Перспективы реализации наблюдательных программ ГАО РАН в обсерватории Ассы-Тургень

М.Ю. Ховричев[1*], А.А. Архаров[1], В.Ю. Ким[1,2], И.С. Измайлов[1]

[1]ГАО РАН, Россия
[2]АФИФ, Казахстан

[*] *e-mail:* deimos@gaoran.ru

Аннотация

Развитие наблюдательных программ Пулковской обсерватории предполагает перенос части из них в регионы с благоприятным астроклиматом. В этом контексте большой интерес вызывают возможности обсерватории Ассы-Тургень (код MPC = 217, h = 2700 м), принадлежащей Астрофизическому институту им. В. Г. Фесенкова (АФИФ), (г. Алматы, Республика Казахстан). В 2022 году на эту площадку был перевезен телескоп 40-см телескоп MEADE LX200 (ГАО РАН). Кроме того появилась возможность претендовать на часть наблюдательного времени на 1.5-метровом телескопе АЗТ-20, который обеспечивает съемку как в фотометрической моде в полосах griz, так и в спектроскопической. В августе 2022 года на этих инструментах были проведены тестовые наблюдения. В представленной статье обсуждаются результаты этих наблюдений и перспективы дальнейшей реализации пулковских программ наблюдений в обсерватории Ассы-Тургень. Показано, что при наблюдении на 40-см телескопе достижима точность лучше 50 mas для астрометрических измерений далеких спутников Юпитера и Сатурна. Фотометрические измерения на этом телескопе дают точность 0.02^m. Для многих задач это конкурентоспособные показатели, которые будут заметно улучшены после необходимой глубокой юстировки оптики телескопа. Еще более высокие точности достижимы с помощью телескопа АЗТ-20 этой обсерватории (наблюдения спутников Урана показали внутреннюю сходимость астрометрических измерений лучше 20 mas). На этом инструменте проведены спектральные наблюдения двойной системы 61 Лебедя с целью отладки методики определения относительных лучевых скоростей для повышения точности определения орбит двойных звезд, поиска маломассивных компонент и экзопланет.

Введение

Развитие широкого спектра направлений научных исследований в Пулковской обсерватории является характерной чертой данной научной организации с конца XIX века и по настоящее время. При этом собственным астрономическим наблюдениям уделяется самое серьезное внимание.

Условия в окрестностях Санкт-Петербурга оставляют возможности для реализации ряда программ астрометрических наблюдений. Прежде всего это яркие двойные звезды (Khovrichev et al., 2020), изучение относительного орбитального движения компонент которых дает новую информацию о свойствах популяции двойных звезд в космогоническом смысле, позволяет выявлять ранее неизвестные маломассивные компоненты в системах двойных звезд (Kiyaeva et al., 2021). Вполне состоятельны исследования ярких спутников больших планет и астероидов, сближающихся с Землей (Ershova et al. (2016) и Devyatkin et al. (2022)). Астрометрические измерения этих объектов до сих пор являются основой для улучшения эфемерид, а значит построения все более совершенных динамических моделей Солнечной системы.

При развитии наблюдательных программ Пулковской обсерватории учитывается, что «пригородное небо» ограничивает накопление до 18^m - 20^m при суммировании большого числа кадров. Еще один ограничивающий фактор – высокая атмосферная турбулентность (FWHM от $3''$ до $5''$). Кроме того, для петербургской площадки ГАО РАН характерно относительное небольшое число ясных ночей (порядка 60-ти в год). Общее число ясных ночей может достигать и 120-ти, но около половины из них приходится на сезон коротких летних ночей, когда возможны только наблюдения визуально-двойных звезд на 26-дюймовом рефракторе.

При этом наблюдательные ночи распределены весьма неравномерно по времени, что ограничивает наблюдения явлений, требующих непрерывного мониторинга на масштабе суток и недель. Поэтому неслучайно активное вовлечение пулковских инструментов в различные международные наблюдательные программы, в рамках которых непрерывность мониторинга достигается за счет большого количества инструментов, распределенных по всему миру (например, PHEMU (Saquet et al., 2018) и WEBT (Vercellone et al., 2019)). Только для двойных звезд с периодами обращения в сотни лет эта проблема перестает быть существенной для наблюдений на петербургской площадке ГАО РАН.

Поэтому с начала XX века Пулковская обсерватория создает и поддерживает наблюдательные станции, затем полноценные обсерватории в местах с более благоприятным астроклиматом. История пулковских экспедиций в южные республики СССР, Чили, Боливию хорошо известна. Перенос телескопа МТМ-500М на Горную астрономическую станцию ГАО РАН под Кисловодском в 2007 году (Sokov et al., 2012), активное участие в конкурсном распределении наблюдательного времени в других обсерваториях (например, САО РАН и КрАО РАН) (Khovrichev et al., 2016), размещение телескопа АЗТ-24 в Италии можно рассматривать как естественное продолжение этой научной традиции.

Одной из обсерваторий, на инструментах которой велись наблюдения по программам пулковской обсерватории еще в 1980-е годы, является обсерватория Ассы-Тургень (MPC = 217, $\varphi = 43°13'41.93''$, $\lambda = 77°52'23.15''$, $h = 2700$м), принадлежащая Астрофизическому институту имени Фесенкова (республика Казахстан). Общий вид наблюдательной площадки обсерватории представлен на рис. 1. Астроклиматические условия здесь таковы, что вполне соответствуют самым высоким требованиям. Это высокогорная обсерватория, где достижимы подсекундные размытия изображений ($FWHM < 1''$) и в среднем можно ожидать до 120 - 150 ясных ночей в год.

В течение последних двух лет обе научные организации (ГАО РАН и АФИФ) активно взаимодействуют. В результате в 2022 году в обсерваторию Ассы-Тургень перевезен 40-см телескоп системы Шмидта-Кассегрена MEADE LX200 («первый свет» на новом месте этот

Рис. 1: Общий вид обсерватории Ассы-Тургень (АФИФ, республика Казахстан). В самой высокой башне расположен телескоп АЗТ-20. В павильоне на переднем плане - телескоп Цейсс-1000.

телескоп увидел в августе 2022 года), на 1.5 метровом телескопе этой обсерватории АЗТ-20 выполнены пробные астрометрические, фотометрические и спектроскопические наблюдения с целью выяснения возможностей переноса программ пулковских наблюдений.

Целью данной статьи является информирование астрономического сообщества о возможностях пулковского 40-см телескопа в обсерватории Ассы-Тургень и 1.5 метрового телескопа АЗТ-20 (АФИФ), часть наблюдательного времени на котором будет доступна для реализации пулковских программ наблюдений.

1 40-см телескоп ГАО РАН в обсерватории Ассы-Тургень

1.1 Краткая история телескопа

Телескоп системы Шмидта-Кассегрена MEADE LX200 (D = 40 см, F = 4 м) был получен в 2006 г и установлен в обсерватории «Светлое» ИПА РАН. Общий вид инструмента в павильоне в Светлом показан на рис. 2.

В течение более чем 10 лет на нем велись наблюдения в оптическом диапазоне с помощью ПЗС-камеры ST-7, в основном по проектам WEBT и исследованиям молодых звезд типа Т Тельца. В качестве иллюстрации результатов наблюдений в «Светлом» на рис. 3 представлена кривая блеска V2492 Cyg в полосе R за период 2013-2016, в том числе в фазе исторического максимума блеска в 2016 (Giannini et al., 2018).

В последние годы значительно ухудшились астроклиматические характеристики в районе обсерватории «Светлое». Поэтому было принято решение о переносе телескопа. Как было указано в предыдущем разделе, был выбран вариант обсерватории Ассы-Тургень в Казахстане.

