

XX международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

(14 — 18 ноября 2022, г. Москва, Российская Федерация)

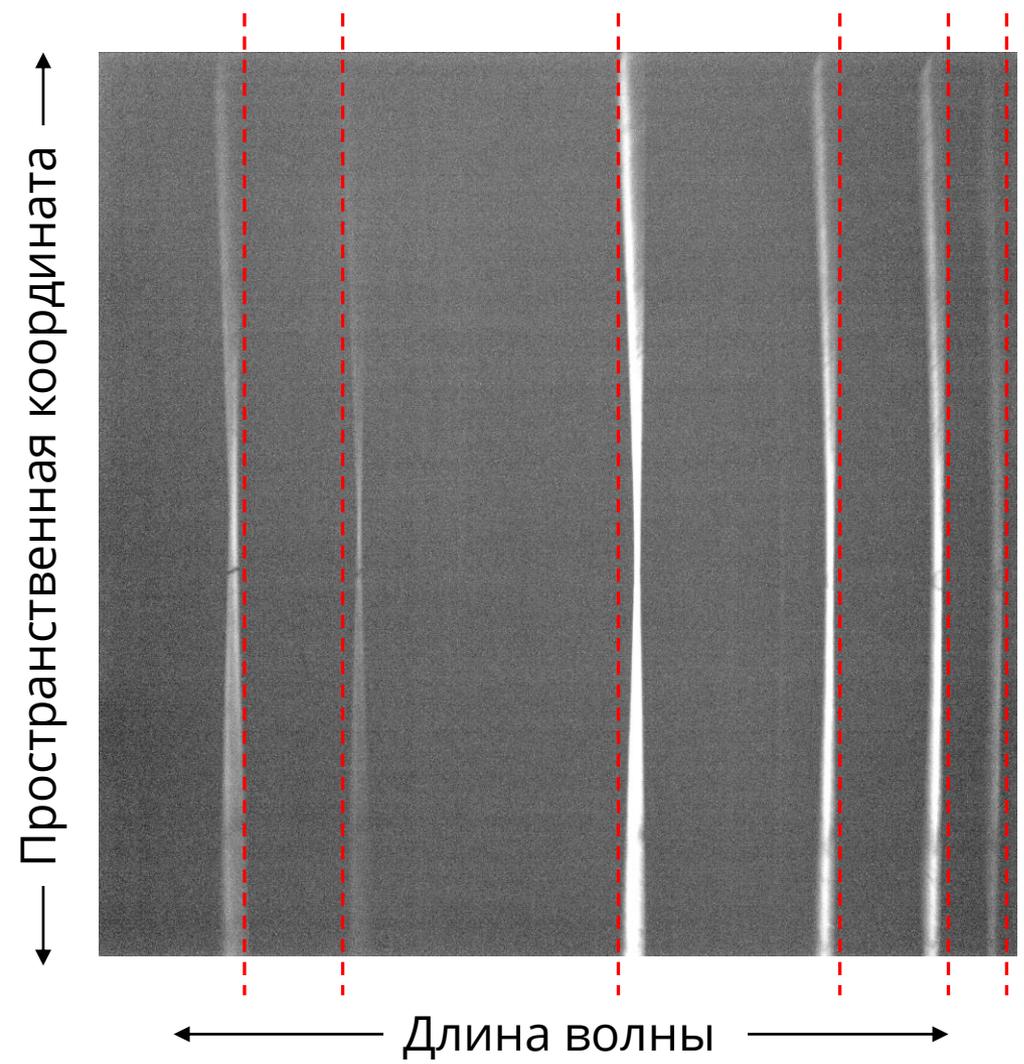
# Алгоритм автоматического определения спектральных линий на подверженных абберациям снимках при калибровке спектрометров изображения по длинам волн

А. О. Мартинов

Научно-исследовательское учреждение «Институт  
прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко»  
Белорусского государственного университета

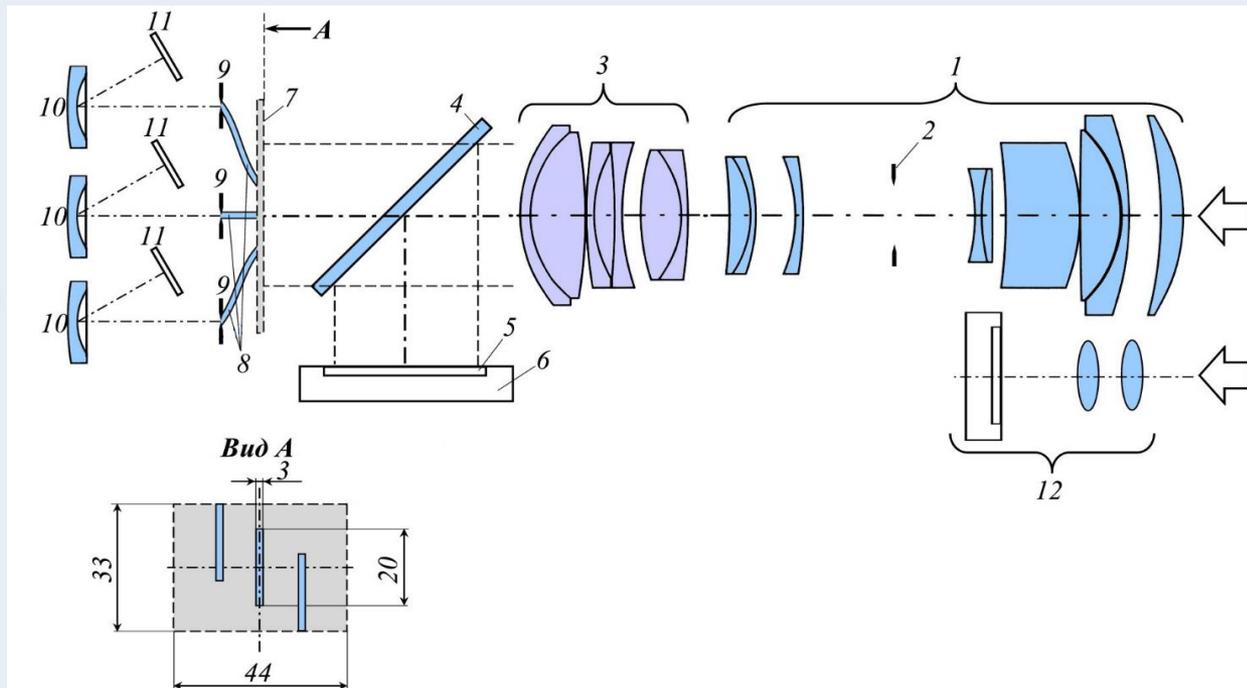
# Аберрации на пространственно-спектральных изображениях

