



# Относительная калибровка данных видимых спектральных каналов радиометра MERSI-II/FY-3D

*А.И. Алексанин<sup>1,2</sup>, Г.С. Стрелов<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток,  
Россия*

*<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия  
E-mail:aleks@iacp.dvo.ru*





## **Постановка задачи**

**Радиометры MERSI китайских спутников серии FY-3 - аналоги радиометров, установленных на спутниках TERRA, AQUA, JPSS, Sentinel-3. Данные передаются в режиме прямой передачи. Данные фактически не используются.**

**В последние годы Китайская метеорологическая администрация (КМА) распространяет пакет программ для первичной обработки данных радиометров MERSI.**

**Программное обеспечение делает распаковку данных и 2 типа обработки (уровень 0 и уровень 1). Дается описание только формата уровня обработки 1.**

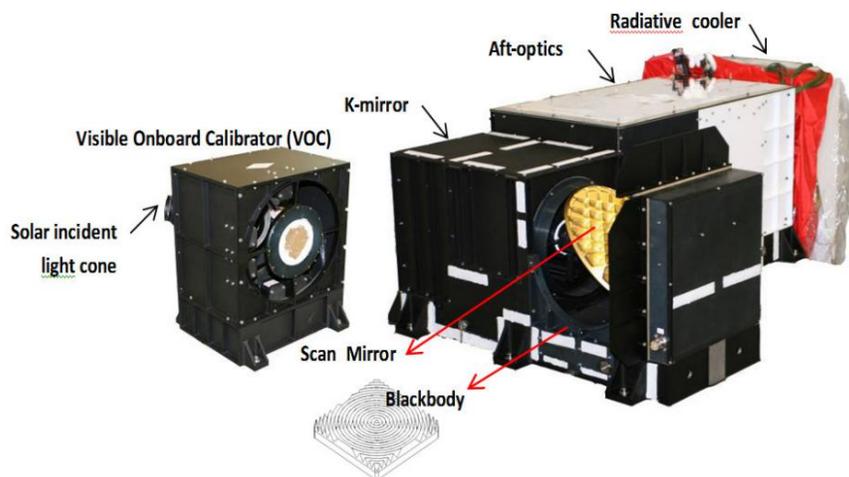
**Цель работы – анализ качества исходных данных, создание методик относительной калибровки датчиков для видимого спектрального диапазона.**





# MERSI-II/FY-3D

## Радиометр



### Бортовая калибровка каналов цветности (1-19):

- по измерениям люминесцентным лампам;
- по луне;
- по солнцу.

### Исследовались каналы с 5 по 19:

- пространственное разрешение 1 км;
- полоса сканирования десятью датчиками;
- узкая ширина спектрального диапазона каналов (в основном 20 нм)

## Спектральные каналы

Канал	Длина волны (μm)	Ширина спектра (nm)	Пространственное разрешение (m)	Основное применение
1	0.470	50	250	Земля, облака, аэрозоли
2	0.550	50	250	
3	0.650	50	250	
4	0.865	50	250	
5	1.380	20 / 30	1000	
6	1.640	50	1000	Цвет океана, планктон, биогеохимическое зондирование
7	2.130	50	1000	
8	0.412	20	1000	
9	0.443	20	1000	
10	0.490	20	1000	
11	0.555	20	1000	
12	0.670	20	1000	
13	0.709	20	1000	
14	0.746	20	1000	
15	0.865	20	1000	
16	0.905	20	1000	Атмосферный водяной пар
17	0.936	20	1000	
18	0.940	50	1000	
19	1.030	20	1000	Перистые облака
20	3.800	180	1000	Температура огня, поверхности и облаков
21	4.050	155	1000	
22	7.200	500	1000	Атмосфера, водяной пар
23	8.550	300	1000	
24	10.80	1000	250	Температура земли, воды и облаков
25	12.00	1000	250	





# Методики калибровки, использующиеся КМА

коррекция отсчетов радиометра

$$dn = DN * Slope + Intercept$$

Обычно Slope=1, Intercept=0

коэффициент отражения

$$Ref = Cal\_2 * dn^2 + Cal\_1 * dn + Cal\_0$$

регистрируемое датчиком излучение

$$L_{toa} = Ref * E_0 / \pi$$

$E_0$  – излучение солнца для заданной длины волны

Особенность: калибровка единая для всех 10-ти датчиков

Проблема – «полосатость»





## Методика верификации показаний датчиков

Использовались блоки данных - однородные участки изображений спектральных каналов размером 100 пикселей вдоль строки и 10 пикселей вдоль столбца. Первая строка всегда соответствовала первому датчику. Блоки были парные – ниже первого брался второй, который соответствовал отражению регистрируемого сигнала другой стороной зеркала.

