

*Двадцатая вторая международная конференция «Современные проблемы  
дистанционного зондирования Земли из космоса»,  
Москва, 2024 г.*



**Ключевые технические решения по  
автоматической обработке информации  
в работе **Федерального Фонда данных ДЗЗ**  
и информационной системы **"Цифровая Земля"****

*Д.И. Федоткин, Е.Н. Боровенский, Д.В. Сысенко, А.В. Ядыкин*

# Концептуальные подходы АПОИ

- Полностью автоматическая обработка (без операторов)
- Максимальная унификация (процессов, алгоритмов, продуктов, форматов) в рамках единого комплекса
- Единый комплекс под всю группировку КА
- Поточковая обработка в темпе поступления информации и масштабируемость под любые объемы данных ДЗЗ
- Применение технологий распределенных (кластерных) вычислений
- Применение строгих математических моделей и устранение первопричин ошибок а не их последствий
- Сквозной контроль качества на всех этапах обработки
- Использование адаптивных алгоритмов, нивелирующих погрешности и ошибки работы бортовых систем
- Возможность функционального расширения благодаря платформенному подходу и микро-сервисной архитектуре
- Портруемость (переносимость) на различные вычислительные платформы и ЦОД

# Производительность комплекса АПОИ в эксплуатации Федерального Фонда данных ДЗЗ

Среднее количество маршрутов в сутки	359 маршрутов (эквивалентно <b>4 минутам на маршрут</b> )
Среднее количество продуктов (сцен) в сутки	3346 продуктов (эквивалентно <b>25 секундам на продукт</b> )
Средняя площадь обработанной территории в сутки	<b>1.5 млн. кв. км</b>
Средний объем созданной продукции в сутки	3-7 ТБ (в зависимости от типа КА)

*При максимальной загрузке комплекса из 10 серверов*

**За 2023 год комплексом АПОИ обработано в интересах потребителей более 57 тыс. заданий, создано около 400 тыс. сцен (продуктов ДЗЗ)**

*При средней загрузке серверов около 10%*

# Точности геопривязки комплекса АПОИ в эксплуатации Федерального Фонда данных ДЗЗ

Космический аппарат	Ср. точность геопривязки до уточнения, м	Ср. точность геопривязки после уточнения, м
“Канопус-В” №3,4,5,6,ИК	79,9	5,4
“Ресурс-П” №2,3	22,3	3,2

*Показатели улучшения точности геопривязки комплексом АПОИ по статистике обработки более 23 тысяч маршрутов съемки за 12-ти месячный период наблюдения работы АПОИ в составе ФФД ДЗЗ (июнь 2023г - май 2024г)*

## 7 ключевых технических особенностей

1. Единый унифицированный комплекс высокопроизводительной распределенной обработки
2. Уточнение геопривязки архивных данных уровня 0 за счет коррекции бортовых навигационных данных
3. Высокопроизводительный и надежный поиск опорных точек
4. Блочное уравнивание по строгим моделям при формировании ортомозаик
5. Автоматическая калибровка съемочной системы
6. 3 в 1: обработка, анализ, обеспечение качества
7. Использование нейронных сетей для адаптивного улучшения качества

# Основные операции обработки

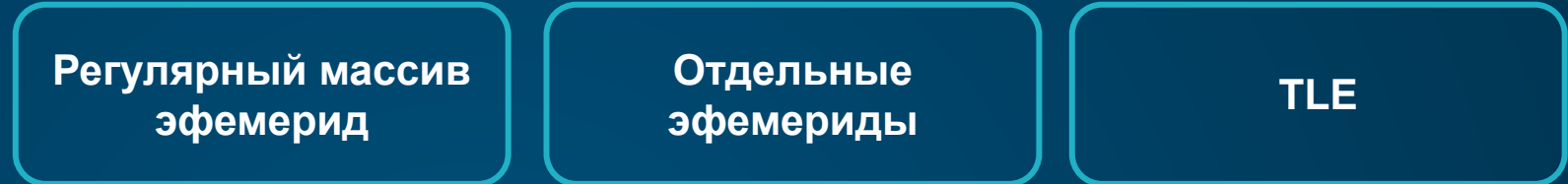


## Математические модели, определяющие геометрическое качество продуктов:

- Баллистика: прогноз по модели возмущённого движения КА
- Ориентация: комплексирование измерений БОКЗ, равноточная с.к., комплексирование измерений ориентации с измерениями ИУС
- Автоматическое уточнение баллистики и ориентации по опорным и связующим точкам
- Автоматическая геометрическая калибровка