Пространственно-спектральное изображение линий лазерных диодов, подверженное ряду аберраций (дисторсии, астигматизму и кривизне поля изображения)



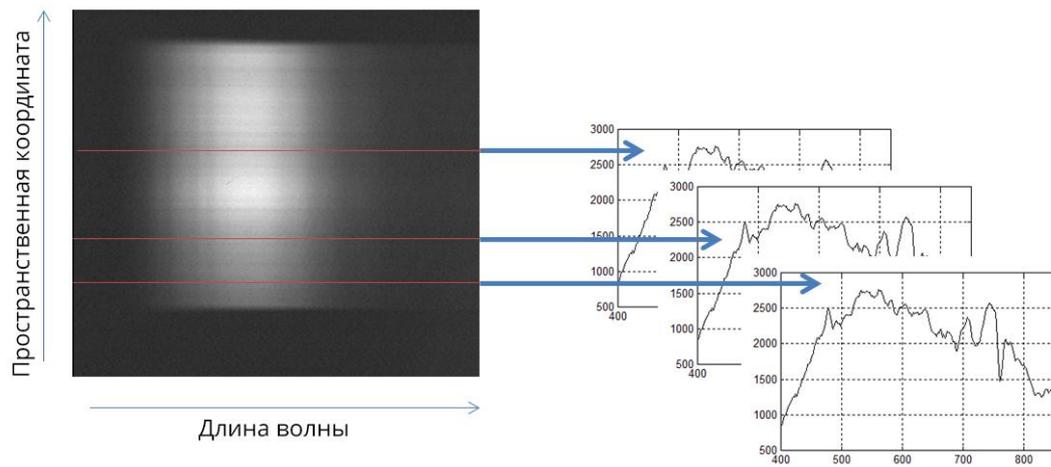
## Оптическая схема видеоспектральной системы «ВСС»

- 1 – входной объектив;
- 2 – электромеханический затвор;
- 3 – конвертер;
- 4 – плоская полупрозрачная пластина узла светоделителя;
- 5 – цветная фотоприемная матрица;
- 6 – цифровой адаптер (задник);
- 7 – вторая плоскость изображения;
- 8 – световоды;
- 9 – входные щели полихроматоров;
- 10 – диспергирующие элементы (вогнутые голограммные решетки);
- 11 – приемные матрицы полихроматоров Вауера;
- 12 – камера видеосопровождения