В каждой строке блока считались средние величины яркости и стандартные отклонения, а также и отклонение этих средних от среднего по блоку.

Использовались как исходные отсчеты, так и предлагаемые калибровки.

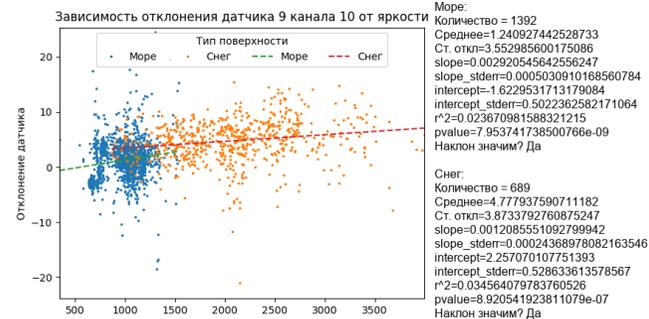
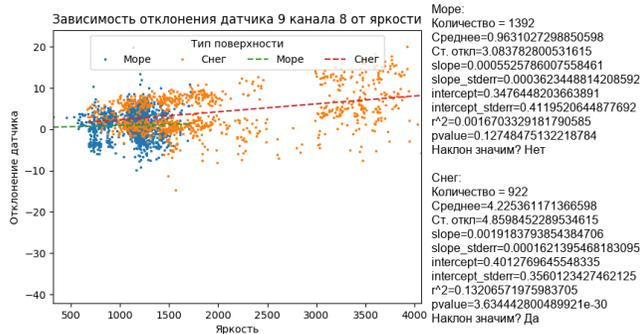
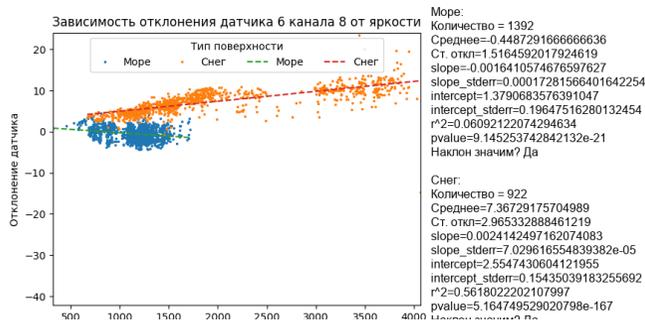
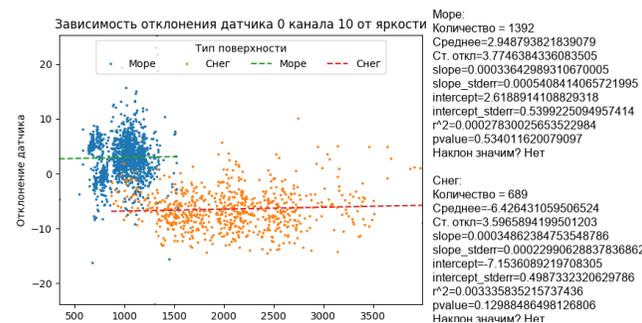
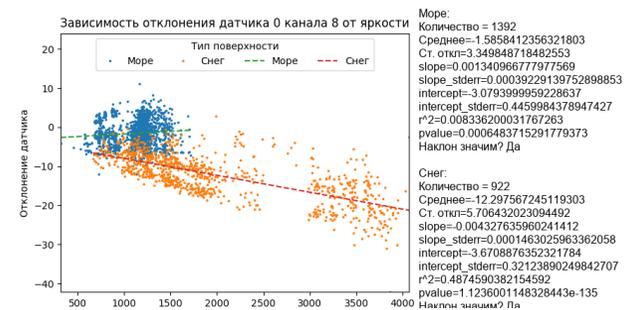
Использовались изображения моря и занесенный снегом лед (минимальные и максимальные значения яркости).