Рис. 2: Телескоп MEADE LX200 в павильоне в обсерватории «Светлое»

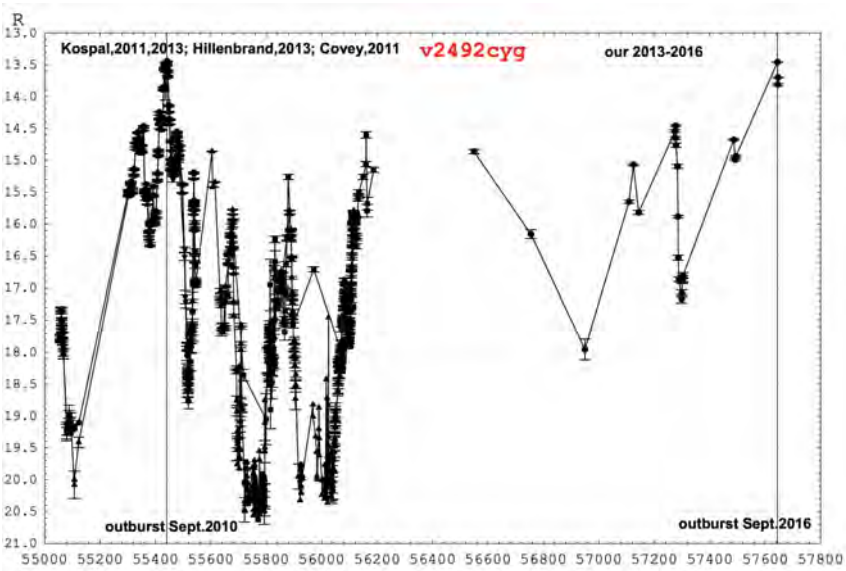

Рис. 3: Кивая блеска V2492 Cyg в полосе R, полученная с помощью MEADE LX200 в обсерватории «Светлое»

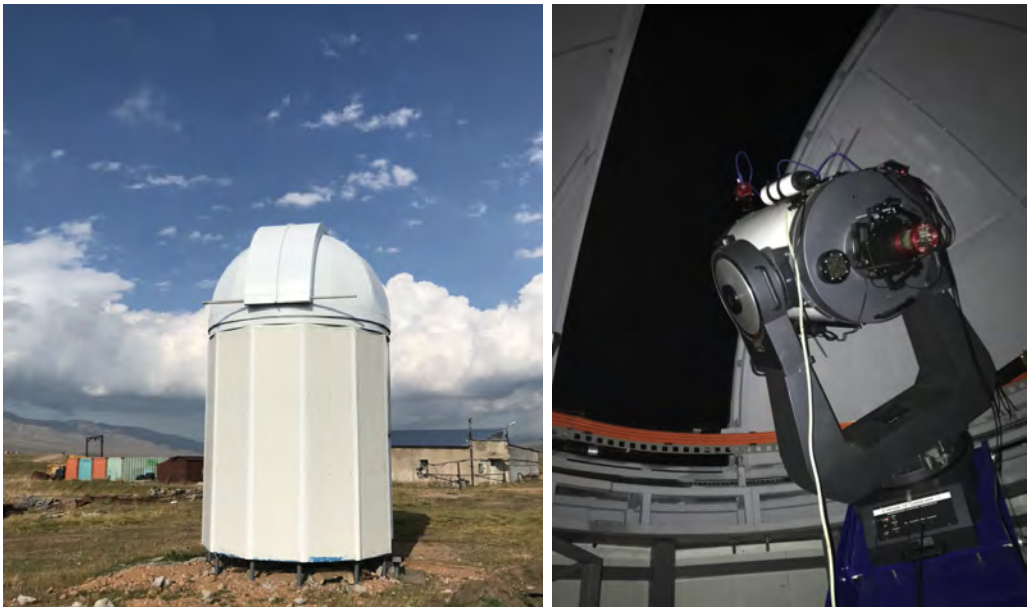

Рис. 4: Павильон пулковского 40-см телескопа в обсерватории Ассы-Тургень (слева) и расположение телескопа в нем (справа).

1.2 Техническое обеспечение наблюдений на 40-см телескопе ГАО РАН в Ассы-Тургень

Для установки телескопа в обсерватории Ассы-Тургень был построен новый павильон с диаметром купола 5 метров. Он показан в левой части на рис. 4. Правая половина этого рисунка дает представление о расположении монтировки и трубы телескопа. Купол башни полностью автоматизирован, по мере установки оборудования можно будет управлять им удаленно с помощью модуля Laurent-5. Команды на открытие-закрытие створ и поворот купола можно будет давать по TCP/IP удаленно.

Управление наведением телескопа и съемкой производится с помощью микрокомпьютера Raspberry Pi4. Его корпус по размеру чуть больше обычного мобильного телефона, поэтому его легко закрепить на трубе телескопа. Это сразу дает возможность упросить прокладку интерфейсных кабелей к гидировочной камере, основной камере и к блоку управления самим телескопом. Инструмент установлен на вилочной экваториальной монтировке. Протокол USB-COM используется для передачи команд для наведения и управления телескопом.

Удаленный доступ к бортовому компьютеру телескопа производится по протоколу ssh. Дело в том, что в обсерватории Ассы-Тургень в силу удаленности от коммуникаций на данный момент скорость обмена данными составляет порядка 100 килобит в секунду. Поэтому использование протоколов, дающих доступ к рабочему столу удаленного компьютера, затруднен. Кроме того, планируется организовать наблюдения в полностью автоматическом режиме, когда не требуется даже удаленного контроля со стороны наблюдателя. Поэтому рационально развивать программное обеспечение для управления телескопом с учетом этого обстоятельства.

Для определения начального положения телескопа при старте наблюдательной сессии и корректировки наведения используется гидировочная камера с рабочим полем $5^\circ \times 4^\circ$. При времени накопления 1 секунда в рабочем поле такой камеры получаются изображения

Рис. 5: Основная (ZWO ASI 1600MM Pro (mono), показана в левой части рисунка) и гидировочная (ZWO ASI120S, показана справа) камеры пулковского 40-см телескопа.

десятков звезд до 12^m. Это позволяет легко определить экваториальные координаты точки неба, на которую наведен телескоп с помощью комбинации SExtractor (Bertin, Arnouts, 1996) и локальной версии сервиса astrometry.net (Lang et al., 2012).

Наведение телескопа производится в ходе одной-двух итераций. После первой обычно объект уже находится в рабочем поле, но не в центральной его части. Поэтому с помощью гидировочной камеры (см. рис. 5) вычисляются нужные поправки и положение инструмента корректируется так, чтобы угловое расстояние между реальным направлением оптической оси и направлением на целевой объект было менее угловой минуты.

В ходе первых наблюдений в качестве камеры главного фокуса применялась ZWO ASI 1600MM Pro (mono). Рабочее поле составило $16' \times 12'$ при масштабе $0.2''$/pix. Камера была снабжена колесом стандартных фильтров UBVRI. Функцию гидировочной камеры выполнила ZWO ASI120S, дающая масштаб $19''$/pix при объективе с D=3 см и F=5 см. Размещение камер на телескопе показано на рис. 5.

1.3 «Первый свет» и некоторые результаты наблюдений

Поскольку телескоп ранее использовался для фотометрии молодых звезд, блазаров и активных ядер галактик (АЯГ), то именно эти объекты составили основу наблюдательной программы для тестовых измерений на новом месте. Типичный кадр с временем накопления 30 секунд показан на рис. 6. На таких кадрах получаются звезды до 18.5^m.

Общая вытянутость изображений звезд является следствием незавершенной юстировки телескопа. Поэтому типичная функция рассеяния точки (PSF) для текущего состояния оптики телескопа выглядит так, как показано на рис. 7.

Понятно, что такое положение вещей неприемлемо для реализации программы дальнейших наблюдений на этом телескопе, и предстоит прецизионная юстировка элементов оптической системы. Однако уже сейчас можно получить представление о возможностях инструмента на новом месте и сформировать программу наблюдений.

