

Приложение Б.  
Документы по методике интегральной полевой спектроскопии УНУ БТА



УТВЕРЖДАЮ

Директор САО РАН

Член-корр. РАН Балага Ю.Ю.

### ПАСПОРТ

На опытный образец волоконно-линзового блока ИПС  
спектрографа SCORPIO-2

1. НАЗНАЧЕНИЕ: Реализация режима интегральной полевой спектроскопии (ИПС) в спектрографе SCORPIO-2
2. СОСТАВ: Линзовый растр в оправе и пучок волоконно-оптических световодов, реформирующих матрицу микро-зрачков, построенных растром, в две псевдо-щели и вводимый в спектрографе дополнительный коллиматор.
3. ЛИНЗОВЫЙ РАСТР:
  - массив 606 квадратных микролинз 2x2 мм с фокусным расстоянием 11 мм изготовленных из стекла ЛК-8;
  - линзовый массив содержит матрицу 22x22 линзы для регистрации исследуемого объекта и две матрицы 2x7 линз для регистрации ночного неба;
  - проектирующая оптика спектрографа обеспечивает в плоскости растра масштаб изображения 0.75 угловых секунд/линзу и пробы ночного неба на расстояниях  $\pm 3$  угловых минуты в проекции на небесную сферу.
4. ВОЛОКОННЫЙ БЛОК:
  - световой диаметр волокон 150 мкм, диаметр со слоем полного внутреннего отражения 165 мкм, диаметр с защитной алюминиевой оболочкой 205 мкм, рабочая длина световодов 210 мм;
  - световоды изготовлены по технологии кварц-кварц и имеют числовую апертуру 0.11, пропускание в диапазоне 0.35-0.95 мкм не менее 98%;
  - входные торцы световодов установлены в матрице отверстий, соответствующим положениям микрозрачков, выходные торцы упорядочены в две псевдо-щели, в которой соответствующие столбцы объектной матрицы перемежаются световодами от фона неба;
  - точность установки световодов в положения микрозрачков около 35 мкм, что приводит к геометрическим потерям пропускания не более 20%.
5. КОЛЛИМАТОР ИПС
  - шестилинзовый апохромат  $F=240$  мм,  $F/6$ ,  $2\omega=22^\circ$ .
6. ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
  - кружок рассеяния (FWHM) не более 50 мкм в спектральном диапазоне 0.37-0.95 мкм при этом диаметр монохроматического изображения торца световода 68 мкм ;
  - механическая стабильность на телескопе не менее 15 мкм в рабочем диапазоне зенитных расстояний 5-50°;
  - измеренная квантовая эффективность спектрографа SCORPIO-2 с блоком ИПС около 25% на длине волны 0.52 мкм.
7. ПРИЛОЖЕНИЕ: Эскиз блока ИПС и фотография линзового растра.

Руководитель работ  
Главный научный сотрудник



Афанасьев В.Л.

