

# ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ ИНФРАКРАСНОГО СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРА.

Бескакотов А. С., Максимов А.Ф., Дьяченко В. В., Митрофанова А. А., Балега Ю. Ю.

Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук, 369167 Нижний Архыз, Россия

\*beskakotov@sao.ru



## Аннотация

Представлены результаты работы по разработке опытного образца инфракрасного спекл-интерферометра на базе серийной SWIR-камеры с охлаждаемой матрицей на фотодиодной InGaAs-структуре. Лабораторные исследования камеры показали, что средний темновой ток достаточно стабилен в течение времени, занимаемого записью серии спекл-изображений средней длительности (2-5 минут), однако одностадийное охлаждение сенсора на основе элемента Пельтье с жидкостным отводом тепла является недостаточным для уменьшения темнового тока до приемлемых значений. Также обнаружены наличие "горячих" и "холодных" пикселей и волнистая форма среднего темнового сигнала на малых экспозициях (до 50 мс). Тестовые наблюдения проводились в первичном фокусе 6-м телескопа САО РАН. В результате анализа наблюдательного материала были установлены предельная звездная величина для наблюдаемых объектов ( $m_J < 8^m$ ) и предельная разность блеска компонентов кратных систем ( $\Delta m_J < 4^m5$ ). Описанные выше недостатки камеры приводят к незначительному снижению точности измерений. Модернизация спекл-интерферометра позволит повысить предел яркости доступных для наблюдений объектов на 1-2 звездные величины и значительно увеличить их количество.

## ВВЕДЕНИЕ

На БТА САО РАН спекл-интерферометрия звезд в ближнем инфракрасном диапазоне (1 - 2.2 мкм) выполнялась с середины 90-х годов в сотрудничестве с коллегами из Боннского института радиоастрономии Макса Планка с использованием камеры HAWAII [1, 2, e.g.].

Для продолжения данных исследований на Большом Телескопе Альт-Азимутальном (БТА) САО РАН в ИК-диапазоне в 10-х годах XXI века единственным коммерчески доступным детектором оказалась камера "SWIR Snake-640", имеющая матрицу на InGaAs-структуре с чувствительностью в диапазоне 1-1.7 мкм. С применением этого детектора был разработан опытный образец спекл-интерферометра и проведены тестовые наблюдения на телескопе для установления предела проникающей способности.