Фотометрическая обработка серий снимков с изображениями галактики Mkn 501 показала сходимость лучше 0.02^m. Для более слабых объектов оценка внутренней точности фотометрических измерений оказалась не хуже 0.05^m. Можно говорить о том, что это вполне

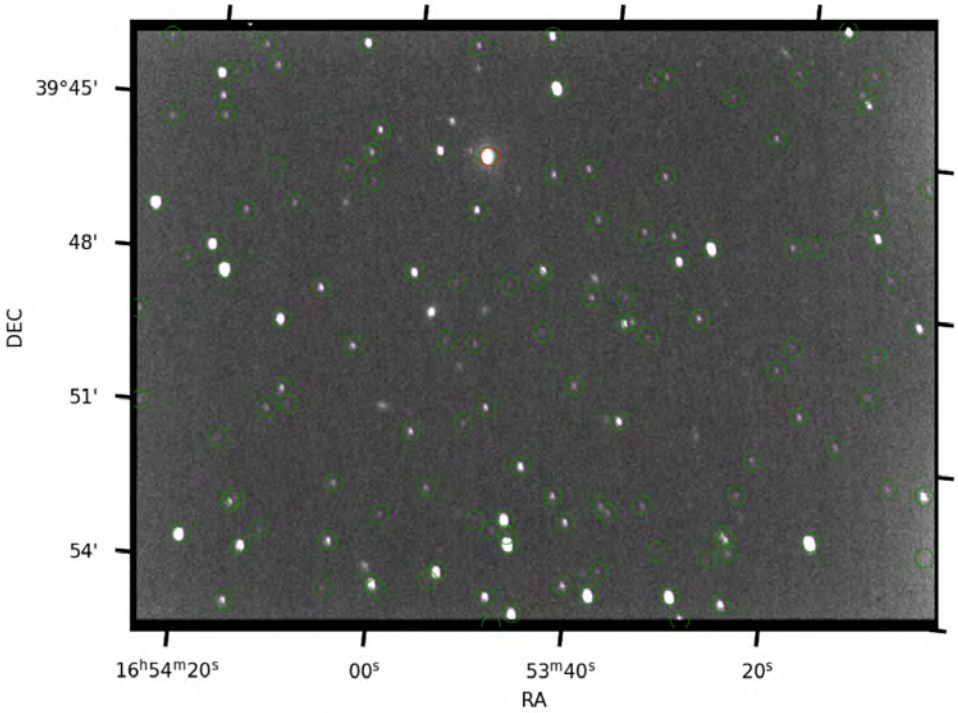

Рис. 6: Типичный снимок участка неба в районе Mkn 501, полученный в фильтре R при накоплении 30 секунд. Зелеными метками обозначены звезды Gaia DR3, красной меткой - галактика Mkn 501.

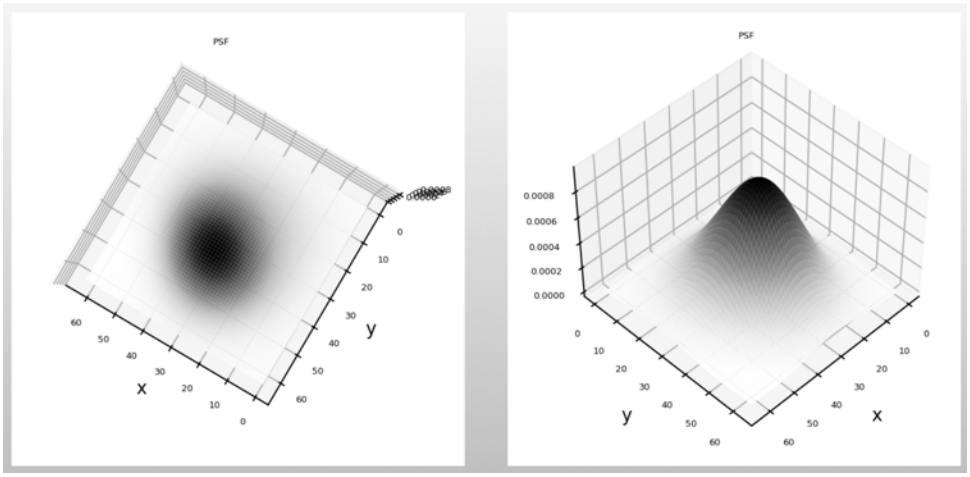

Рис. 7: Функция рассеяния точки для текущего состояния оптики 40-см пулковского телескопа.

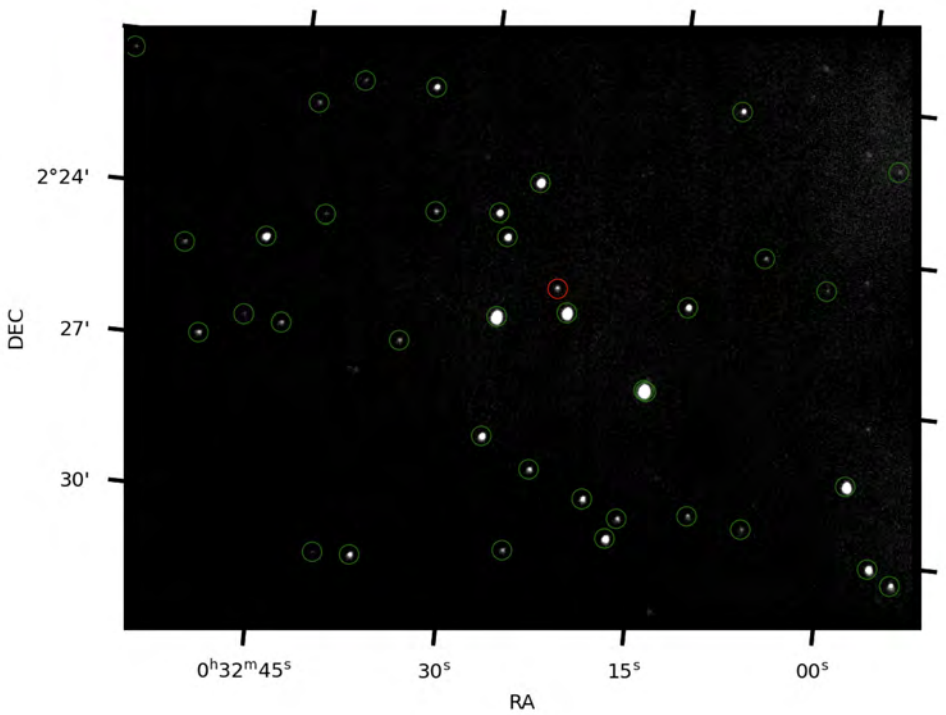

Рис. 8: Типичное изображение участка неба в окрестностях далекого спутника Юпитера – Элары.

соответствует тому, что получалось при измерениях в обсерватории «Светлое». Есть основания полагать, что юстировка оптической системы позволит в разы повысить точность фотометрических измерений.

Ранее данный инструмент не использовался для проведения астрометрических наблюдений. Чтобы выяснить его пригодность к измерениям данного типа, были проведены съемки далеких и слабых спутников Юпитера и Сатурна. Эффективные наблюдения данных объектов на петербургской площадке ГАО РАН крайне затруднены из-за того, что это обычно слабые объекты и, как правило, они расположены на больших зенитных расстояниях. Условия наблюдений этих тел в Ассы-Тургень заметно лучше.

На рис. 8 показано изображение спутника Юпитера Элары. Сходимость измерений от кадра к кадру дает оценку внутренней точности лучше 50 mas, что соответствует мировым стандартам в данной области астрономии. Величины (O-C) в сравнении с эфемеридой NASA JPL Horizons для Фебы и Элары не превосходят 100 - 150 mas, что является типичным для современных эфемерид этих тел.

Чтобы получить более полноценное представление о возможностях данного телескопа как астрометрического инструмента был проведен анализ остаточных разностей координат звезд, полученных в результате астрометрической калибровки посредством данных из каталога Gaia DR3 (Gaia Collaboration et al., 2022).