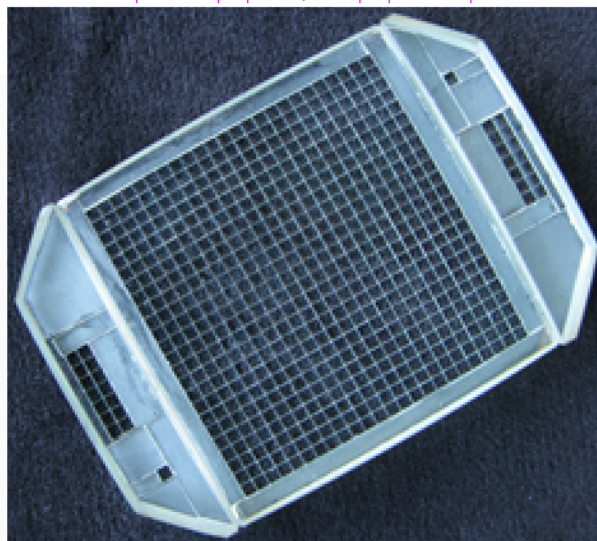
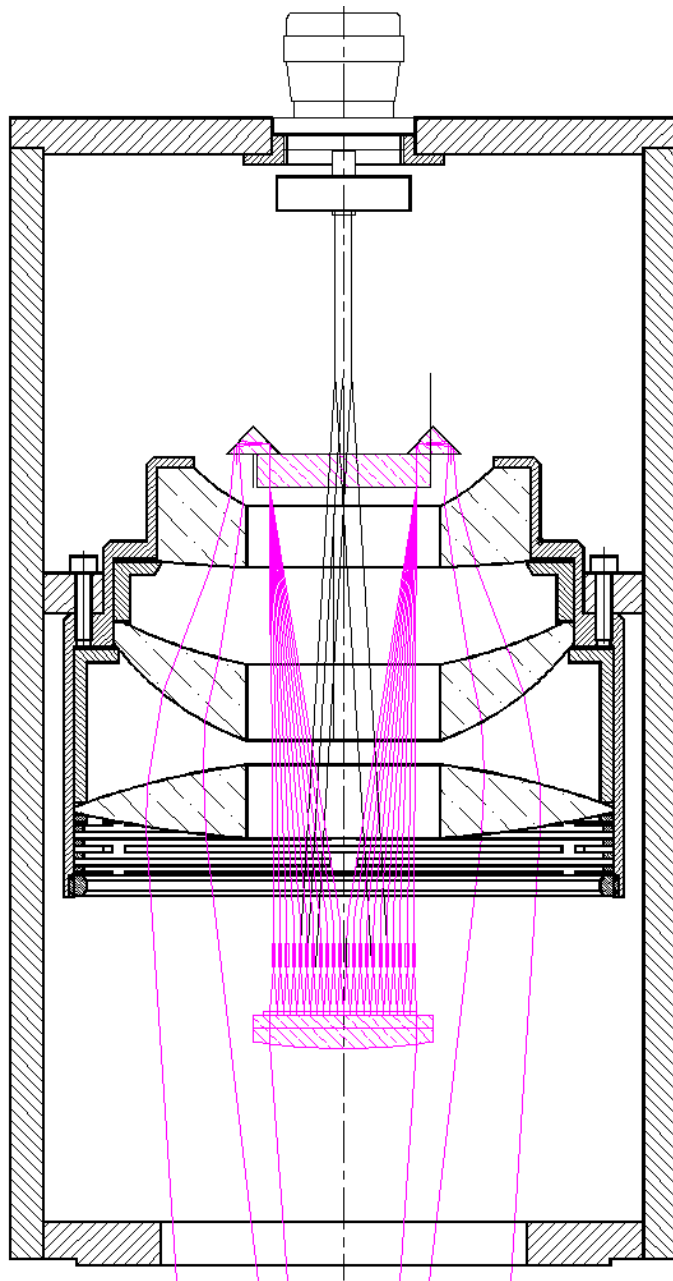


Рисунок Б.1 – Эскиз блока ИПС и фото линзового блока.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Рег. №

УДК 520.27, 520.843

УТВЕРЖДАЮ

Вр.и.о. директора САО РАН  
член-корр. РАН Балегга Ю.Ю.



Методика интегральной полевой спектроскопии для спектрографа  
первичного фокуса УНУ БТА.

Разработана в рамках  
Соглашения № 14.619.21.0004 от 22 августа 2014 г.

Нижний Архыз

2014

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, заместитель  
директора САО РАН, к.ф.-м.н

В.В.Власюк  
(Общее руководство)

Исполнители темы:

Главный научный сотрудник, д.ф.-  
м.н.