## ОПИСАНИЕ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРА

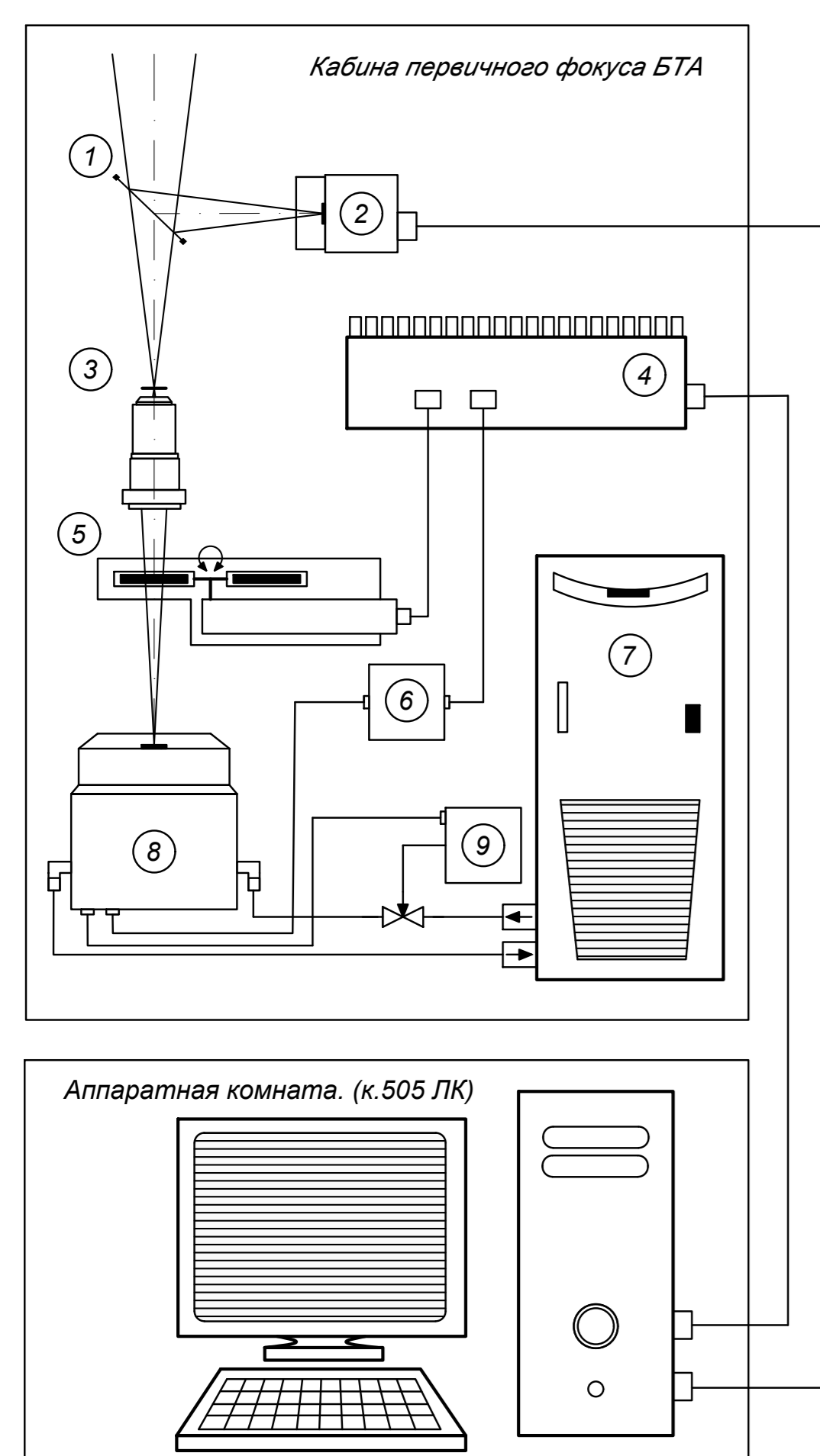


Рис. 1: Структура комплекса наблюдений методом спекл-интерферометрии в ближнем инфракрасном диапазоне: 1 – мембранный светоделитель 92:8, 2 – камера гидрирования, 3 – микрообъектив 10 $\times$ , 4 – индустриальный компьютер, 5 – моторизованная турель фильтров, 6 – плата видеозахвата (frame grabber), 7 – водяной охладитель, 8 – регистрирующая InGaAs камера, 9 – датчик потока воды в системе охлаждения

За основу опытного образца была принята упрощенная конструкция действующего спекл-интерферометра БТА с высокочувствительным EMCCD детектором [3]. Схематически структура комплекса наблюдений методом спекл-интерферометрии в ближнем инфракрасном диапазоне представлена на Рис. 1.

В качестве регистрирующей камеры используется детектор "SWIR Snake-640", разработанный компанией "Photonic Science" (Великобритания). Матрица на InGaAs структуре по данным производителя имеет квантовую эффективность (КЭ) 80% на длине волны 1000 нм и 70% в диапазоне от 950 нм до 1700 нм. Фоточувствительная область матрицы составляет 9.6 мм  $\times$  7.68 мм, при размере одного фоточувствительного элемента 15 мкм и формате 640  $\times$  512 элементов. Для отвода тепла от матрицы использовалась система жидкостного охлаждения.

Основными элементами оптико-механического блока спекл-интерферометра ближнего инфракрасного диапазона являются: тонкая мембрана 92%/8% для отвода света на камеру гидрирования, микрообъектив 10 $\times$  для согласования масштаба изображения в фокусе БТА с размерами элемента регистрирующей камеры, набор интерференционных фильтров для выделения узкой спектральной полосы. Пучок света  $f : 4$  от главного зеркала БТА формирует изображение в фокальной плоскости и, после прохождения через все оптические элементы, регистрируется главным приемником и камерой гидрирования.