Результаты показаны на рис. 9. Видно, что на данном этапе систематические ошибки для ярких объектов (до 15.5^m) лежат в пределах ±50 mas. Для более слабых объектов систематические сдвиги могут достигать уже 100 mas. Такого рода зависимости разностей от блеска вообще характерны для инструментов подобного класса. Но очевидно, что для полноценного использования телескопа для астрометрии слабых объектов понадобятся более серьезные калибровки (построение FDP - полей дисторсии для разных значений блеска

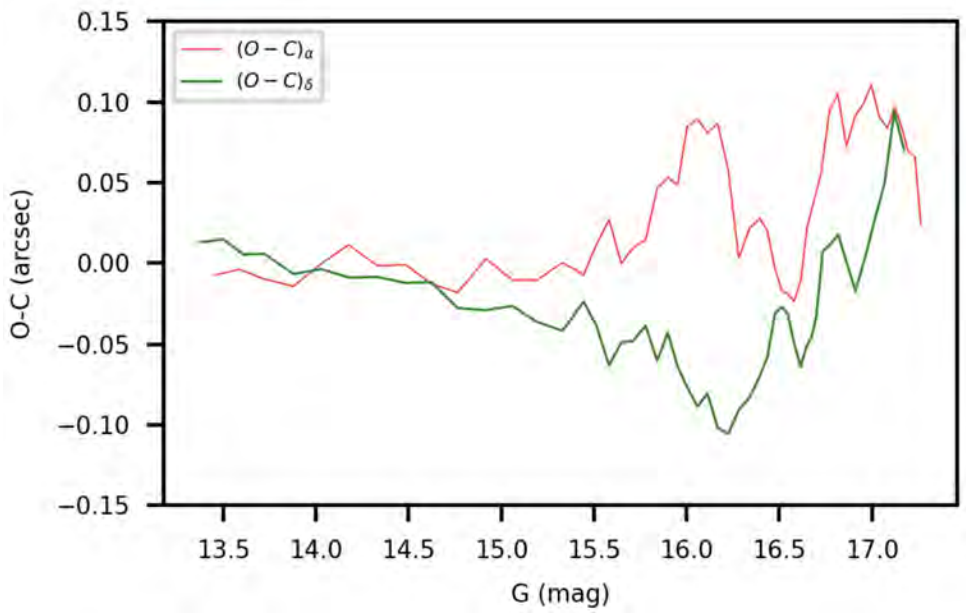

Рис. 9: Зависимость остаточных разностей координат звезд Gaia DR3 от блеска для 40-см пулковского телескопа в обсерватории Ассы-Тургень.

и цвета звезд).

1.4 Предполагаемая программа наблюдений пулковского 40-см телескопа в обсерватории Ассы-Тургень

С учетом вышеизложенных результатов первых наблюдений на пулковском 40-см телескопе обсерватории Ассы-Тургень понятно, что потребуется дополнительная юстировка элементов оптической системы инструмента. Но уже сейчас точность фотометрических и астрометрических измерений вполне конкурентоспособная. Поэтому наблюдательное время предлагается распределить следующим образом.

Фотометрический мониторинг блазаров, АЯГ, молодых звезд - 60% от всего наблюдательного времени. Фотометрические наблюдения тел Солнечной системы не отделимые от астрометрических измерений - 10%. На астрометрические наблюдения видимых тесных сближений астероидов со звездами Gaia (Bikulova, 2021) (включая базисные измерения) и измерения положений далеких спутников планет-гигантов - вполне рационально выделить 15% от всего наблюдательного времени. Часть времени (15%) планируется затратить для проведения TTV-наблюдениям экзопланетных транзитов, которые столь важны для улучшения орбит и уточнения масс уже открытых экзопланет.

2 Пулковские наблюдения на телескопе АЗТ-20

Наличие 40-см телескопа в обсерватории с очень благоприятным астроклиматом обеспечивает значимый прогресс в развитии наблюдательных программ Пулковской обсерватории. Но кроме этого появилась возможность претендовать на наблюдательное время на более крупном телескопе – АЗТ-20. Общий вид инструмента в павильоне показан на рис. 10. Диаметр главного (параболического) зеркала составляет 1560 мм. В прямом фокусе установлен кварцевый 4-х линзовый корректор (редуктор) фокуса диаметром 280 мм. Поэтому фокус-

Рис. 10: Общий вид телескопа АЗТ-20 в главном павильоне обсерватории Ассы-Тургень.

ное расстояние модифицированного телескопа составляет 5720 мм. Допустимый диапазон длин волн для оборудования - 300 – 2500 нм.

Этот инструмент позволяет вести наблюдения в двух режимах. Фотометрический режим сводится к съемке участков неба в фильтрах griz (SLOAN) с помощью КМОП-камеры Kepler KL400 с матрицей обратной засветки, дающей рабочее поле $15' \times 15'$. Второй режим – спектрометрический. АЗТ-20 снабжен щелевым спектрографом на объемно-фазовых голографических решетках (Volume Phase Holographic (VPH) Gratings) и EMCCD камерой Andor. Имеется три решетки, обеспечивающие разрешения 360, 1800, 2400 штр/мм. Все оборудование установлено в главном фокусе телескопа (см. рис. 11). Созданы аппаратное и программное обеспечения для автоматического переключения между режимами работы.

2.1 Астрометрические наблюдения спутников Урана на телескопе АЗТ-20

Среднефокусные телескопы с хорошим качеством оптики отлично подходят для астрометрических наблюдений систем главных спутников больших планет, которые расположены близко к яркой планете. Для небольших инструментов, таких как 40-см телескоп ГАО РАН в Ассы-Тургень, возникает трудность, связанная с ореолом рассеянного света от планеты, в который погружены изображения спутников. Поэтому либо необходимы соответствующие технологии учета градианта рассеянного света при обработке наблюдений, либо установка оборудования, позволяющего наблюдать в коронографической моде.

В августе 2022 года на телескопе АЗТ-20 обсерватории Ассы-Тургень были выполнены пробные наблюдения главных спутников Урана с астрометрическими целями. Характерный вид изображения в рабочем поле фотометрической моды телескопа показан на рис. 12. Обработка снимков, сделанных в фильтрах g и z, в системе Gaia DR3 дает точность 10 - 20 mas при сравнении измерений внутри одной серии кадров. В среднем величины (O-C) относительно комбинации эфемерид EPM2017+Lainey et al. 2015 меньше 5 mas.

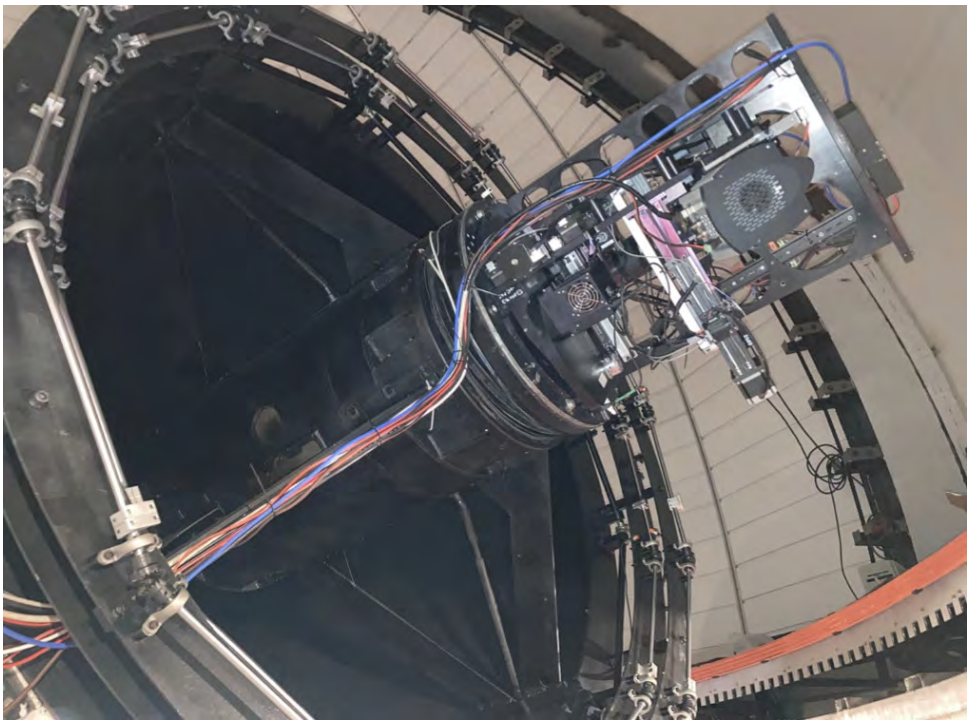

Рис. 11: Оборудование в прямом фокусе телескопа АЗТ-20.