В.Л.Афанасьев  
(Разработка методики)

Нормоконтролер,  
старший экономист САО РАН

Т.Ф.Труфанова

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | ТЕМА ПРОЕКТА                                | 60 |
| 2 | ЦЕЛЬ ПРОЕКТА                                | 60 |
| 3 | БЛОК ИНТЕГРАЛЬНОЙ ПОЛЕВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ     | 60 |
| 4 | ЛАБОРАТОРНЫЕ ТЕСТЫ                          | 60 |
| 5 | ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИБОРА | 61 |
| 6 | ПРОГРАММА РЕДУКЦИИ ДАННЫХ                   | 62 |
| 7 | ЗАКЛЮЧЕНИЕ                                  | 63 |

ТЕМА ПРОЕКТА: Повышение эффективности универсального спектрографа низкого разрешения SCORPIO 6-метрового телескопа БТА Российской академии наук.

ЦЕЛЬ ПРОЕКТА: Внедрение нового режима работы на спектрографе - интегральной полевой спектроскопии (ИПС), позволяющей получать одновременно более 600 спектров от всех элементов изображения в поле зрения  $18 \times 18$  угловых секунд с разрешением 0.75 секунд дуги и замена светоприемника с целью увеличения чувствительности в голубом диапазоне более чем в два раза.

## БЛОК ИНТЕГРАЛЬНОЙ ПОЛЕВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

1. Разработан и изготовлен блок интегральной полевой спектроскопии (ИПС) для спектрографа SCORPIO, вводимый в спектрографе дистанционно, оптическая схема, которого показана на рисунке Б.2.