Данные 12-битовые. Усиление регистрируемого сигнала максимальное, то есть на очень ярких участках достигается максимальная величина отсчета – 4095. Эту величину имеют все пиксели, превышающие максимально возможное значение.





# Рассогласования показаний датчиков на однородных участках



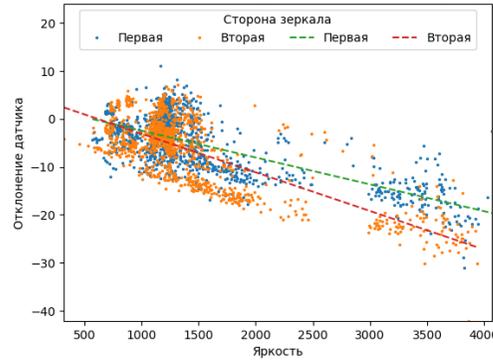
**У датчиков присутствует систематические ошибки. Центральные датчики обычно имеют стандартные отклонения в несколько раз меньше крайних. Систематические ошибки зависят от типа подстилающей поверхности !!!**

**С ростом яркости рассогласования датчиков от среднего значения иногда возрастает, иногда нет. При этом шумы разных датчиков примерно одинаковые.**



# Влияния стороны зеркала

Зависимость отклонения датчика 0 канала 8 от яркости

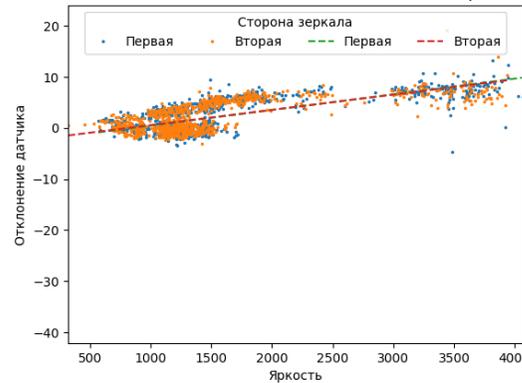


Первое зеркало:  
Количество = 1193  
Среднее=-5.227086336965627  
Ст. откл=-6.131202297360159  
slope=-0.005606453053999927  
slope\_stderr=0.0001619426787322557  
intercept=-3.172488206885829  
intercept\_stderr=0.27312492734891824  
r<sup>2</sup>=0.5015784057874016  
pvalue=2.7057443119370564e-182  
Наклон значим? Да

Второе зеркало:  
Количество = 1121  
Среднее=-6.520904549509366  
Ст. откл=-7.524494624547884  
slope=-0.000861394879890296  
slope\_stderr=0.00020591676515293634  
intercept=4.991988874014009  
intercept\_stderr=0.328383047414397  
r<sup>2</sup>=0.5779952273329758  
pvalue=7.265204841346738e-212  
Наклон значим? Да

**Разница средних по площадкам, соответствующим разным сторонам зеркала, обычно около одного отсчета. Отдельные датчики имеют максимальную разницу не более 5 отсчетов на каналах 412 и 443 нм.**

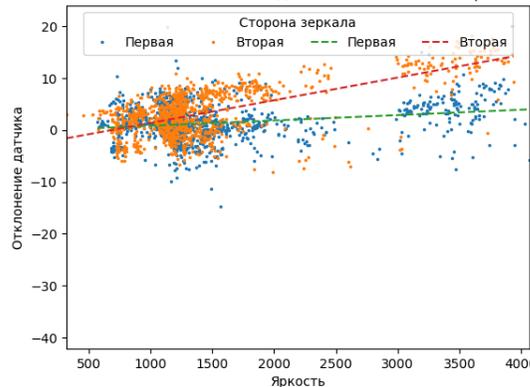
Зависимость отклонения датчика 5 канала 8 от яркости



