) Результаты по Проекту были доложены в 2021 г. в 1 устном докладе на 1 международной конференции (Shikhovtsev A.Y et al., Maidanak Users Meeting, 1-3 Nov 2021, Ulugh Beg Astronomical Institute, Tashkent, Uzbekistan).

Результаты работ, выполненных в рамках реализации настоящего Проекта, могут быть использованы для дальнейших исследований в рамках сотрудничества с Иностранным партнером, а также другими организациями, работающими по сходной тематике. Ожидаемые области внедрения уже опубликованных и других результатов исследований обладают достаточно высоким социальным значением. Сферой их применения являются совместные образовательные, исследовательские и научно-технические программы Российской Федерации и Вьетнама. Работы, выполненные по Проекту, удовлетворяют, в целом, условиям Соглашения и Плана работ научного исследования. Отчетная документация оформлена в надлежащем порядке.