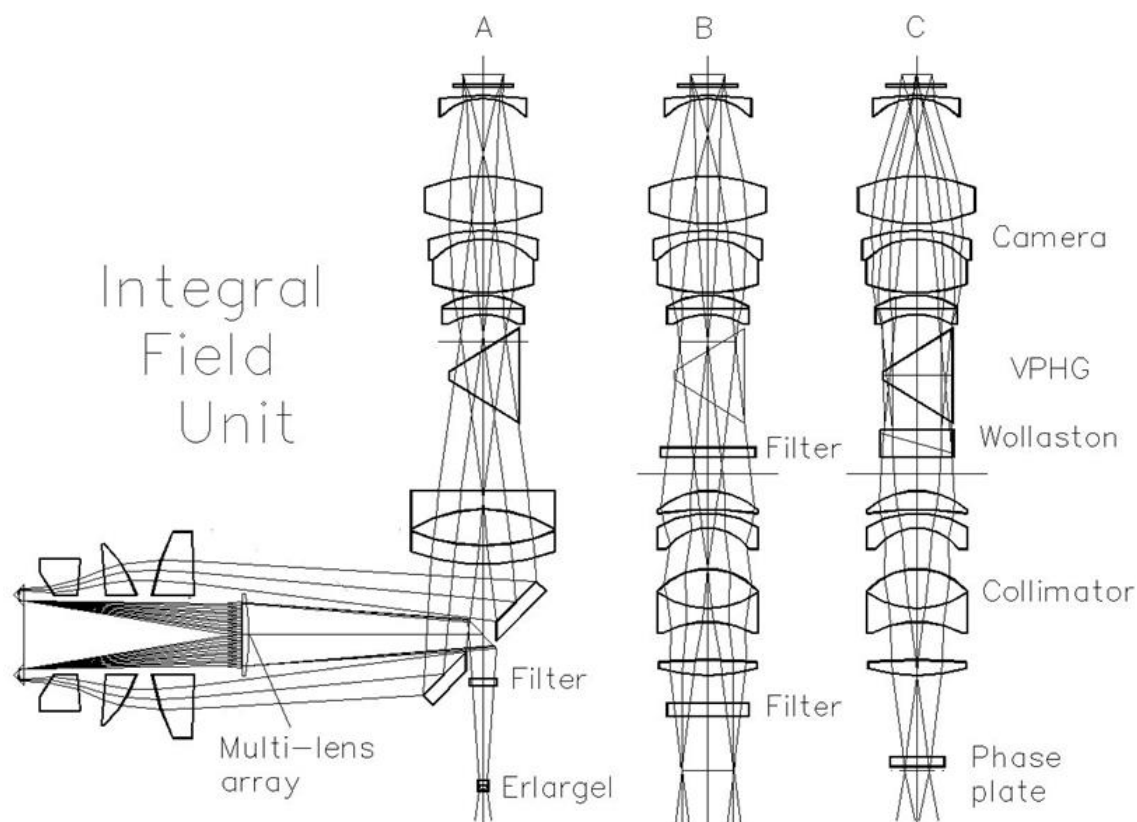


Рисунок Б.2 - Оптическая схема ИПС, вводимого в спектрографе SCORPIO, путем замены коллиматора и ввода вместо щели трех микрообъективов (enlarger lens).

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ТЕСТЫ

Проведены лабораторные тесты для первого варианта  $22 \times 22$  элементов, которые показали правильность технического решения и соответствие качества оптики блока ИПС расчетному - кружок рассеяния по всему полю зрения  $62 \times 27$  мм не более  $3.5 \mu\text{m}$  ( $50 \mu\text{m}$ ) в диапазоне длин волн  $0.35-0.95 \mu\text{m}$ . При этом использовался линзовый блок  $24 \times 24$  квадратные микролинзы апертурой  $2 \times 2$  мм, что в проекции на небесную сферу составило 0.75 секунды дуги. Блок формировал матрицу микрозрачков, которая реформировалась в



две псевдо щели при помощи волоконных световодов диаметром 150 мкм (размер монохроматического изображения торца световода в плоскости приемника 5 рх). Результаты даны ниже на рисунке Б.3.