# Баллистическое движение КА

Исходные данные:



Формирование массива эфемерид:

Расчёт параметров на заданный момент времени маршрута:

# Ориентация КА

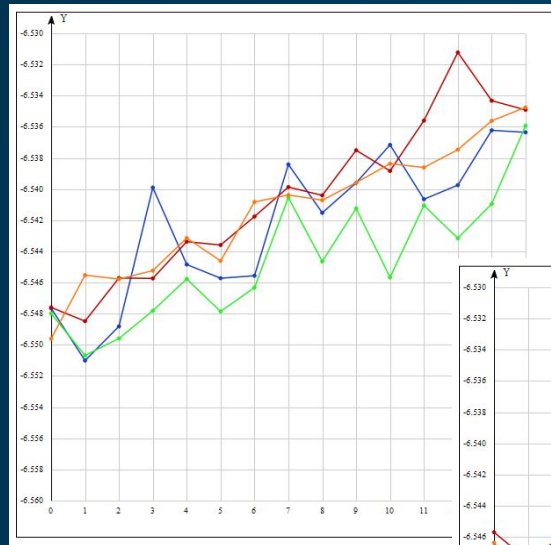
## Основные операции



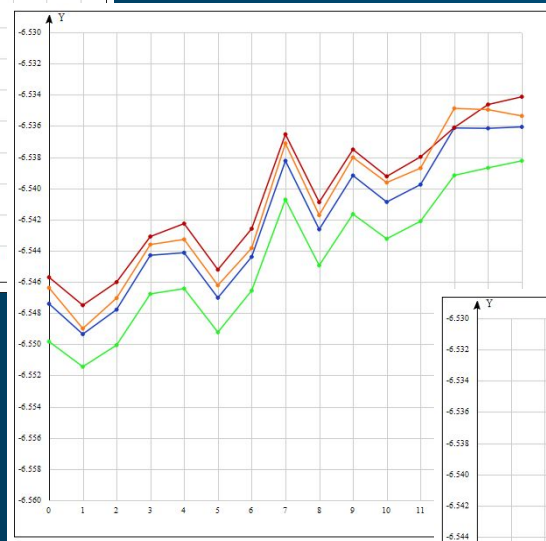


# Ориентация КА

## Комплексирование измерений различных БОКЗ

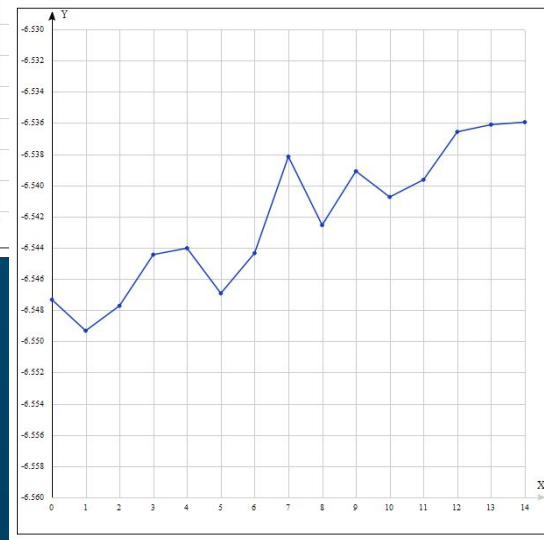


Исходная ориентация  
(разные БОКЗ)