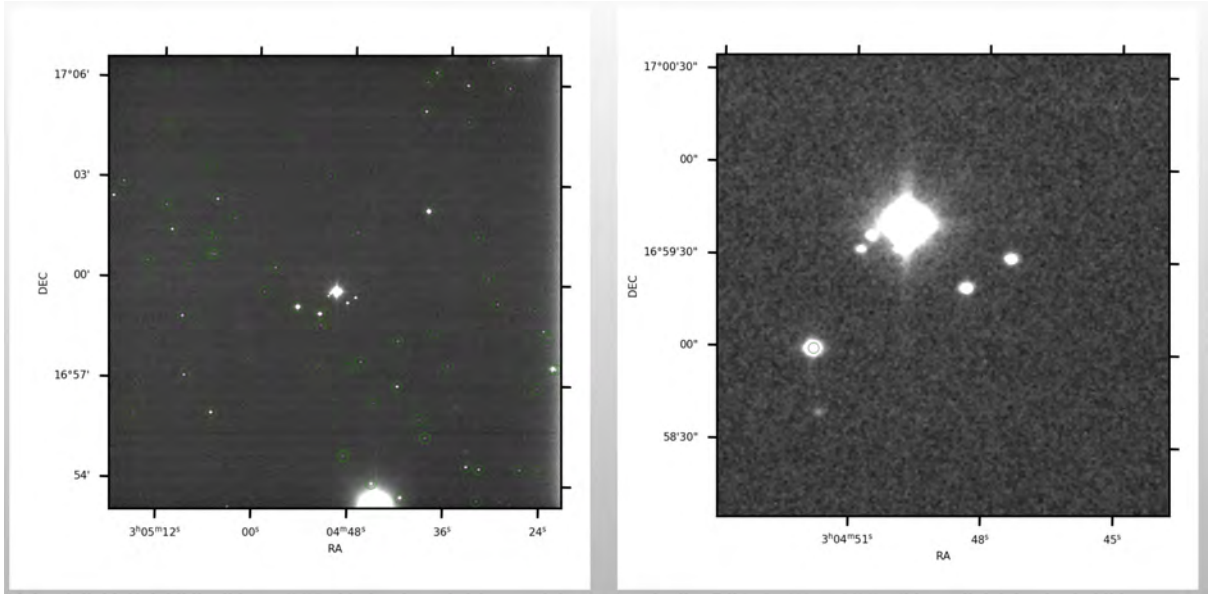

Рис. 12: Изображение участка неба с изображением Урана и его главных спутников, полученное в фильтре z на телескопе АЗТ-20 обсерватории Ассы-Тургень. Слева показан полный кадр, справа - его центральная часть, позволяющая лучше рассмотреть изображения спутников.

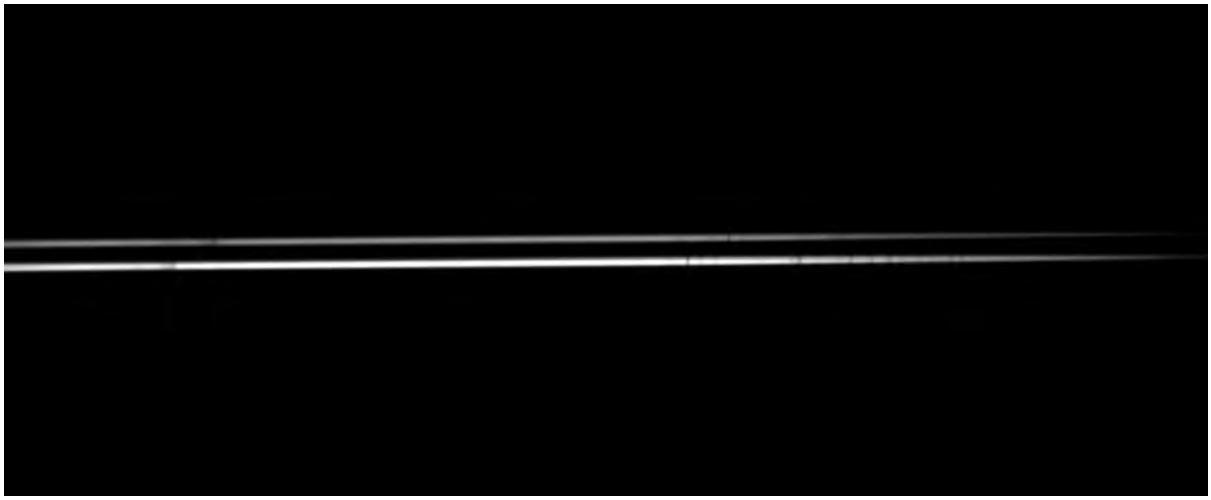

Рис. 13: Исходное изображение спектров компонент визуально-двойной системы 61 Лебедя, полученное с помощью телескопа АЗТ-20.

2.2 Спектроскопические наблюдения компонент 61-ой Лебедя на телескопе АЗТ-20

Пулковская программа наблюдений визуально-двойных звезд не сводится только к получению длительных рядов астрометрических наблюдений относительного движения компонент двойных систем. Более глубокая задача – определение орбитальных параметров, которые в дальнейшем станут основой для изучения популяции двойных звезд в окрестностях Солнца и теста моделей звездообразования и начальной динамической эволюции звездных комплексов. Дело в том, что эти модели предсказывают разные распределения по орбитальным параметрам. Поэтому их массовые определения имеют большое значение. Кроме того, надежные оценки величин орбитальных элементов позволяют выявлять малые возмущения, обусловленные присутствием маломассивных компонент в системах (звезд малых масс, бурых карликов и даже экзопланет).

Пулковские астрометрические измерения двойных звезд составляют порядка 10% от всех доступных наблюдений широких пар визуально двойных звезд в мире. Но для высокой точности в определении значений орбитальных элементов крайне важны измерения относительных лучевых скоростей компонент для этих звезд. Это сразу устраняет неопределенность в вычислении позиционного угла восходящего узла орбиты и наклонения к картинной плоскости.

Несмотря на то, что существует большое количество спектроскопических обзоров ярких звезд, разрешения этих спектров чаще всего не хватает для достижения необходимой точности определения лучевых скоростей. Поэтому проведение измерений относительных лучевых скоростей для двойных звезд имеет высокую актуальность.

В связи с этим в августе 2022 года с помощью телескопа АЗТ-20 обсерватории Ассы-Тургень выполнялись серии спектральных наблюдений хорошо известной двойной системы 61 Лебедя для разработки методики измерений и оценок точности.