Первое зеркало:  
Количество = 1193  
Среднее=1.9850427493713387  
Ст. откл=3.15777411244009  
slope=0.0030676565302302874  
slope\_stderr=7.781894685953702e-05  
intercept=-2.610912920357942  
intercept\_stderr=0.13124578631010972  
r<sup>2</sup>=0.566115553596978  
pvalue=3.4948441528895343e-218  
Наклон значим? Да

Второе зеркало:  
Количество = 1121  
Среднее=1.8419946476360387  
Ст. откл=2.9042001442937515  
slope=0.0029869693670625014  
slope\_stderr=8.363519555929395e-05  
intercept=-2.423850220986454  
intercept\_stderr=0.133376118994782  
r<sup>2</sup>=0.5326807304597861  
pvalue=4.599539750442792e-187  
Наклон значим? Да

Зависимость отклонения датчика 9 канала 8 от яркости



Первое зеркало:  
Количество = 1193  
Среднее=1.336492875104781  
Ст. откл=3.394039985542507  
slope=0.0010354073183665468  
slope\_stderr=0.00012338434217871867  
intercept=-0.214751890543311  
intercept\_stderr=0.20809424518210332  
r<sup>2</sup>=0.055826743363226274  
pvalue=1.342157373374279e-16  
Наклон значим? Да

Второе зеркало:  
Количество = 1121  
Среднее=3.248872435325604  
Ст. откл=4.7280739571330495  
slope=0.0043703636900275355  
slope\_stderr=0.00015034206015780873  
intercept=-2.9926691508382146  
intercept\_stderr=0.23975600668396224  
r<sup>2</sup>=0.4302542517580867  
pvalue=7.305086726350986e-139  
Наклон значим? Да

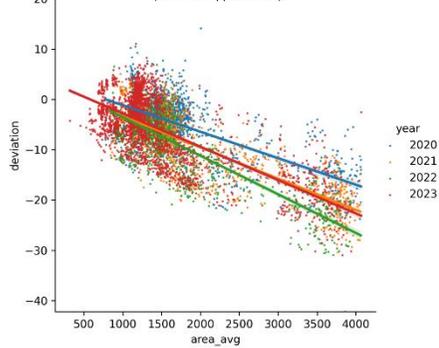




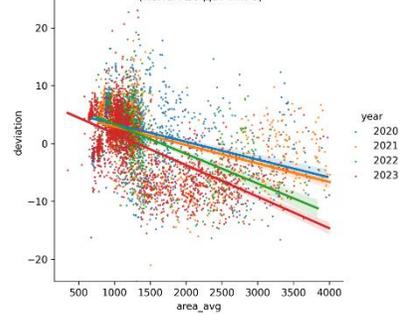
# Временная изменчивость

## Исследовались относительные отклонения датчиков в зависимости от года

Зависимость отклонения датчика от ср. яркости области  
(Канал 8 датчик 0)



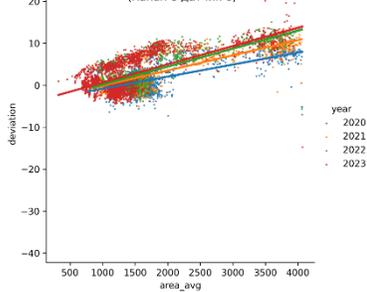
Зависимость отклонения датчика от ср. яркости области  
(Канал 10 датчик 0)



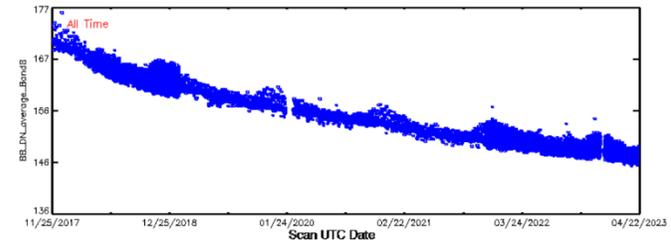
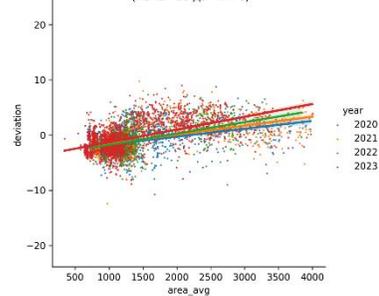
**В целом, изменчивость показаний датчиков относительно друг друга не высокая.**