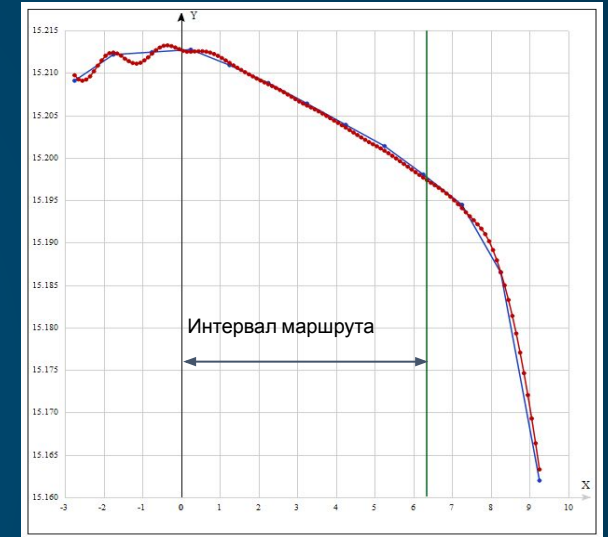
После совместной  
коррекции  
(разные БОКЗ)

Выходная ориентация  
(равноточная с.к.)

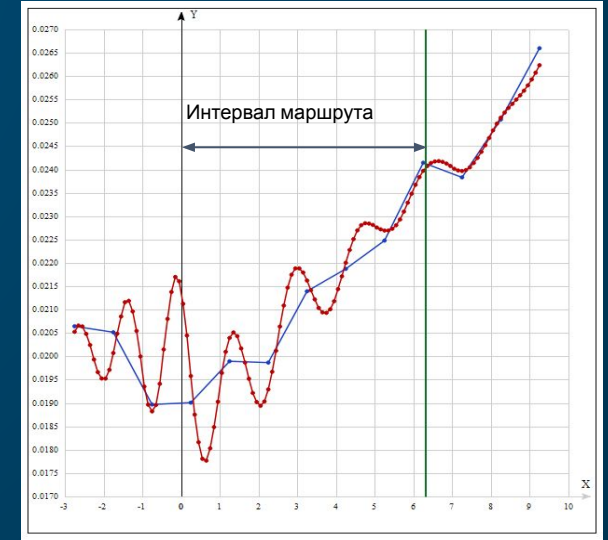


## Комплексирование измерений ориентации с ИУС

Крен



Тангаж

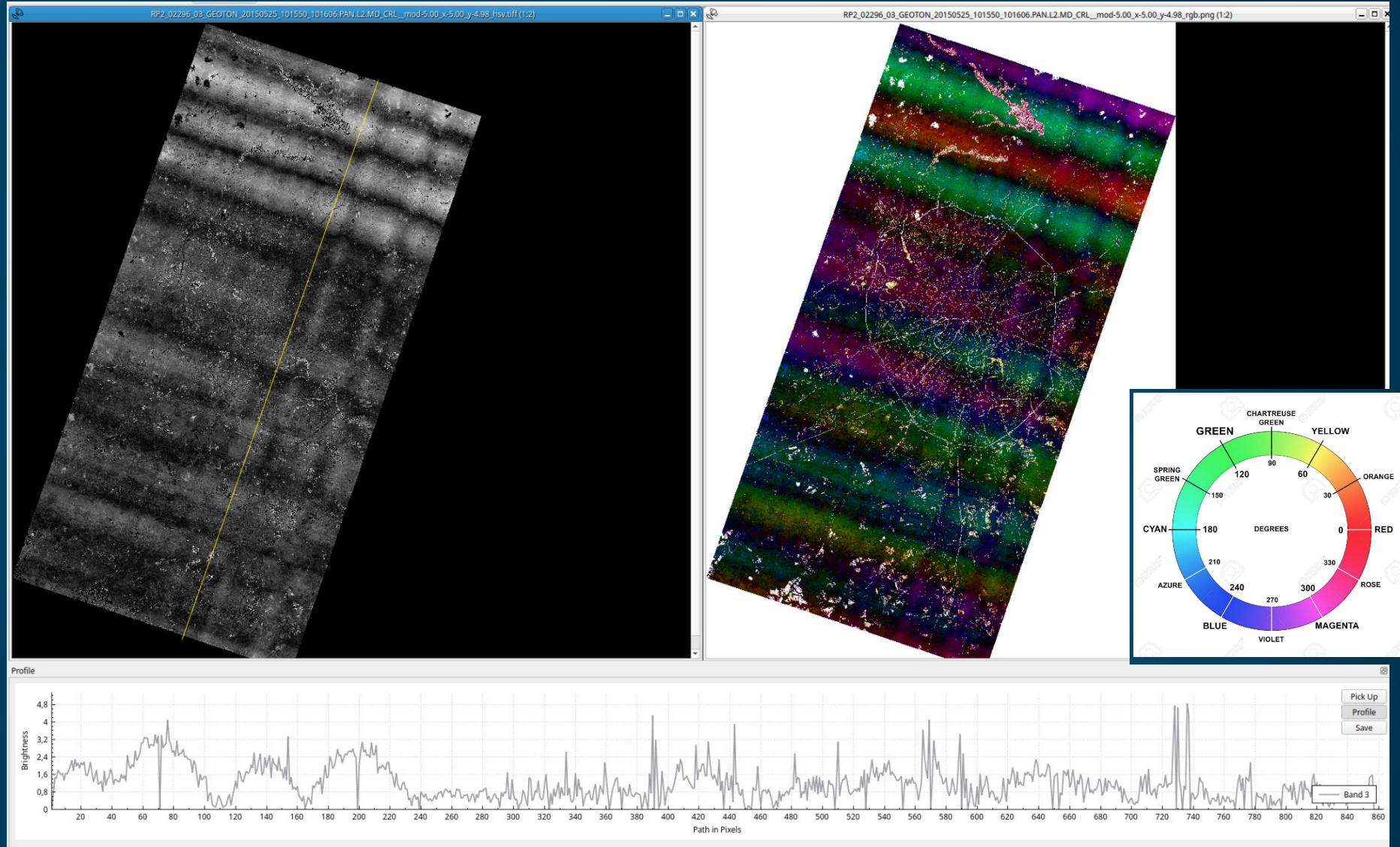


# Ориентация КА

## Влияние неточностей ориентации на картину параллакса при