Рис. 13 дает представление о том как выглядят спектры компонент при съемке без щели. Поскольку телескоп пока еще не оборудован йодной ячейкой, позволяющей достичь точности измерений лучевых скоростей порядка метров в секунду (что крайне необходимо для будущих исследований экзопланет на данном телескопе), целесообразно получать спек-

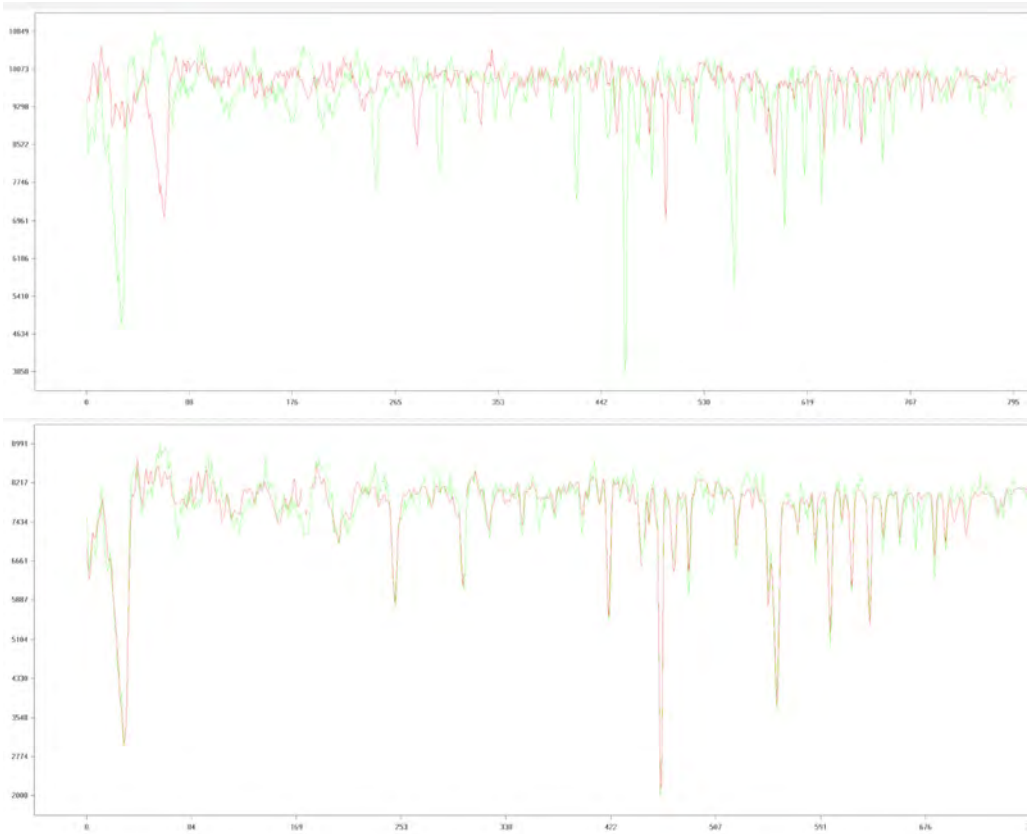

Рис. 14: Развертка спектров компонент 61 Лебедя, полученная после вычитания континуума. Сверху исходная спектрограмма, снизу – после наложения спектров в результате описанного в тексте преобразования.

трограммы двух звезд на одном кадре. Ведь успех астрометрических измерений двойных звезд во многом обусловлен относительным характером наблюдений. Измеряется положение одной звезды пары, относительно другой. И даже если есть систематические ошибки, то в значительной мере они одинаково влияют на положения обеих компонент. Было интересно попробовать использовать это свойство панорамности наблюдений для определения относительных лучевых скоростей.

Очевидно, что если вычесть континуум (оставить только спектральные линии) в развертке спектрограммы, то сдвиг одинаковых линий в спектрах обусловлен взаимным расположением компонент системы на небесной сфере и относительным доплеровским сдвигом. Поэтому можно пытаться решить задачу, отыскав параметры модели преобразования одного спектра к другому. Главная проблема здесь кроется в линейности сдвига из-за разности лучевых скоростей и неотделимости этого сдвига от разности, обусловленной геометрией в расположении звезд. Поэтому вопрос о дополнительной калибровке в разрабатываемом подходе стоит остро. Решение видится в параллельных измерениях в астрометрической моде и сопоставлении их результатов с тем, что получается по положениям отдельных ярких линий.

Но прежде чем развивать этот подход, целесообразно оценить точность определения лучевых скоростей таким, относительно простым способом. Это и было сделано в результате первичной обработки спектрограмм.

После вычитания континуума переход от одного спектра к другому можно описать

моделью вида:

$$I_A(n) = \sum_{j=0}^{p} \sum_{k=0}^{j} d_{j,k} n^{j-k} I_B^k$$

здесь I_A, I_B - отсчеты интенсивности развертки спектра для пикселя с номером n для компонент системы A и B. Целое число p - степень полинома, а $d_{j,k}$ - параметры перехода от одного спектра к другому, которые вычисляются методом наименьших квадратов. Примеры исходной развертки спектров для компонент 61 Лебедя и результата наложения спектров по вышеизложенному алгоритму показан на рис. 14.

По 14 парам спектров сдвиг оказался равен 34.8671±0.0080 pix. Учитывая, что спектральное разрешение на середину спектра достигает 0.7262 Å/pix и длина волны в середине спектрограммы составляет 6627.8094 Å, получаем оценку точности для разностей лучевых скоростей ярких звезд около 0.26 км/с. Практика показывает, что этого вполне достаточно для значимого улучшения ситуации с определением орбит широких пар визуально-двойных звезд.

3 Заключение

Получен «первый свет» на пулковском 40-см телескопе (MEADE LX200) в обсерватории Ассы-Тургень. Разработан предварительный вариант программного обеспечения для наблюдений на этом телескопе. Требуется его дальнейшая доработка по мере автоматизации вращения купола павильона и подключения оборудования к сети Интернет.

Выполнены пробные фотометрические и астрометрические наблюдения на данном телескопе. Точность астрометрических наблюдений уже сейчас соответствует стандартам для наземной астрометрии (лучше 50 mas). Внутренняя сходимость фотометрических измерений после предварительной обработки данных лучше 0.02^m, чего явно недостаточно для многих задач, где требуется точность порядка единиц mmag. Требуется глубокая юстировка оптической системы и надлежащее изучение систематических ошибок инструмента.

Исторически сложилось, что 40-см пулковский телескоп использовался для фотометрического мониторинга молодых звезд, блазаров и АЯГ. Такого рода наблюдения очевидно сохранят актуальность в ближайшие годы, поэтому фотометрические измерения данных объектов станут ядром программы наблюдений на данном телескопе в обсерватории Ассы-Тургень. Но, как показали тестовые наблюдения, целесообразно добавить к фотометрической части программы астрометрические наблюдения спутников планет и астероидов. Отдельным пунктом программы наблюдений должны стать TTV-наблюдения экзопланетных транзитов.

Кроме того, оказался возможным трансфер наблюдательных задач на телескоп АЗТ-20 и другие инструменты АФИФ по темам НИР ГАО РАН. Астрометрическая точность измерений на этом инструменте (АЗТ-20) лучше 20 mas. Возможны измерения относительных лучевых скоростей компонент двойных систем из пулковской программы изучения визуально-двойных звезд. Показано, что достижима точность лучше 300 метров в секунду.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства высшего образования и науки РФ 075-15-2020-780 «Теоретические и экспериментальные исследования формирования и эволюции внесолнечных планетных систем и характеристик экзопланет».

Список литературы

Bertin E., Arnouts S. SExtractor: Software for source extraction. // A&AS. VI 1996. 117. 393–404.

Bikulova D. A. Pulkovo observations of apparent close approaches between near-earth asteroids and the Gaia stars in 2019-2020 // Planet. Space Sci.. IX 2021. 204. 105245.

Devyatkin A. V., Gorshanov D. L., Petrova S. N., Martyusheva A. A., L'vov V. N., Tsekmeister S. D. Astrometry and photometry of potentially hazardous asteroid (276033) 2002 AJ129 // Planet. Space Sci.. IV 2022. 213. 105427.

Ershova A. P., Roshchina E. A., Izmailov I. S. Astrometric observations of the main Uranian satellites at the Pulkovo Observatory in 2007-2016 // Planet. Space Sci.. XII 2016. 134. 96–99.

