

ПРОВЕДЕНИЕ СОВМЕСТНЫХ РОССИЙСКО-ВЬЕТНАМСКИХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАМКАХ ПРОЕКТА СОЗДАНИЯ РОССИЙСКОЙ НАЗЕМНОЙ СЕТИ ОПТИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ

Информация о проекте «Проведение совместных российско-вьетнамских астрономических исследований в рамках проекта создания российской наземной сети оптических телескопов» (соглашение № 075-15-2021-982 от 13.10.2021, внутренний номер соглашения: 13.2251.21.0051), 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: 13.10.2021 – 31.12.2021 гг.

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

Иностраный партнер: Департамент космических систем, Вьетнамский национальный космический центр Вьетнамской академии наук и технологий, Ханой, Республика Вьетнам (SSD VNSC/VAST; сокращенно на русском языке – ДКС).

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

Цель проекта

Разработка, создание, проведение испытаний и подготовка к установке макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Вьетнама». Макет предназначен для проведения комплексных астроклиматических исследований по поиску перспективных астрономических пунктов на территории Вьетнама в рамках создания российской наземной сети оптических телескопов. Макет планируется использовать для проведения долгосрочных комплексных исследований астроклимата в двух перспективных пунктах Вьетнама – обсерватории ХоаЛак, расположенной недалеко от Ханоя, и обсерватории НаТранг, расположенной в ХонЧонге.

В рамках Проекта выполнялись следующие основные задачи:

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

При выполнении работ на 1-ом (единственном) этапе Проекта 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 Вьетнама». Созданная эскизная конструкторская документация на макет приложена к отчету.
3. Изготовлен действующий макет «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Вьетнама». Акт об изготовлении макета приложен к отчету.
4. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для получения, обработки, хранения и передачи данных, получаемых с помощью макета. Созданная программная документация в

составе Пояснительной записки и Описания применения программного обеспечения приложены к отчету.

5. Разработаны программа и методика проведения испытаний макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Вьетнама» и программного обеспечения для получения, обработки, хранения и передачи данных, получаемых с помощью макета. Программа и методика проведения испытаний макета приложены к отчету.

6. Проведены и получены результаты испытаний макета и созданного программного обеспечения. Протокол испытаний макета и программного обеспечения приложен к отчету.

7. Проведены астроклиматические наблюдения по исследованию экстинкции и яркости фона ночного неба на территории Вьетнама (работа выполнена Иностранном партнером ДКС).

8. Проведена обработка полученных наблюдательных данных экстинкции и яркости фона ночного неба на территории Вьетнама (работа выполнена Иностранном партнером ДКС).

9. Подготовлена эскизная проектная документация в составе Пояснительной записки и комплекта чертежей общего вида опоры купола и колонны для установки макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Вьетнама» (работа выполнена Иностранном партнером ДКС).

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 Вьетнама». Макет представляет собой полнофункциональный астроклиматический пост. Макет поста полностью разработан исполнителями Проекта. Макет поста предназначается для задач измерения качества атмосферных изображений на территории Вьетнама. В состав поста входит следующее основное оборудование: Астрономический купол Astrokupol 2.15 automatic; Опора купола (ферма) и колонна телескопа высотой 5м на виброразвязанном фундаментном основании (опора купола и колонна проектируются и представляются в Аннотационном отчете Иностранного партнера); Телескоп системы Ричи-Кретьена GSO RC12 с апертурой 305 мм; Монтировка Юпротрон СЕМ120 на внутренней колонне; 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). Приведены общие виды, фотографии и описание основного оборудования, входящего в состав поста. 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 Вьетнама». Для изготовления макета и входящего в его состав основного оборудования были осуществлены следующие работы: изготовлен и испытан типовой модуль управления; изготовлен типовой метеокомплекс; проведено тестирование работоспособности монтировки Юпротрон СЕМ120ЕС; приобретён и протестирован астрономический купол Astrokupol 2.15 automatic; 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 Вьетнама». ПО составлено из компонентов, которые свободно распространяется и безвозмездно предоставляется 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 Вьетнама». 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 Вьетнама» 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.

б) Проведены и получены результаты испытаний макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Вьетнама» и созданного для него программного обеспечения. Макет и его основное оборудование (астрономический купол, телескоп, монтировка) проверялись и испытывались как во время приемо-сдаточных испытаний на предприятии-изготовителе (астрономический купол), так и в Звенигородской обсерватории ИНАСАН (Оптическая лаборатория ИНАСАН, испытания телескопа и монтировка, испытания макета в сборе). 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 оптоволоконного кабеля диаметром 30 микрон, получена и проанализирована тестовая гартманограмма.

7) Иностраным партнером проведены астроклиматические наблюдения по исследованию экстинкции и яркости фона ночного неба на территории Вьетнама. Для оценок фона ночного неба и экстинкции использовались 50см телескоп системы Ричи-Кретьена и ПЗС-камера FLI PL 16801

4096 x 4096 K CCD. На этом оборудовании в августе 2021 года были проведены наблюдения 11 объектов из Каталога Мессье.

8) Иностранным партнером проведена обработка полученных наблюдательных данных экстинкции и яркости фона ночного неба на территории Вьетнама. По измерениям звезд-референтов и отдельных участков звездных полей на ПЗС-кадрах для двух объектов M15 и M27 были получены следующие оценки фона неба и экстинкции на территории Вьетнама: фон неба 19.5 ± 1.2 звездной величины, показатели поглощения $k_B = 0.27 \pm 0.12$ и $k_V = 0.19 \pm 0.10$.

9) Иностранным партнером подготовлен эскизный проект опоры купола и колонны для установки макета «Комплекса измерения качества атмосферных изображений на территории Вьетнама». Макет представляет собой полнофункциональный астроклиматический пост. Приведены изображения самого поста в сборе, опоры купола и колонны поста. Эскизный проект опоры купола и колонны согласован с российским партнером.

10) Достигнутые в ходе реализации Проекта результаты опубликованы в 2021 году в 1 научной статье и направлены в печать в виде 1 научной статьи (публикация будет осуществлена в 2022 г.) в изданиях, индексируемых 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 ПНИ:

Artem Y. Shikhovtsev, Pavel G. Kovadlo, Evgeniy A. Kopylov, Mansur A. Ibrahimov and Huy Le Xuan. Astroclimatic Conditions at the Hoa Lac and Nha Trang Astronomical Observatories // Atmosphere, 2021, 12, 1680-1698 (<https://doi.org/10.3390/atmos12121680>).

10.2) Одна подготовленная, направленная и принятая в печать научная статья (публикация будет осуществлена в 2022 г.):

С.А. Потанин, М.В. Корнилов, А.Д. Саввин, Б.С. Сафонов, М.А. Ибрагимов, Е.А. Копылов, М.А. Наливкин, В.Е. Шмагин, Х.Х. Ли, Н.Т. Тао, Комплекс для исследования параметров атмосферы на основе датчика Шака-Гартмана // Астрофизический бюллетень, 2022 (издание индексируется в системе Web of Sciences и Scopus).

10.3) 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, условиям Соглашения и Плана работ научного исследования. Отчетная документация оформлена в надлежащем порядке.