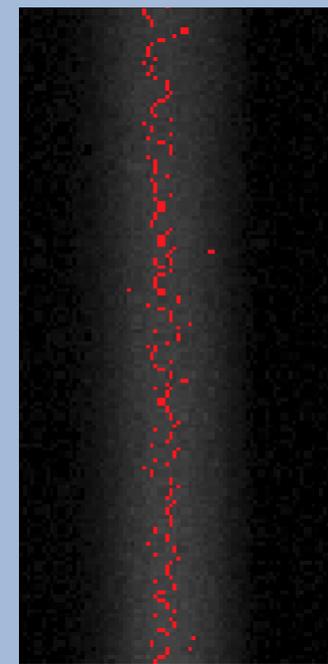
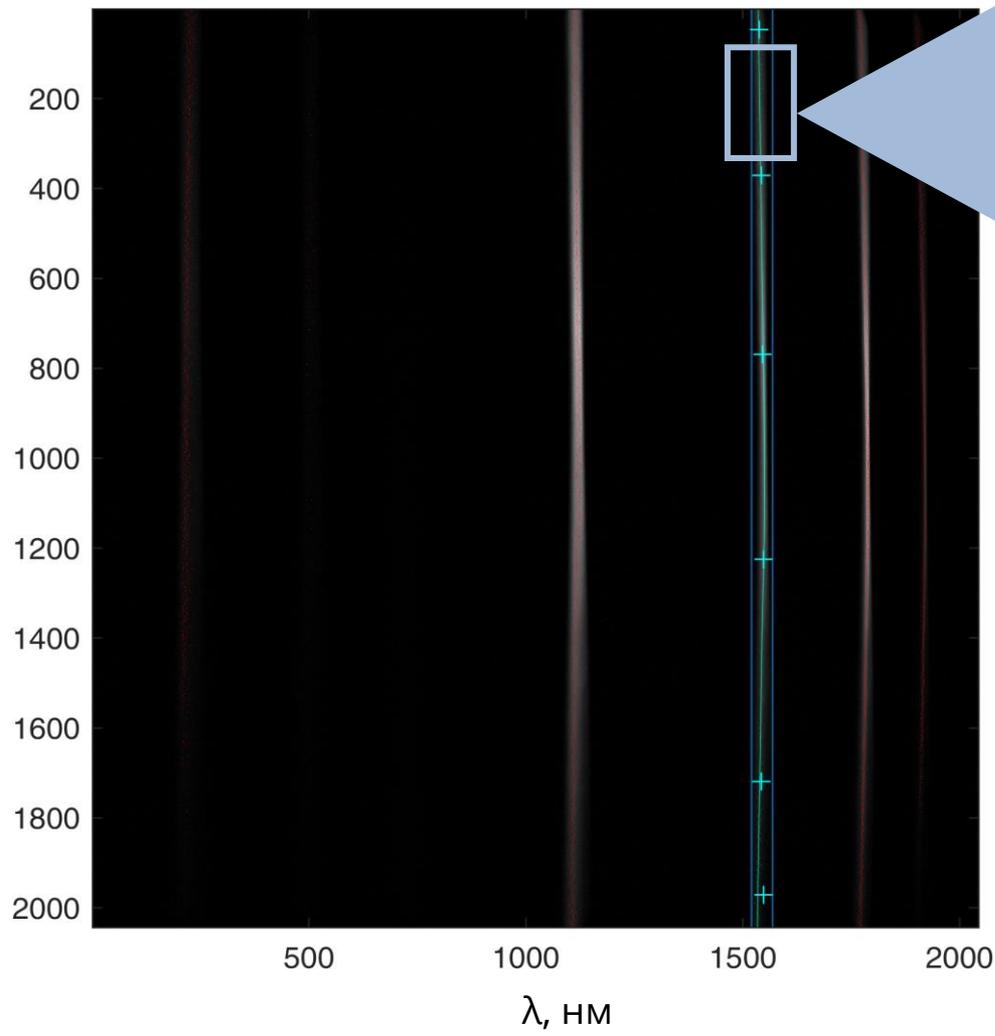


## Характеристики Спектрометров изображения

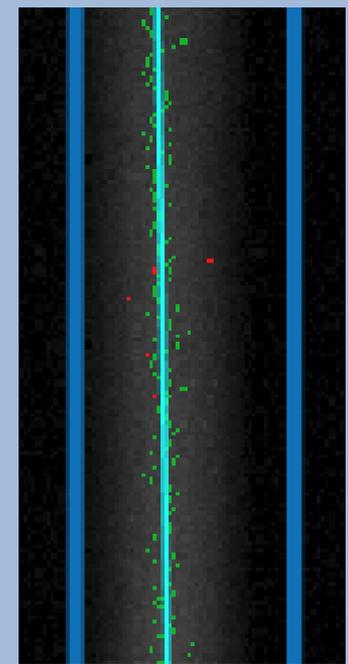
Спектральный диапазон, нм	400–950
Спектральное разрешение, нм	4,4–5,0
Тип дифракционной решетки	вогнутая голограммная
Число штрихов, штр./мм	315
Разрешение, пиксель	2044 × 2044



# Поиск спектральных линий

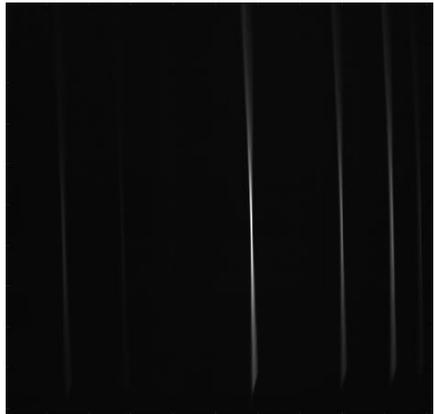


Поиск максимумов спектров



Отбор максимумов и аппроксимация кривой

# Алгоритм поиска спектральной линии



пространственно-спектральное  
изображение



Задание произвольного числа опорных точек на  
центре спектральной линии и границ  
области спектральной линии на изображении



Для каждой строки изображения находятся пики,  
в соответствии с заданными параметрами  
PeakFinder'a Sel и Thresh



В каждой строке изображения, в которой есть  
пики, находится такой пик, который:

- 1) находится внутри выбранной пользователем  
области вокруг спектральной линии;
- 2) по  $\lambda$ -координате ближе к  $\lambda$ -координате  
ближайшей опорной точки.

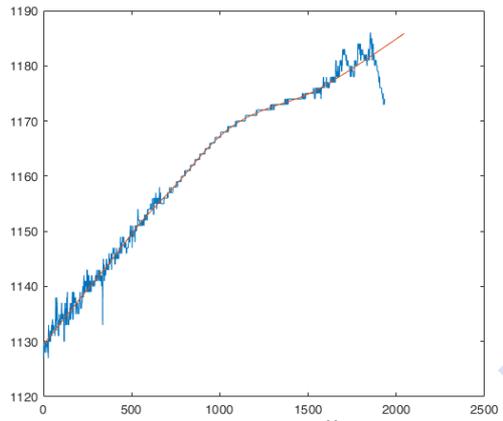
Из найденных пар значений (номер строки  
изображения, номер столбца) формируется  
кривая