Gaia Collaboration , Arenou F., Babusiaux C., Barstow M. A., Faigler S., Jorissen A., Kervella P., Mazeh T., Mowlavi N., Panuzzo P., Sahlmann J., Shahaf S., Sozzetti A., Bauchet N., Damerdji Y., Gavras P., Giacobbe P., Gosset E., Halbwachs J. L., Holl B., Lattanzi M. G., Leclerc N., Morel T., Pourbaix D., Re Fiorentin P., Sadowski G., Ségransan D., Siopis C., Teyssier D., Zwitter T., Planquart L., Brown A. G. A., Vallenari A., Prusti T., de Bruijne J. H. J., Biermann M., Creevey O. L., Ducourant C., Evans D. W., Eyer L., Guerra R., Hutton A., Jordi C., Klioner S. A., Lammers U. L., Lindegren L., Luri X., Mignard F., Panem C., Randich S., Sartoretti P., Soubiran C., Tanga P., Walton N. A., Bailer-Jones C. A. L., Bastian U., Drimmel R., Jansen F., Katz D., van Leeuwen F., Bakker J., Cacciari C., Castañeda J., De Angeli F., Fabricius C., Fouesneau M., Frémat Y., Galluccio L., Guerrier A., Heiter U., Masana E., Messineo R., Nicolas C., Nienartowicz K., Pailler F., Riclet F., Roux W., Seabroke G. M., Sordo R., Thévenin F., Gracia-Abril G., Portell J., Altmann M., Andrae R., Audard M., Bellas-Velidis I., Benson K., Berthier J., Blomme R., Burgess P. W., Busonero D., Busso G., Cánovas H., Carry B., Cellino A., Cheek N., Clementini G., Davidson M., de Teodoro P., Nuñez Campos M., Delchambre L., Dell'Oro A., Esquej P., Fernández-Hernández J., Fraile E., Garabato D., García-Lario P., Haigron R., Hambly N. C., Harrison D. L., Hernández J., Hestroffer D., Hodgkin S. T., Janßen K., Jevardat de Fombelle G., Jordan S., Krone-Martins A., Lanzafame A. C., Löffler W., Marchal O., Marrese P. M., Moitinho A., Muinonen K., Osborne P., Pancino E., Pauwels T., Recio-Blanco A., Reylé C., Riello M., Rimoldini L., Roegiers T., Rybizki J., Sarro L. M., Smith M., Utrilla E., van Leeuwen M., Abbas U., Ábrahám P., Abreu Aramburu A., Aerts C., Aguado J. J., Ajaj M., Aldea-Montero F., Altavilla G., Álvarez M. A., Alves J., Anders F., Anderson R. I., Anglada Varela E., Antoja T., Baines D., Baker S. G., Balaguer-Núñez L., Balbinot E., Balog Z., Barache C., Barbato D., Barros M., Bartolomé S., Bassilana J. L., Becciani U., Bellazzini M., Berihuete A., Bernet M., Bertone S., Bianchi L., Binnenfeld A., Blanco-Cuaresma S., Blazere A., Boch T., Bombrun A., Bossini D., Bouquillon S., Bragaglia A., Bramante L., Breedt E., Bressan

A., Brouillet N., Brugaletta E., Bucciarelli B., Burlacu A., Butkevich A. G., Buzzi R., Caffau E., Cancelliere R., Cantat-Gaudin T., Carballo R., Carlucci T., Carnerero M. I., Carrasco J. M., Casamiquela L., Castellani M., Castro-Ginard A., Chaoul L., Charlot P., Chemin L., Chiaramida V., Chiavassa A., Chornay N., Comoretto G., Contursi G., Cooper W. J., Cornez T., Cowell S., Crifo F., Cropper M., Crosta M., Crowley C., Dafonte C., Dapergolas A., David P., de Laverny P., De Luise F., De March R., De Ridder J., de Souza R., de Torres A., del Peloso E. F., del Pozo E., Delbo M., Delgado A., Delisle J. B., Demouchy C., Dharmawardena T. E., Diakite S., Diener C., Distefano E., Dolding C., Enke H., Fabre C., Fabrizio M., Fedorets G., Fernique P., Figueras F., Fournier Y., Fouron C., Fragkoudi F., Gai M., Garcia-Gutierrez A., Garcia-Reinaldos M., García-Torres M., Garofalo A., Gavel A., Gerlach E., Geyer R., Gilmore G., Girona S., Giuffrida G., Gomel R., Gomez A., González-Núñez J., González-Santamaría I., González-Vidal J. J., Granvik M., Guillout P., Guiraud J., Gutiérrez-Sánchez R., Guy L. P., Hatzidimitriou D., Hauser M., Haywood M., Helmer A., Helmi A., Sarmiento M. H., Hidalgo S. L., Hładczuk N., Hobbs D., Holland G., Huckle H. E., Jardine K., Jasniewicz G., Jean-Antoine Piccolo A., Jiménez-Arranz Ó., Juaristi Campillo J., Julbe F., Karbevska L., Khanna S., Kordopatis G., Korn A. J., Kóspál Á, Kostrzewa-Rutkowska Z., Kruszyńska K., Kun M., Laizeau P., Lambert S., Lanza A. F., Lasne Y., Le Campion J. F., Lebreton Y., Lebzelter T., Leccia S., Lecoeur-Taibi I., Liao S., Licata E. L., Lindstrøm H. E. P., Lister T. A., Livanou E., Lobel A., Lorca A., Loup C., Madrero Pardo P., Magdaleno Romeo A., Managau S., Mann R. G., Manteiga M., Marchant J. M., Marconi M., Marcos J., Marcos Santos M. M. S., Marín Pina D., Marinoni S., Marocco F., Marshall D. J., Polo L. Martin, Martín-Fleitas J. M., Marton G., Mary N., Masip A., Massari D., Mastrobuono-Battisti A., McMillan P. J., Messina S., Michalik D., Millar N. R., Mints A., Molina D., Molinaro R., Molnár L., Monari G., Monguió M., Montegriffo P., Montero A., Mor R., Mora A., Morbidelli R., Morris D., Muraveva T., Murphy C. P., Musella I., Nagy Z., Noval L., Ocaña F., Ogden A., Ordenovic C., Osinde J. O., Pagani C., Pagano I., Palaversa L., Palicio P. A., Pallas-Quintela L., Panahi A., Payne-Wardenaar S., Peñalosa Esteller X., Penttilä A., Pichon B., Piersimoni A. M., Pineau F. X., Plachy E., Plum G., Poggio E., Prša A., Pulone L., Racero E., Ragaini S., Rainer M., Raiteri C. M., Ramos P., Ramos-Lerate M., Regibo S., Richards P. J., Rios Diaz C., Ripepi V., Riva A., Rix H. W., Rixon G., Robichon N., Robin A. C., Robin C., Roelens M., Rogues H. R. O., Rohrbasser L., Romero-Gómez M., Rowell N., Royer F., Ruz Mieres D., Rybicki K. A., Sáez Núñez A., Sagristà Sellés A., Salguero E., Samaras N., Sanchez Gimenez V., Sanna N., Santoveña R., Sarasso M., Schultheis M. S., Sciacca E., Segol M., Segovia J. C., Semeux D., Siddiqui H. I., Siebert A., Siltala L., Silvelo A., Slezak E., Slezak I., Smart R. L., Snaith O. N., Solano E., Solitro F., Souami D., Souchay J., Spagna A., Spina L., Spoto F., Steele I. A., Steidelmüller H., Stephenson C. A., Süveges M., Surdej J., Szabados L., Szegedi-Elek E., Taris F., Taylor M. B., Teixeira R., Tolomei L., Tonello N., Torra F., Torra J., Torralba Elipe G., Trabucchi M., Tsounis A. T., Turon C., Ulla A., Unger N., Vaillant M. V., van Dillen E., van Reeven W., Vanel O., Vecchiato A., Viala Y., Vicente D., Voutsinas S., Weiler M., Wevers T., Wyrzykowski Ł., Yoldas A., Yvard P., Zhao H., Zorec J., Zucker S. Gaia Data Release 3: Stellar multiplicity, a teaser for the hidden treasure // arXiv e-prints. VI 2022. arXiv:2206.05595.