наложении 2-х маршрутов друг на друга

При построении параллакса из 2-х наблюдается модуляция величины параллакса и его направления

Слева - яркость соответствует величине смещения, справа - цвет соответствует направлению смещения



# Автоматический поиск ОТМ

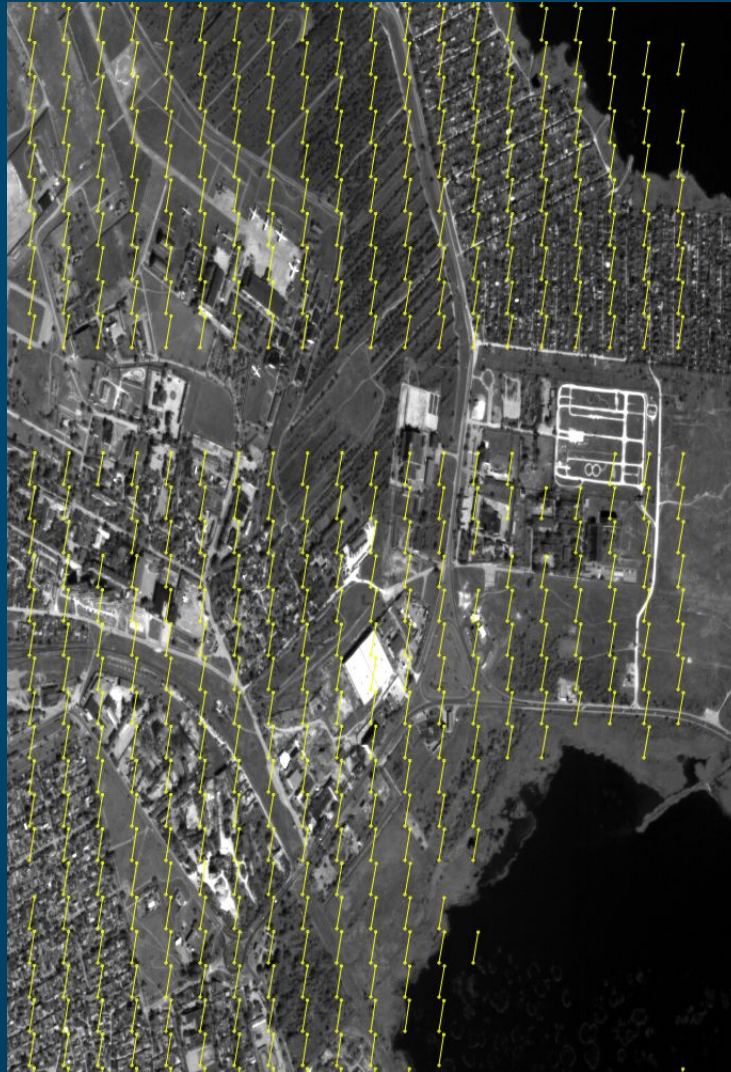
Фрагмент снимка ПАН (Ресурс-П №2  
Геотон) с опорными точками