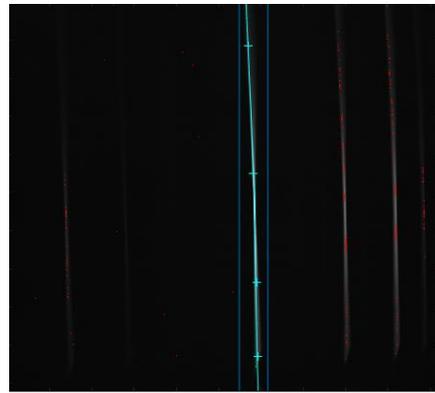
Сглаживание кривой при помощи построения  
локальной полиномиальной регрессии (алгоритм  
loess с параметром span: 0,3)



Интерполяция значений для каждой строки  
изображения



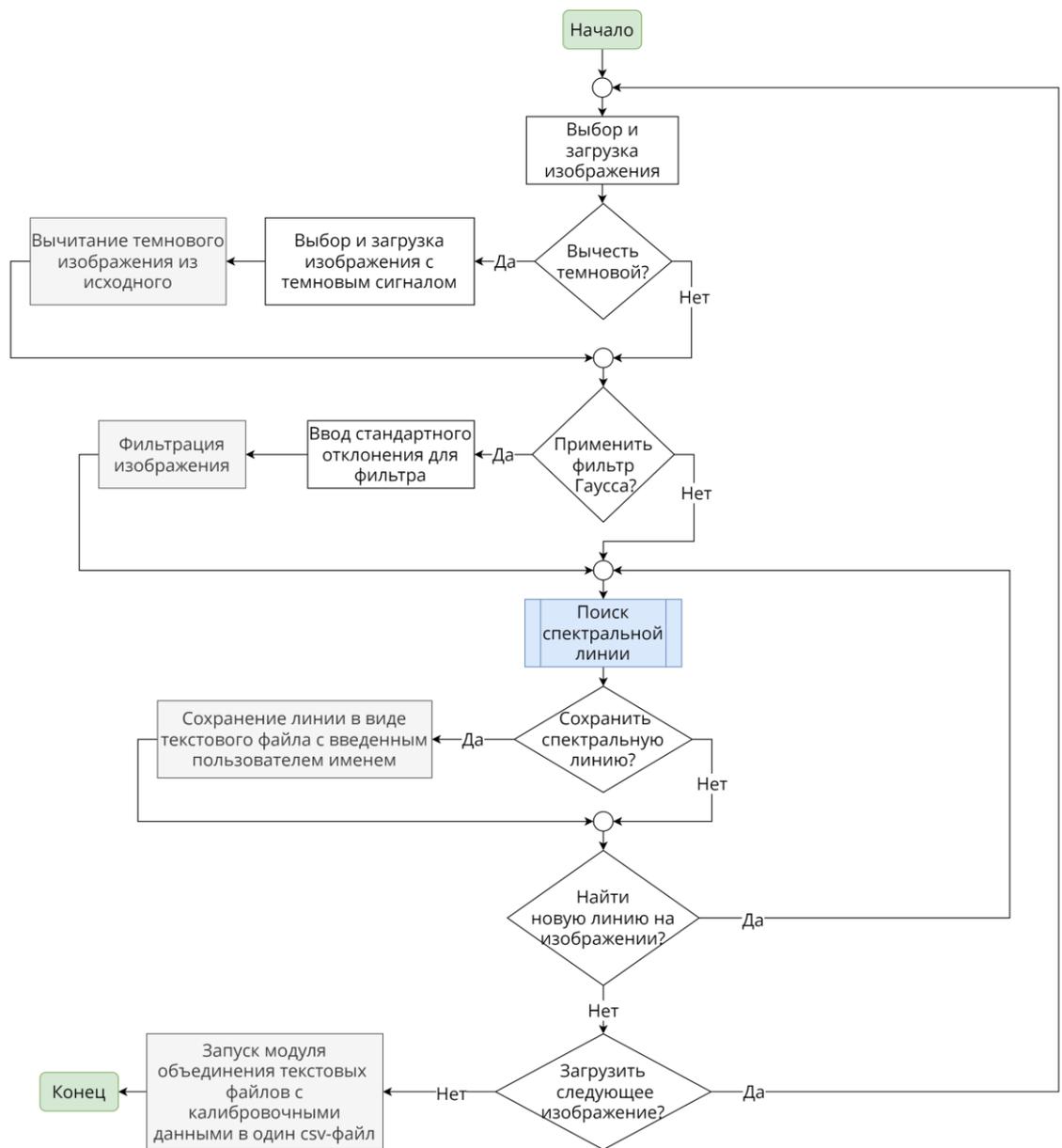
Аппроксимация найденных  
пиков гладкой кривой