Giannini T., Munari U., Antoniucci S., Lorenzetti D., Arkharov A. A., Dallaporta S., Rossi A.,

Traven G. The 2016-2017 peak luminosity of the pre-main sequence variable V2492 Cygni // A&A. III 2018. 611. A54.

Khovrichev M. Yu., Kulikova A. M., Sokov E. N., Dyachenko V. V., Rastegaev D. A., Beskakotov A. S., Balega Yu. Yu., Safonov B. S., Dodin A. V., Vozyakova O. V. Detection of the binarity of the star J1158+4239 // Astronomy Letters. X 2016. 42, 10. 686–692.

Khovrichev M. Yu., Narizhnaya N. V., Vasil'eva T. A., Izmailov I. S., Kulikova A. M., Bikulova D. A. Digitization of Astronegatives of the Pulkovo Glass Library: Positions of Saturn's Major Satellites in the Period 1972-1982 in the Gaia DR2 System // Solar System Research. VIII 2020. 54, 4. 344–352.

Kiyaeva Olga V., Khovritchev Maxim Yu., Kulikova Agrippina M., Narizhnaya Natalya V., Vasilyeva Tatyana A., Apetyan Arina A. Does ADS 9346 have a low-mass companion? // Research in Astronomy and Astrophysics. XII 2021. 21, 11. 291.

Lang Dustin, Hogg David W., Mierle Keir, Blanton Michael, Roweis Sam. Astrometry.net: Astrometric calibration of images. VIII 2012. ascl:1208.001.

Saquet E., Emelyanov N., Robert V., Arlot J. E., Anbazhagan P., Baillié K., Bardecker J., Berezhnoy A. A., Bretton M., Campos F., Capannoli L., Carry B., Castet M., Charbonnier Y., Chernikov M. M., Christou A., Colas F., Coliac J. F., Dangl G., Dechambre O., Delcroix M., Dias-Oliveira A., Drillaud C., Duchemin Y., Dunford R., Dupouy P., Ellington C., Fabre P., Filippov V. A., Finnegan J., Foglia S., Font D., Gaillard B., Galli G., Garlitz J., Gasmi A., Gaspar H. S., Gault D., Gazeas K., George T., Gorda S. Y., Gorshanov D. L., Gualdoni C., Guhl K., Halir K., Hanna W., Henry X., Herald D., Houdin G., Ito Y., Izmailov I. S., Jacobsen J., Jones A., Kamoun S., Kardasis E., Karimov A. M., Khovritchev M. Y., Kulikova A. M., Laborde J., Lainey V., Lavayssiere M., Le Guen P., Leroy A., Loader B., Lopez O. C., Lyashenko A. Y., Lyssenko P. G., Machado D. I., Maigurova N., Manek J., Marchini A., Midavaine T., Montier J., Morgado B. E., Naumov K. N., Nedelcu A., Newman J., Ohlert J. M., Oksanen A., Pavlov H., Petrescu E., Pomazan A., Popescu M., Pratt A., Raskhozhev V. N., Resch J. M., Robilliard D., Roschina E., Rothenberg E., Rottenborn M., Rusov S. A., Saby F., Saya L. F., Selvakumar G., Signoret F., Slesarenko V. Y., Sokov E. N., Soldateschi J., Sonka A., Soulie G., Talbot J., Tejfel V. G., Thuillot W., Timerson B., Toma R., Torsellini S., Trabuco L. L., Traverse P., Tsamis V., Unwin M., Abbeel F. Van Den, Vandenbruaene H., Vasundhara R., Velikodsky Y. I., Vienne A., Vilar J., Vugnon J. M., Wuensche N., Zeleny P. The PHEMU15 catalogue and astrometric results of the Jupiter's Galilean satellite mutual occultation and eclipse observations made in 2014-2015 // MNRAS. III 2018. 474, 4. 4730–4739.

Sokov E. N., Vereshchagina I. A., Gnedin Yu. N., Devyatkin A. V., Gorshanov D. L., Slesarenko V. Yu., Ivanov A. V., Naumov K. N., Zinov'ev S. V., Bekhteva A. S., Romas E. S., Karashevich S. V., Kupriyanov V. V. Observations of extrasolar planet transits with the automated telescopes of the Pulkovo Astronomical Observatory // Astronomy Letters. III 2012. 38, 3. 180–190.

Vercellone S., Romano P., Piano G., Vittorini V., Donnarumma I., Munar-Adrover P., Raiteri C. M., Villata M., Verrecchia F., Lucarelli F., Pittori C., Bulgarelli A., Fioretti V., Tavani

M., Acosta-Pulido J. A., Agudo I., Arkharov A. A., Bach U., Bachev R., Borman G. A., Butuzova M. S., Carnerero M. I., Casadio C., Damljanovic G., D'Ammando F., Di Paola A., Doroshenko V. T., Efimova N. V., Ehgamberdiev Sh. A., Giroletti M., Gómez J. L., Grishina T. S., Järvelä E., Klimanov S. A., Kopatskaya E. N., Kurtanidze O. M., Lähteenmäki A., Larionov V. M., Larionova L. V., Mihov B., Mirzaqulov D. O., Molina S. N., Morozova D. A., Nazarov S. V., Orienti M., Righini S., Savchenko S. S., Semkov E., Slavcheva-Mihova L., Strigachev A., Tornikoski M., Troitskaya Yu. V., Vince O., Cattaneo P. W., Colafrancesco S., Longo F., Morselli A., Paoletti F., Parmiggiani N. AGILE, Fermi, Swift, and GASP/WEBT multi-wavelength observations of the high-redshift blazar 4C +71.07 in outburst // A&A. I 2019. 621. A82.

The prospects for the implementation of the Pulkovo Observatory observational program at the Assy-Turgen observatory

M.Yu. Khovritchev[1*], A.A. Arkharov[1], V.Yu. Kim[1,2], I.S. Izmailov[1]

[1]Pulkovo Observatory, Russia
[2]Fesenkov Astrophysical Institute, Kazakhstan

[*] *e-mail:* deimos@gaoran.ru

Abstract

The progress of the observational programs of the Pulkovo observatory involves the transfer of some of them to regions with conducive astroclimatic conditions. The ability of the Assy-Turgen observatory (MPC = 217, h = 2700 m) operated by the Fesenkov Astrophysical Institute (AFIF), (Almaty, Republic of Kazakhstan) causes great interest in this context. The 40-cm telescope MEADE LX200 (Pulkovo Observatory) was transported to this site in 2022. In addition, it became possible to claim part of the observational time of the 1.5-meter AZT-20 telescope, which provides imaging both in the photometric mode in the *griz* bands and in the spectroscopic mode. The test observations were made with these instruments in August 2022. The present paper discusses the results of these observations and the prospects for further implementation of the Pulkovo observational programs at the Assy-Turgen observatory. It is shown that a positional accuracy better than 50 mas was reached with the 40-cm telescope measurements of the distant satellites of Jupiter and Saturn. Photometric measurements with this telescope allow us to obtain an accuracy of 0.02^m. These are competitive values for many types of observations which will be significantly improved after the necessary deep alignment of the telescope optics. The astrometric accuracy of less than 20 mas is reachable with the AZT-20 telescope of this observatory (according to the internal convergence of astrometric measurements observations of the Uranian satellites). Spectral observations of the 61 Cygnus binary system were performed with this instrument in order to develop the method for determining the relative radial velocities. This is necessary to improve the accuracy of determining the orbital parameters of the binary star systems and searching for low-mass components and exoplanets.