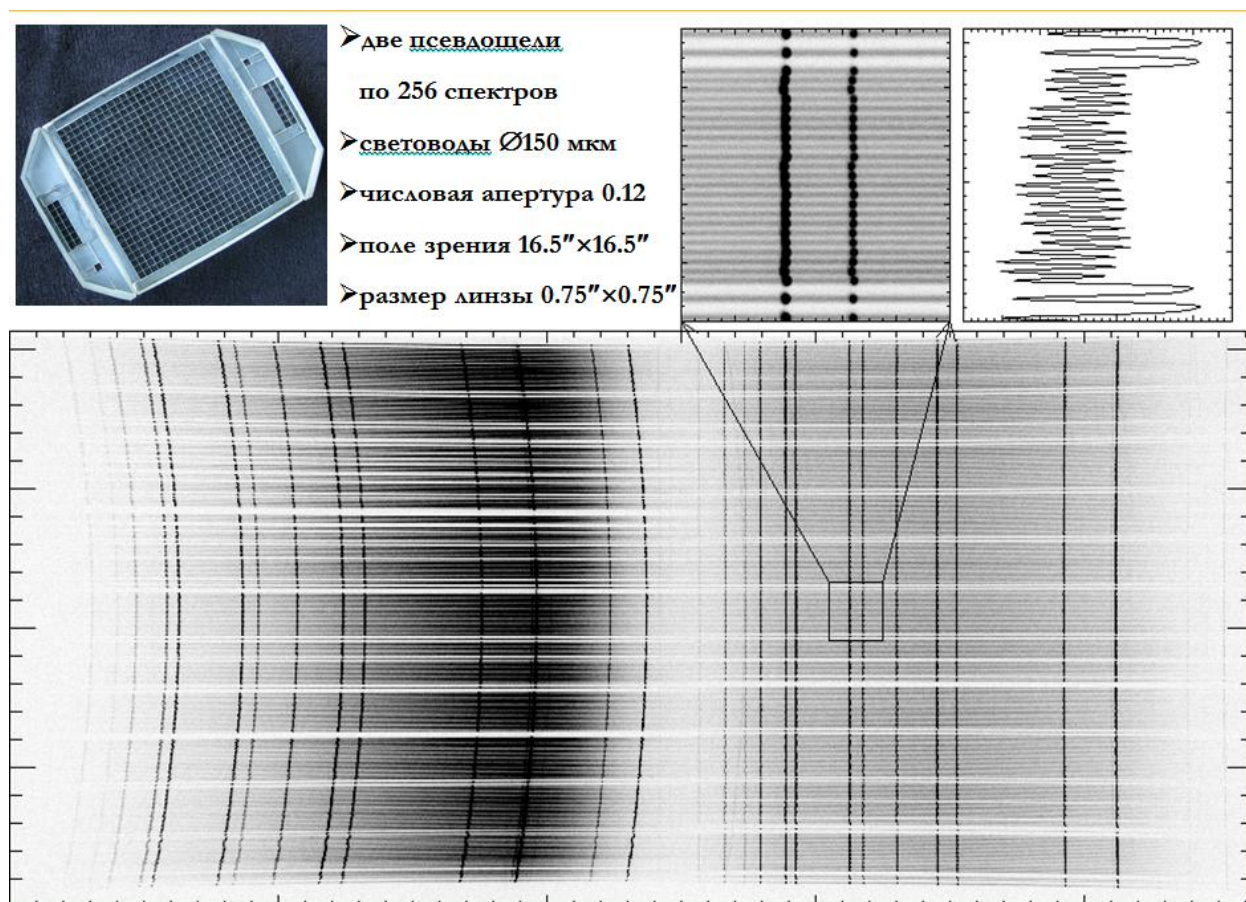


Рисунок Б.3 - Фотография микролинзового блока ИПС, его параметры и пример лабораторных спектров полученных области линии  $H\alpha$  с решеткой VPHG1800@660 .

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИБОРА

Исследованы смещения изображения в режиме ИПС из-за механических деформаций на различных зенитных расстояниях и позиционных углах инструмента. Деформации панорамного модуля ИПС при различных положениях SCORPIO-2 являются малыми и учитываются параллельными смещениями изображений. Для типичных условий наблюдений на телескопе ( $z < 50^\circ$ ) разброс между центрами тяжести серии изображений составляет не более 5 рх, а при их совмещении для отдельной серии разброс для опорных точек не превышает 1 рх. Результаты даны на рисунке Б.4.

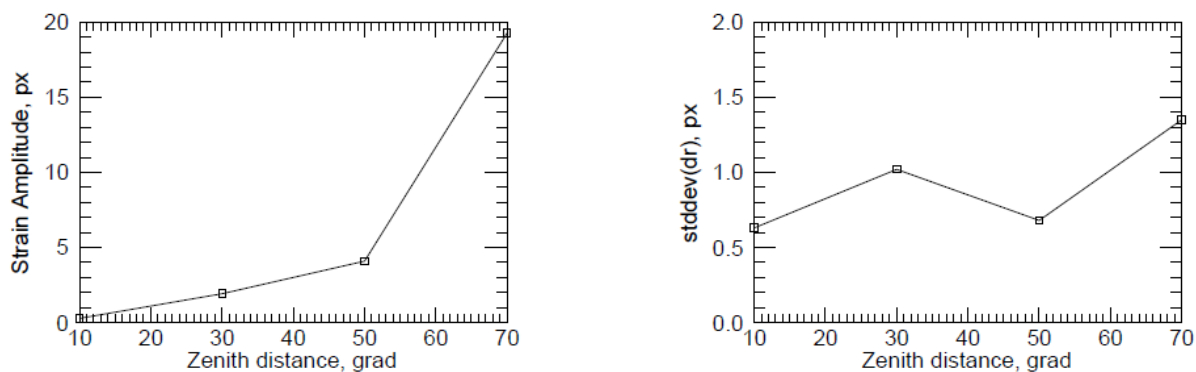


Рисунок Б.4 – Слева - амплитуды деформаций на различных зенитных расстояниях  $z$ , справа - разбросы положений опорных точек после совмещения барицентров для различных  $z$ .