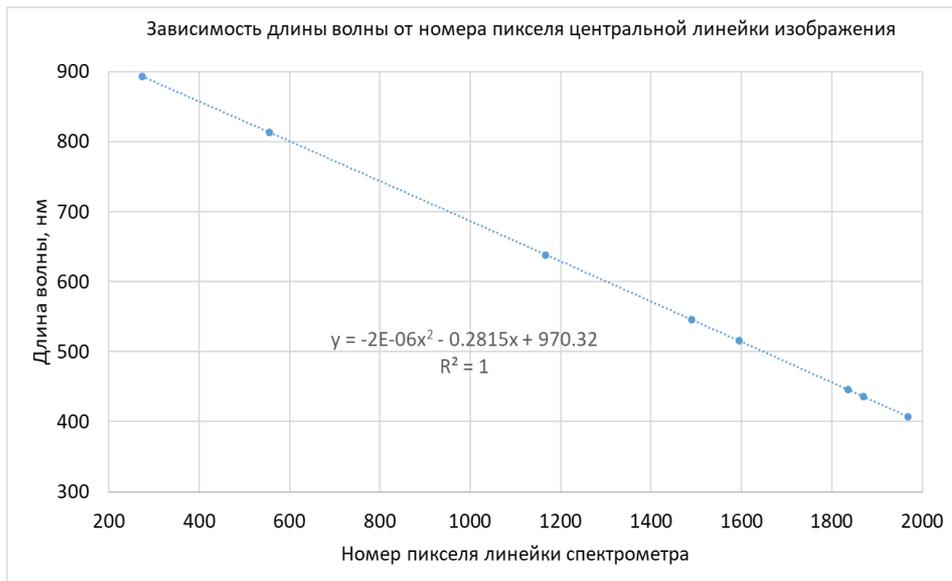
Найденная спектральная линия



# Алгоритм сбора данных для калибровки



Пример калибровки по длинам волн центральной линейки одного из спектрометров

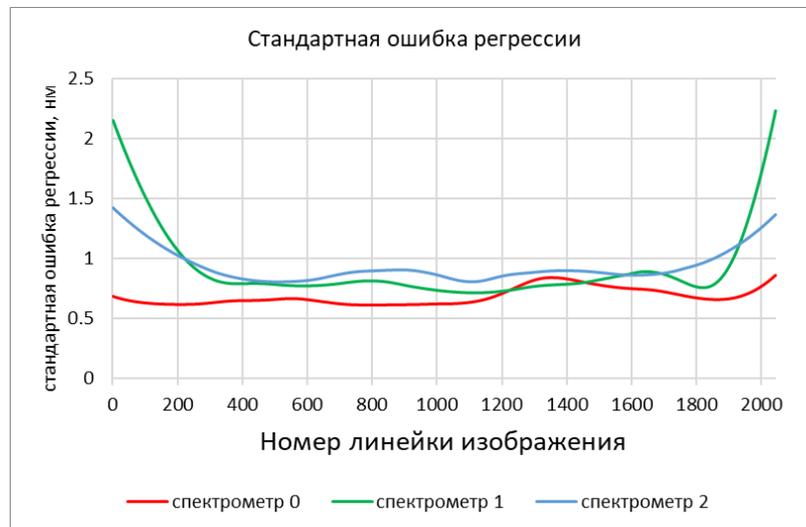
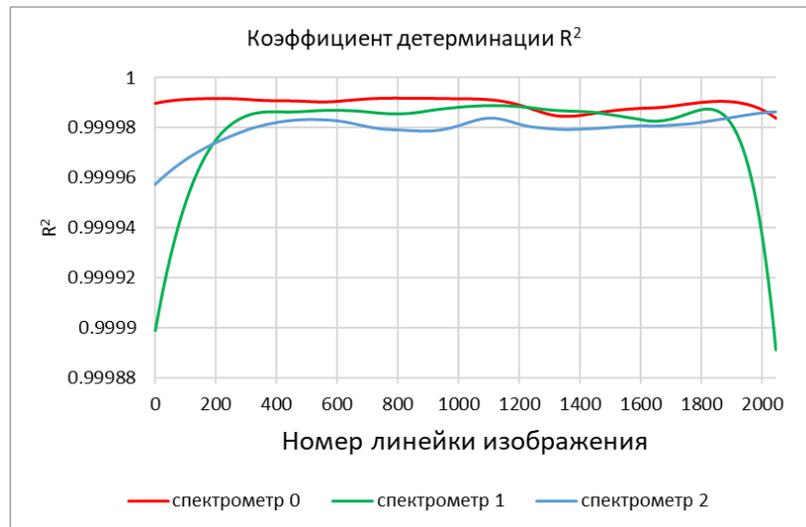