Для приемника 640  $\times$  512 элементов с размером фоточувствительной области 9.6 мм  $\times$  7.68 мм в указанной конфигурации спекл-интерферометра поле зрения составляет 8 $''$ .25  $\times$  6 $''$ .6.

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате лабораторных исследований был обнаружен один из важных недостатков камеры - волнообразный вид темнового сигнала с большим количеством "плохих" (имеются в виду как "горячие", так и "холодные") пикселей при низких значениях экспозиции (Рис. 2а). Программное обеспечение (ПО) производителя способно лишь частично устранить эти артефакты только на больших экспозициях (от 100 мс).

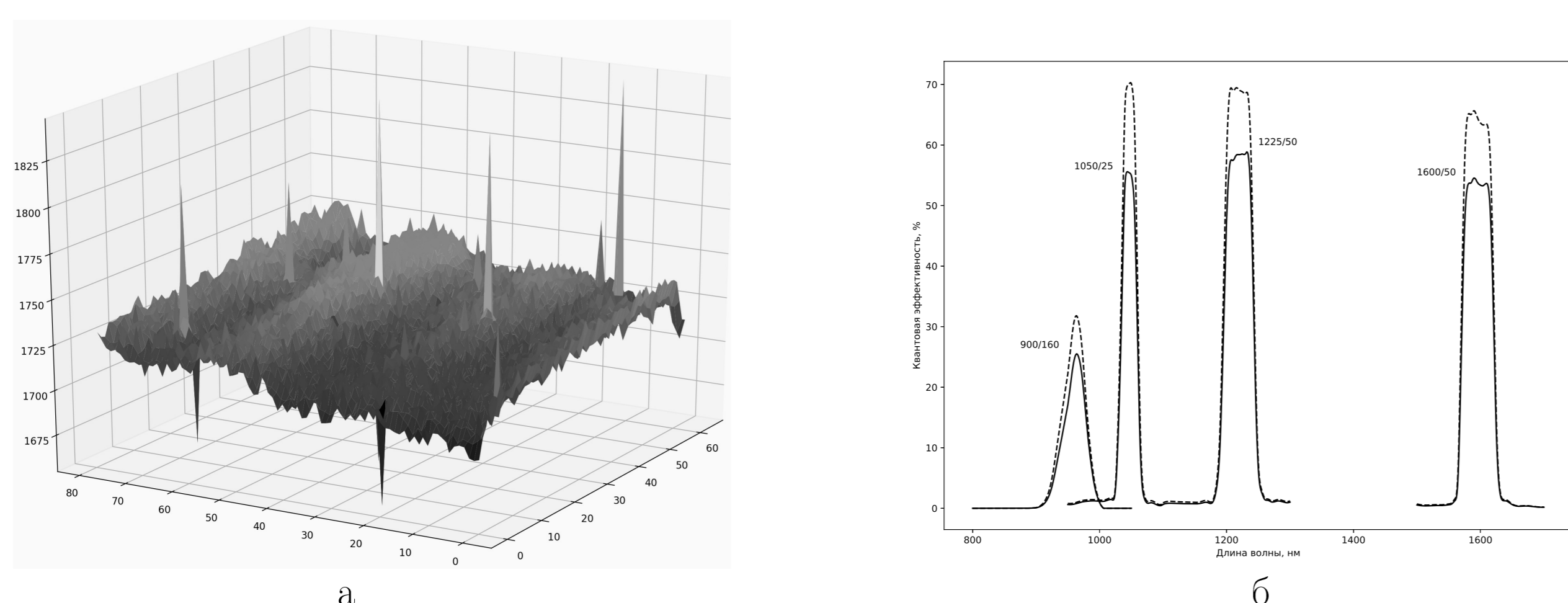


Рис. 2: а – Темновой сигнал регистрирующей камеры с экспозицией 20 мс и применением коррекций. Для удобства на графике выполнено программное усреднение соседних пикселей площадкой размером 8 $\times$ 8. б – Квантовая эффективность системы в разных полосах. Текстом на графике указаны типы установленных интерференционных фильтров с указанием центральной длины волны и ширины полосы пропускания ( $\lambda/\Delta\lambda$ ). Сплошной линией показана измеренная относительная квантовая эффективность оптических элементов в совокупности с заявленными характеристиками детектора и мембраны. Пунктирной линией отмечены изменения в квантовой эффективности в случае вывода мембраны из оптического тракта и замены микрообъектива на имеющий просветляющее покрытие в ближней ИК области ( $\approx 95\%$ ).

## НАБЛЮДЕНИЯ

Для тестовых наблюдений спекл-интерферометр ближнего инфракрасного диапазона был установлен в первичный фокус 6-м телескопа САО РАН 26 и 27 июня 2016 года и 10 февраля 2017 года. Наблюдения проводились при удовлетворительных и хороших погодных условиях (качество изображений в среднем составляло 1 $''$ -2 $''$ ). В течение 3-х ночей были получены спекл-изображения 48 объектов от 0 $^m$ J до 10 $^m$ J. Для каждой звезды были накоплены серии от 250 до 1000 изображений с экспозициями от 20 до 100 мс.

На Рис. 3 представлены изображения двойной системы HIP 74386 с самой большой разностью блеска компонентов  $\Delta m < 4^m5$  из разрешенных. Также показаны артефакты, возникающие в спектре мощности и автокорреляционной функции, образующиеся под влиянием неоднородностей темнового сигнала матрицы.