## ПРОГРАММА РЕДУКЦИИ ДАННЫХ

Разработана первая версия программ редукции данных, полученных с ИПС, исправляющая двухмерные искажения спектров и приводящая данные к длинам волн и потокам за атмосферу. Проведены пробные наблюдения с макетом блока ИПС на БТА в различных спектральных диапазонах. Эффективность спектрографа в режиме ИПС оказалась достаточно высокой – 20-25%, что соответствует расчетной величине в проекте ИПС SCORPIO. Следует отметить, что полученная величина оказалась значительно выше эффективности мультизрачкового спектрографа MPFS, который использовался для интегральной полевой спектроскопии на БТА и имел пропускание около 3%.

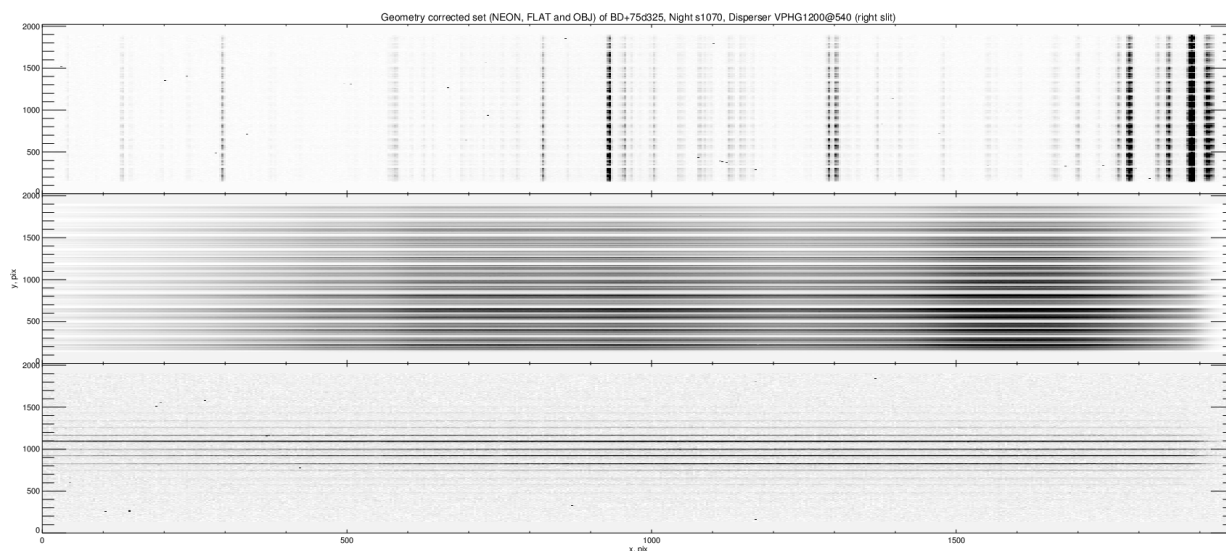


Рисунок Б.5 - Пример спектров стандартной звезды BD+75d325, полученных на БТА со спектрографом SCORPIO в режиме ИПС (вверху - спектр сравнения для калибровки длин волн, в центре – спектр кварцевой лампы для калибровки пропускания отдельных линз, внизу – спектр звезды). Спектры получены в зеленой области спектра.