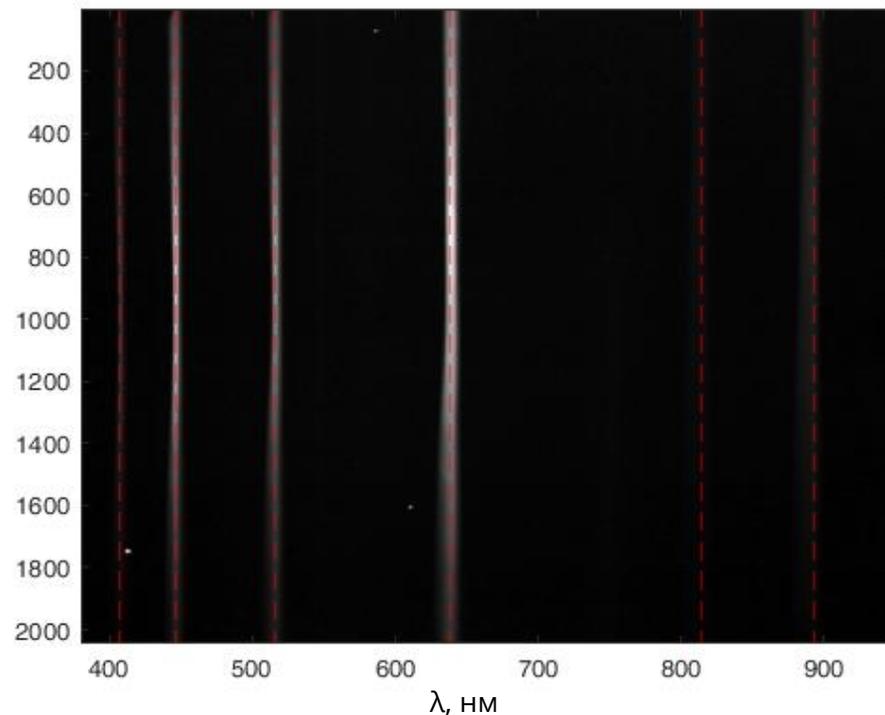
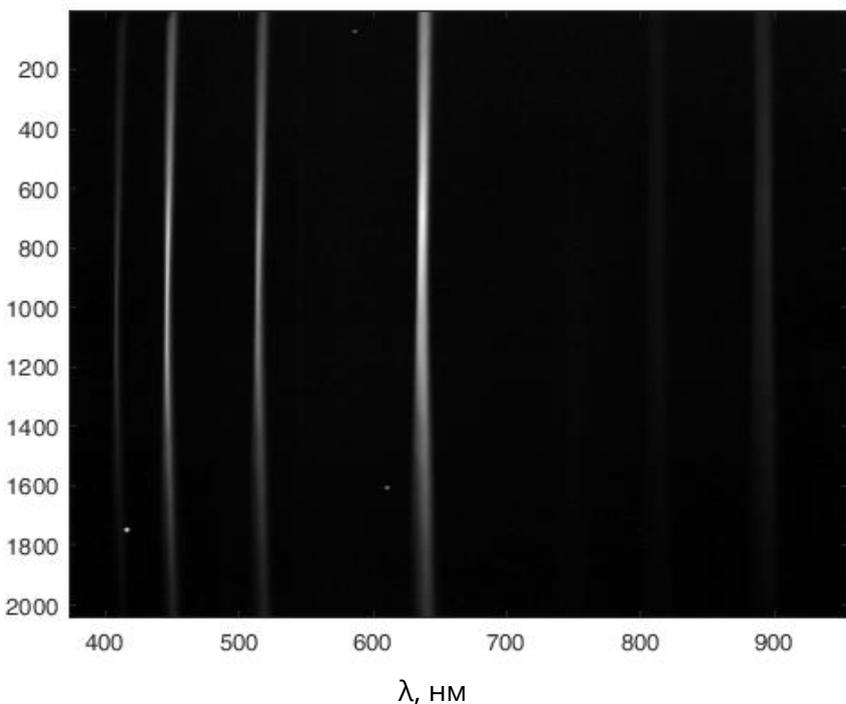
Стандартная ошибка регрессии в рабочем диапазоне матрицы:

- 1-й спектрометр: 0,6 ÷ 0,85 нм
- 2-й спектрометр: 0,7 ÷ 0,9 нм
- 3-й спектрометр: 0,8 ÷ 0,9 нм

(при спектральном разрешении «ВСС» от 4,4 до 5 нм )

Оценка качества квадратичной аппроксимации зависимости длины волны от номера канала линейки для всех линеек спектрометров

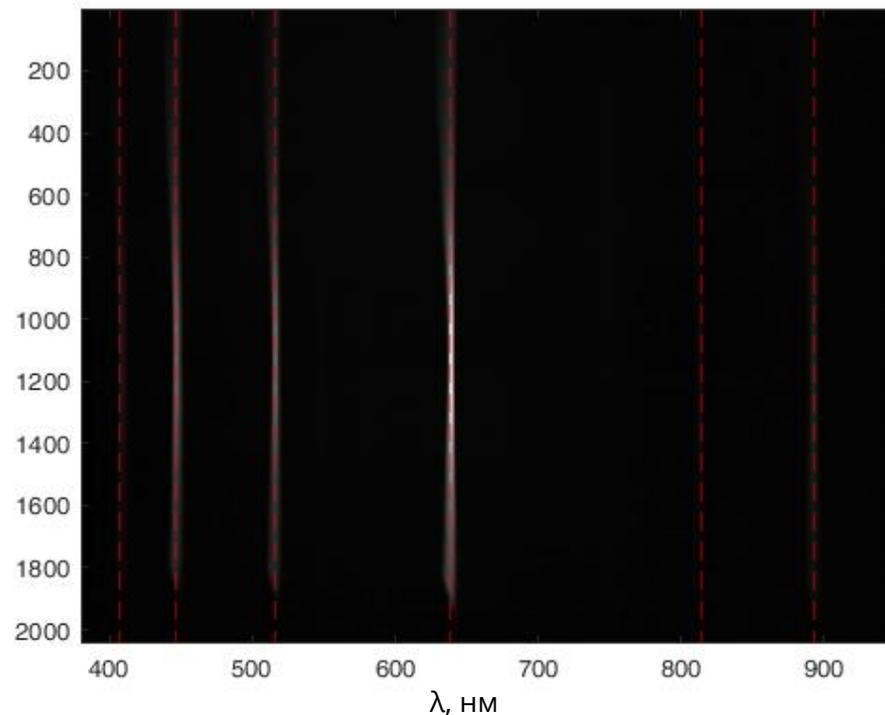
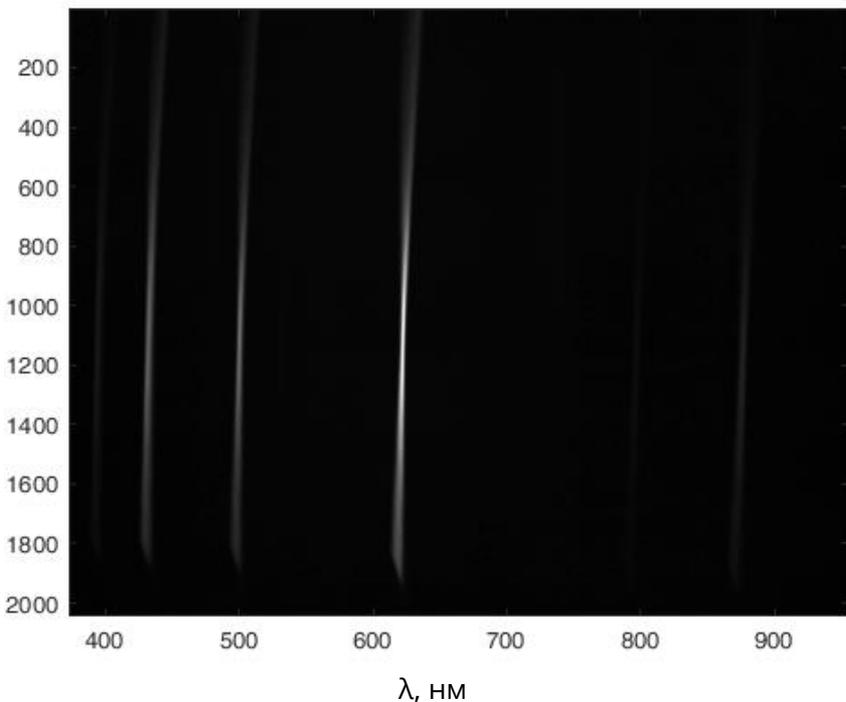