**Изменчивость показаний самих датчиков тоже не большая**

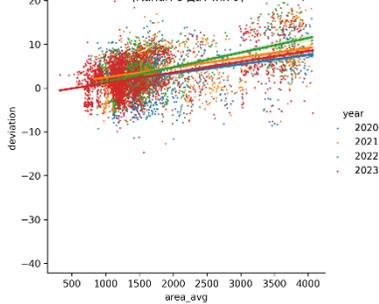
Зависимость отклонения датчика от ср. яркости области  
(Канал 8 датчик 6)



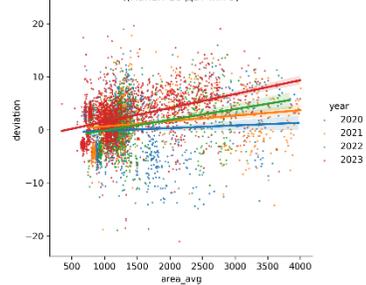
Зависимость отклонения датчика от ср. яркости области  
(Канал 10 датчик 6)



Зависимость отклонения датчика от ср. яркости области  
(Канал 8 датчик 9)



Зависимость отклонения датчика от ср. яркости области  
(Канал 10 датчик 9)



**Изменение темного сигнала за 6 лет – 17% (датчики сканируют на борту черное тело)**

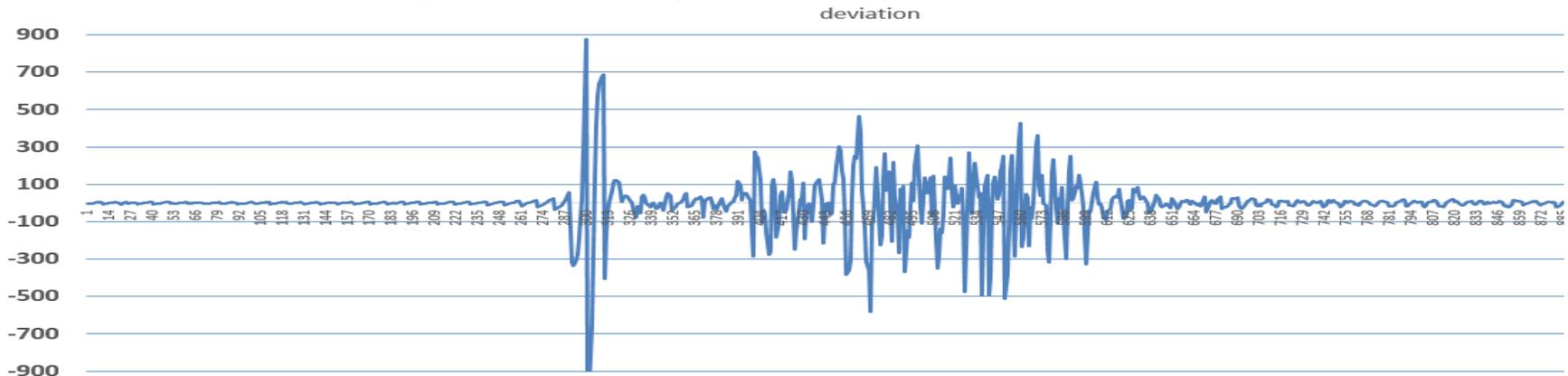




# Зависимость относительных отклонений от вариации сигнала



Фрагмент изображения Гренландии



**Относительные отклонения датчиков фрагмента (желтая полоса)**

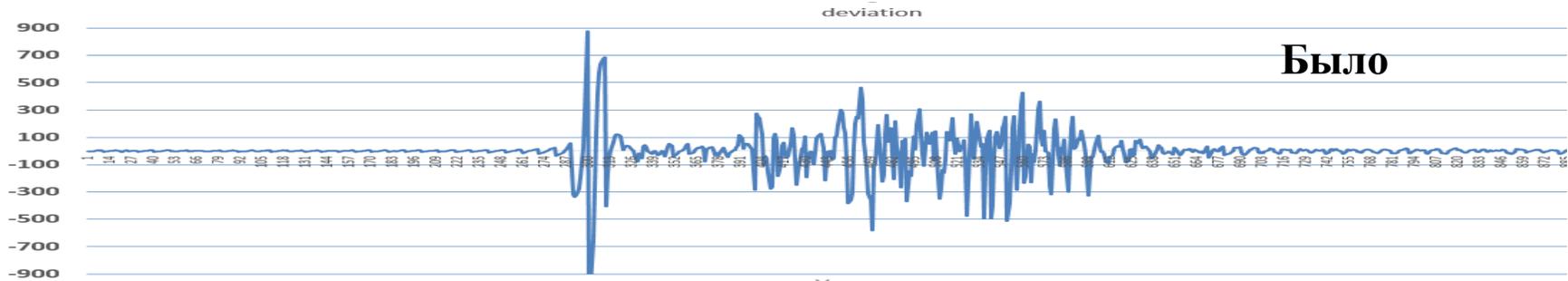