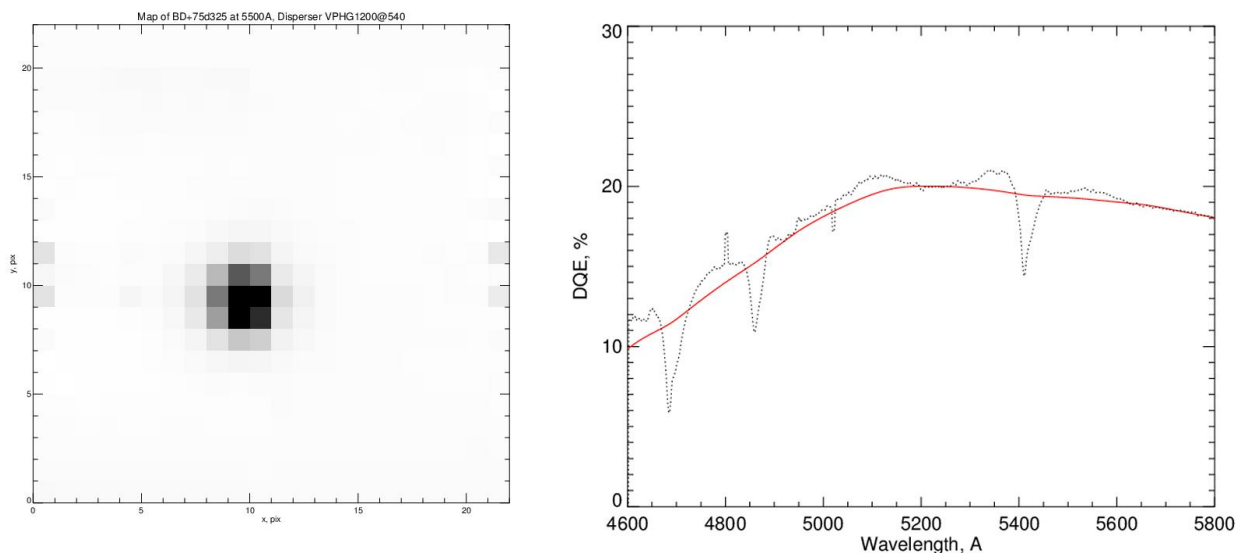


Рис.Б.6 - Изображение звезды BD+75d325 для длины волны 0.5 мкм и определенная полная квантовая эффективность DQE системы «телескоп+спектрограф+ИПС+светоприемник».

На рисунках Б.5 и Б.6 показаны примеры реальных спектров и результат восстановления изображения стандартной звезды и определения полной квантовой эффективности разработанной методики.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная и внедренная методика позволяет начать на светосильном спектрографе первичного фокуса УНУ БТА SCORPIO пробные наблюдения в режиме панорамной спектроскопии. Тесты подтвердили соответствие расчетных и результирующих параметров по эффективности и стабильности. Полноценная реализация метода состоится после установки светоприемника с улучшенной эффективностью в голубой области спектра.



УТВЕРЖДАЮ

Вр.и.о. директора САО РАН  
член-корр. РАН Балера Ю.Ю.

**АКТ О ВНЕДРЕНИИ**  
методики интегральной полевой спектроскопии для  
спектрографа первичного фокуса

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе:  
Власюк В.В. – заместитель директора по научной работе, председатель  
Афанасьев В.Л. – гл.н.с. лаборатории СФВО,  
Борисов Н.В. – ст.н.с. лаборатории ОН,  
Додонов С.Н. – зав.лаб. СФВО,

составили настоящий акт о нижеследующем.

Комиссии были предоставлены материалы по методике интегральной полевой спектроскопии для спектрографа первичного фокуса УНУ БТА, включающие рабочую документацию, описания и результаты испытаний на телескопе.

Рассмотрев предоставленные материалы и ознакомившись с инструментальной реализацией методики, комиссия пришла к заключению о том, что характеристики разработанной методики соответствуют лучшим мировым образцам и обладают реальной конкурентоспособностью. Комиссия считает, что созданная методика может считаться внедренной в практику астрофизических исследований на УНУ БТА и должна быть рекомендована к использованию в ходе плановых наблюдений.

Председатель комиссии

Члены комиссии

Власюк В.В.

Афанасьев В.Л.

Борисов Н.В.

Додонов С.Н.