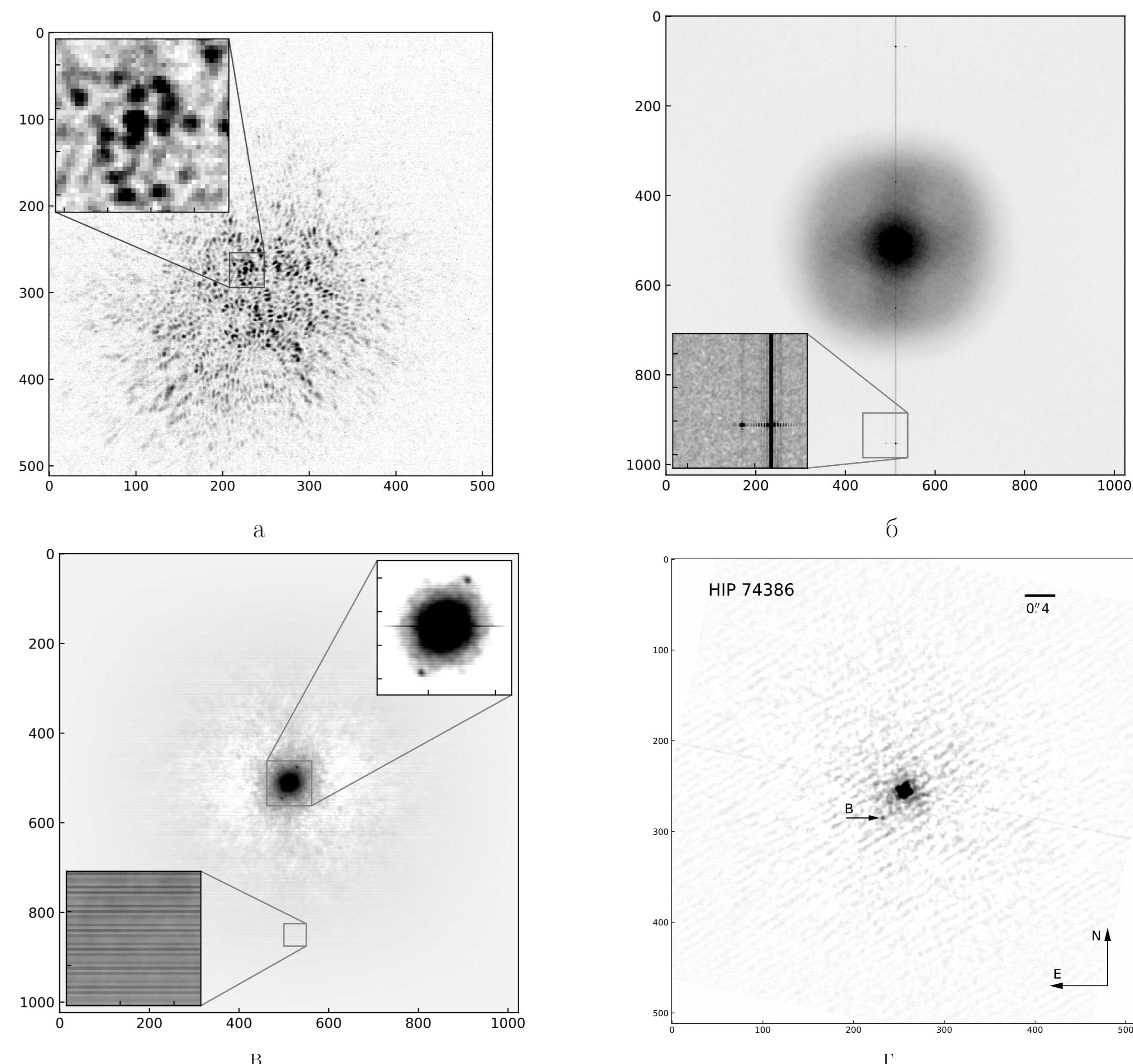


Рис. 3: Изображение двойной звезды HIP 74386 (а), полученное в феврале 2017 г. в фильтре 1050/25 нм; спектр мощности (б) и автокорреляционная функция (в), рассчитанные по серии изображений; восстановленное изображение с однозначным положением вторичного компонента (г).

## ОБСУЖДЕНИЯ

В результате обработки и анализа наблюдательных данных был установлен предел наблюдаемых объектов по звездной величине  $m_J < 8^m$  и по разности блеска компонентов  $\Delta m < 4^m5$ . Наличие "плохих" пикселей и неплоского темнового поля детектора приводит к существенному ухудшению качества данных, однако незначительно снижает точность расчетов.

Для повышения эффективности работы спекл-интерферометра ближнего инфракрасного диапазона необходимо использовать интерференционные фильтры с шириной полосы пропускания не менее 100 нм и масштабированный микрообъектив, имеющий просветляющее покрытие в ближней ИК области. Также, для уменьшения световых потерь, вместо мембранного светоделителя и камеры гидрирования необходимо использовать сменный микрообъектив или систему линз с переносом изображения 1 к 1 на матрицу регистрирующей камеры.

Стоит отметить, что применение 10 $\times$  микрообъектива избыточно, особенно на длине волны 1600 нм. Размер одного спекла в этой области спектра  $d \approx 7.8$  мкм, поэтому можно ограничиться увеличением 4 $\times$ . Применение микрообъектива из стандартного ряда с увеличением 5 $\times$  повысит отношение сигнал/шум в кадре при том же разрешении за счет увеличения концентрации света.

Приведенные выше конструктивные изменения позволят повысить чувствительность прибора на 1 $^m$ -2 $^m$  (Рис. 2б), что значительно увеличит количество объектов, доступных для наблюдения, а соответственно и список задач, которые прибор будет способен решить.

## Список литературы

- [1] R. Osterbart, A. Men'shchikov, G. Weigelt, et al., in *Astronomische Gesellschaft Abstract Series* (1998), vol. 14, pp. 114-114.
- [2] A. B. Men'shchikov, Y. Balega, T. Blöcker, et al., *Astron. and Astrophys.* 368, 497 (2001).
- [3] A. F. Maksimov, Y. Y. Balega, V. V. Dyachenko, et al., *Astrophysical Bulletin* 64, 296 (2009).