**Ось X. Вдоль полосы сканирования берутся каждые 10 точек – относительные отклонения 10 датчиков от среднего.**

**Структура «полосатости» стабильна, но может менять наклон в зависимости от направления сканирования. Систематические отклонения датчиков зависят от изменчивости сигнала. Показания датчиков зависят друг от друга.**



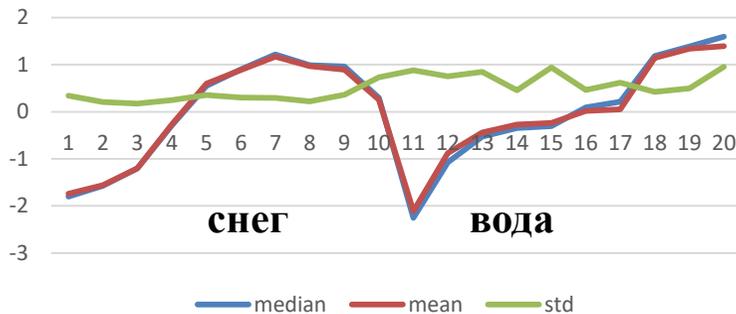


# Нормировка «полосатости» на изменчивость сигнала

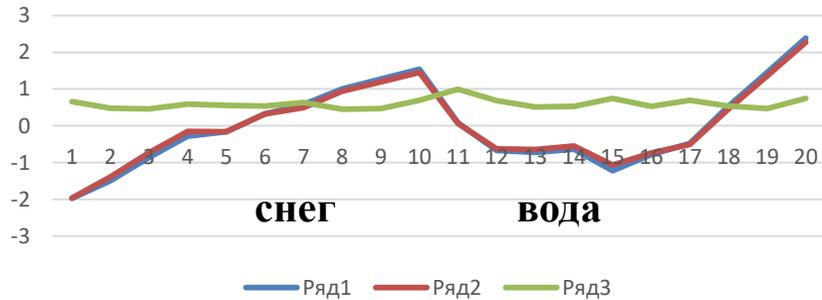


## Функции коррекции датчиков каналов 8 и 10

**относительные отклонения датчиков, канал 8**



**относительные отклонения датчиков, канал 10**



**Отличия функций изменчивости систематических ошибок датчиков на воде (низкий сигнал) и снега (высокий сигнал) говорят о существовании зависимости поправок от уровня сигнала.**