## Результат калибровки\* пространственно-спектрального изображения

\*Результаты калибровки по длинам волн представляют собой три коэффициента квадратичной функции для каждой строки изображения.

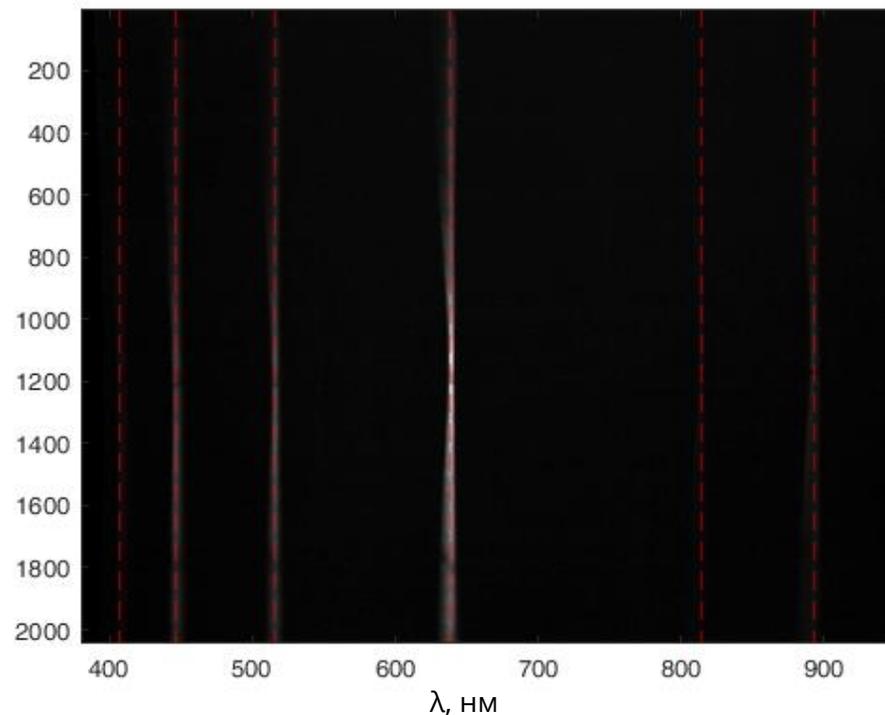
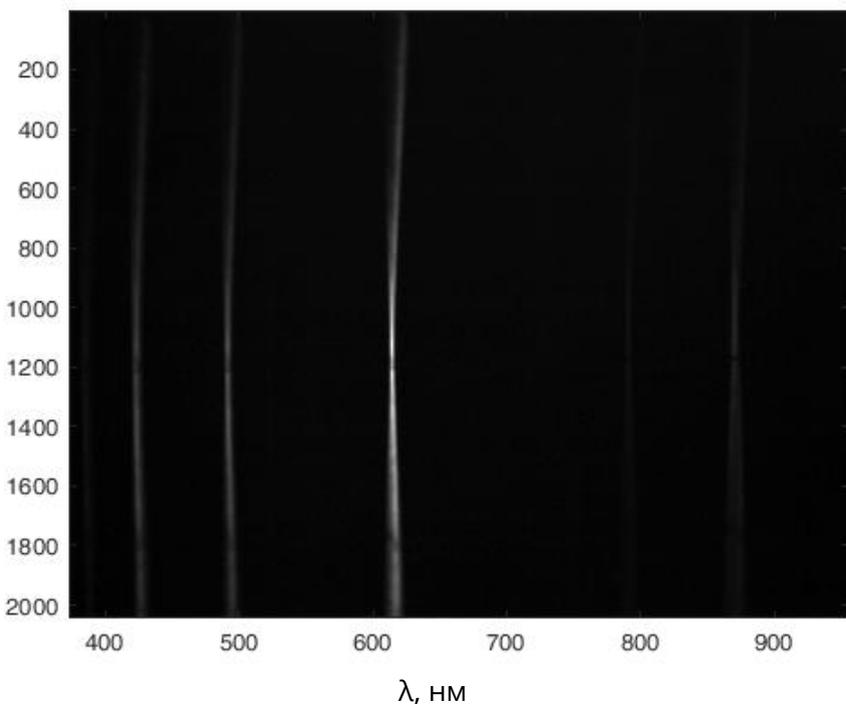
Для длины волны 637,7 нм линейки спектрометра отличаются друг от друга на 0,19 нм (СКО) после калибровки



## Результат калибровки\* пространственно-спектрального изображения

\*Результаты калибровки по длинам волн представляют собой три коэффициента квадратичной функции для каждой строки изображения.