## Коррекция «полосатости»



**Фрагмент изображения о. Гренландия до коррекции и после. Канал 8 (412 нм)**

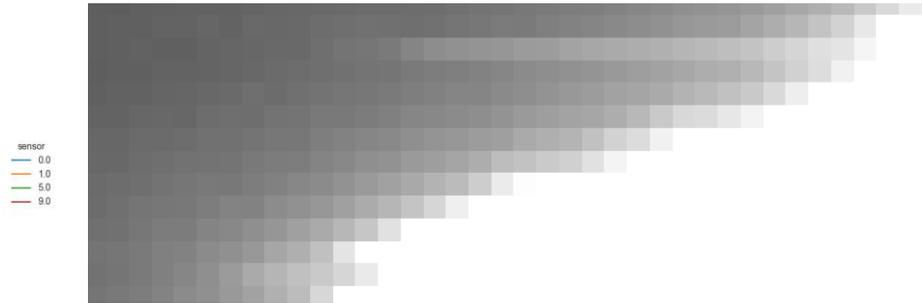
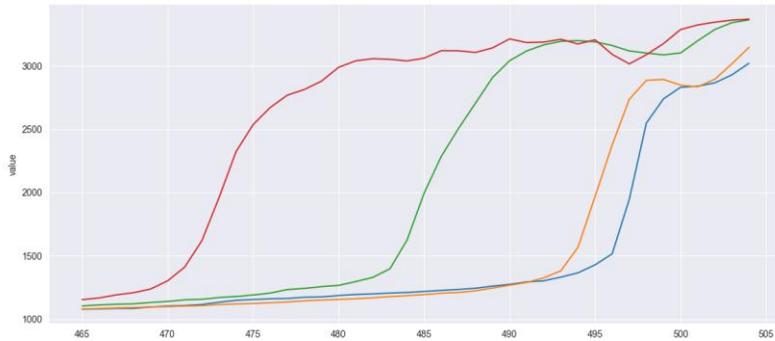
**При слабом уровне изменчивости сигнала в полосе сканирования провести коррекцию показаний датчиков труда не составляет**





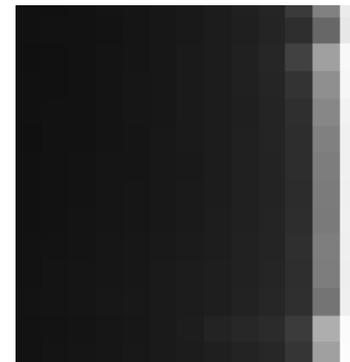
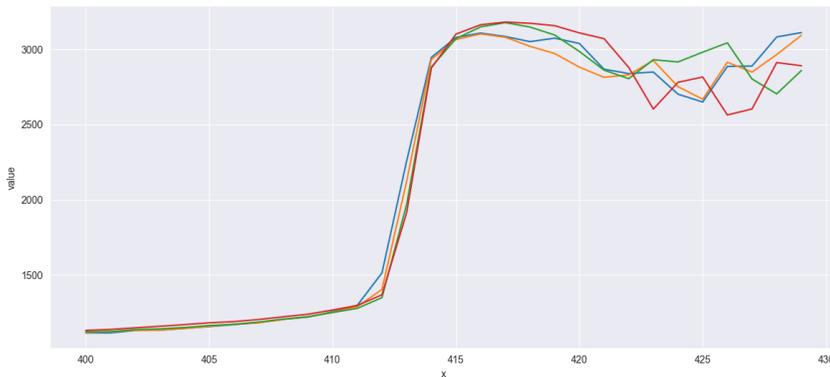
# Зависимость показаний датчиков друг от друга

Пересечение сканирующей полосой наклонной и вертикальной границы лед/вода. Слева – изменчивость сигнала датчиков с номерами 0, 1, 5 и 9. Справа – фрагмент изображения



**Граница наклонная. Первый датчик (синий) достигает ее последним).**

До пересечения границы у него растет сигнал с момента достижения последнего датчика граница вода/лед. На самой границе градиент яркости первого датчика более резкий, чем у последнего.



**Граница вертикальная. Изменчивость показаний датчиков одинаковая.**



## **Выводы**

- **Ошибки каналов спутника FY-3D довольно экзотические и сложно корректируемые. Систематические ошибки измерений датчиков зависят от изменчивости сигнала на 10-ти датчиках полосы сканирования и могут быть большими.**
- **Общая схема относительной калибровки может быть следующей: восстановление функции влияния показаний датчиков друг на друга и коррекция показаний; оценка систематических отклонений датчиков после коррекции и введение соответствующих поправок; расчет деградации датчиков со временем.**
- **Слабая изменчивость поправок на показания датчиков со временем позволяет надеяться на получения хорошего качества изображений после соответствующей коррекции.**





Wladivostok

**Благодарю за внимание!**