Для длины волны 637,7 нм линейки спектрометра отличаются друг от друга на 0,07 нм (СКО) после калибровки

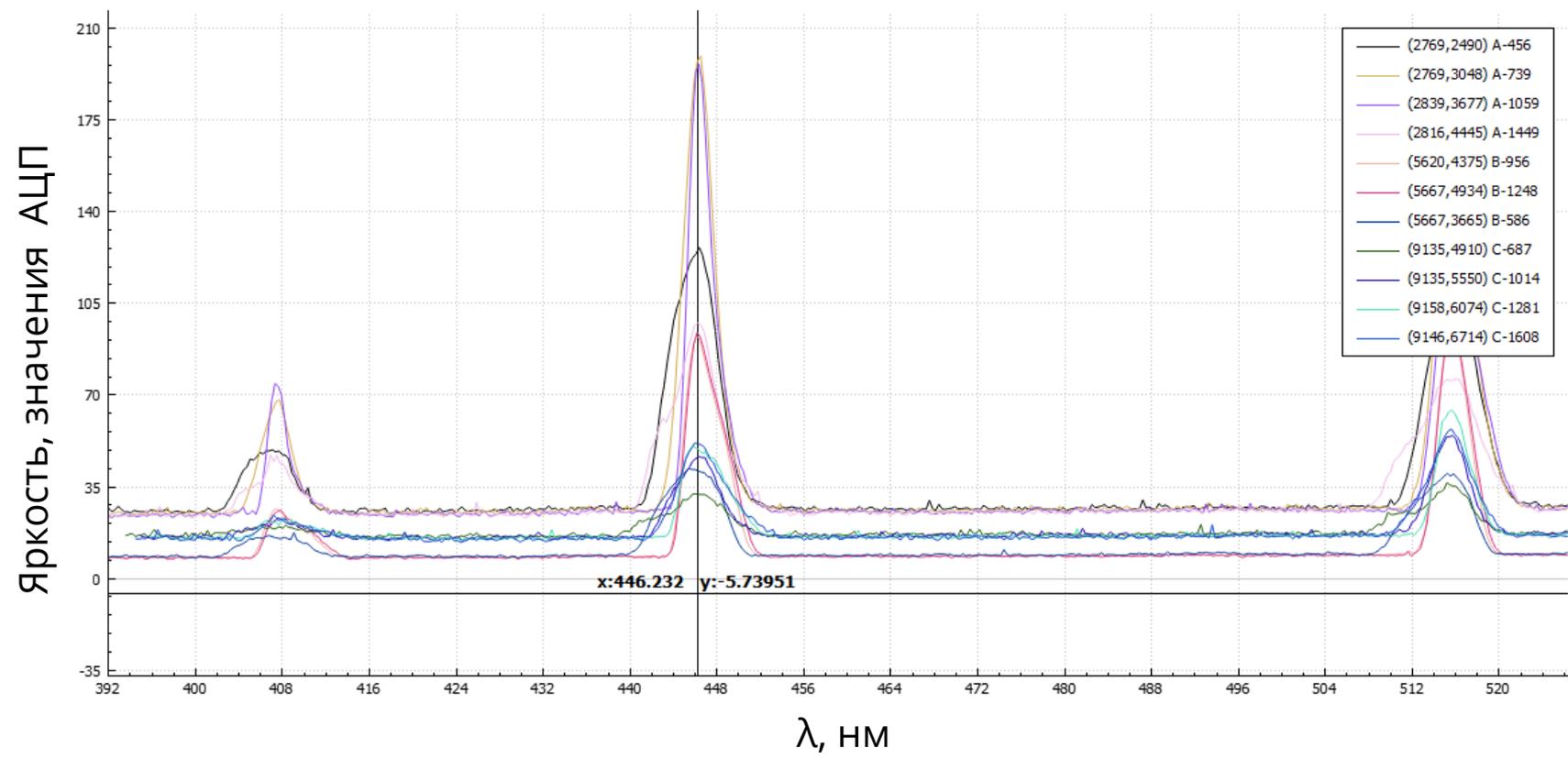


## Результат калибровки\* пространственно-спектрального изображения

\*Результаты калибровки по длинам волн представляют собой три коэффициента квадратичной функции для каждой строки изображения.

Для длины волны 637,7 нм линейки спектрометра отличаются друг от друга на 0,08 нм (СКО) после калибровки

Примеры спектров разных пространственных областей трех спектрометров «ВСС» после калибровки по длинам волн



Линейки трех спектрометров в среднем отличаются друг от друга на величину 0,15 нм (СКО) для длины волны 637,7 нм.

- Разработан и апробирован на «ВСС» алгоритм автоматического определения спектральных линий на подверженных абберациям снимках при калибровке спектрометров изображения по длинам волн
- Получена регрессионная модель зависимости длин волн от номеров каналов линеек спектрометров «ВСС» с погрешностью от 0,6 до 0,9 нм при фактическом разрешении «ВСС» 4,4÷5 нм
- Линейки одного спектрометра отличаются друг от друга на величину от 0,07 до 0,19 нм для длины волны 638,7 после калибровки

# Спасибо за внимание!



Институт прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко  
Белорусского государственного университета,  
Минск, Республика Беларусь.

## Отдел аэрокосмических исследований

Телефон:

**+375 (17) 396 44 09**

Электронная почта:

**remsens@mail.ru**

Сайт:

**<http://remsens.by>**