Фрагмент опорной  
информации

Поиск осуществляется  
корреляционным  
способом

Возможно использование  
различных алгоритмов

На выходе - от нескольких  
десятков до сотен тысяч  
точек на маршрут



# Статистика уточнения геопривязки

## Ресурс-П №2,3 (483 маршрута)

- ошибки до уточнения:  
10 - 50 м, СКО - 22,3 м

- ошибки после уточнения:  
2 - 6 м, СКО - 3,2 м



## Канопус-В ИК, 3 - 6 (20095 маршрута)

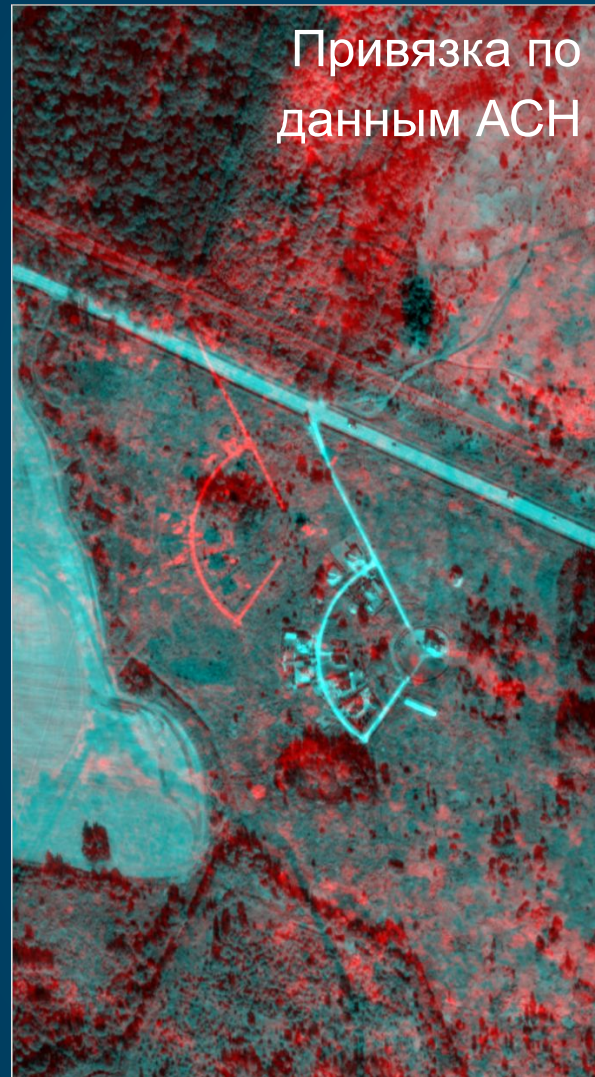
- ошибки до уточнения:  
20 - 200 м, СКО - 79,9 м

- ошибки после уточнения:  
2 - 10 м, СКО - 5,4 м

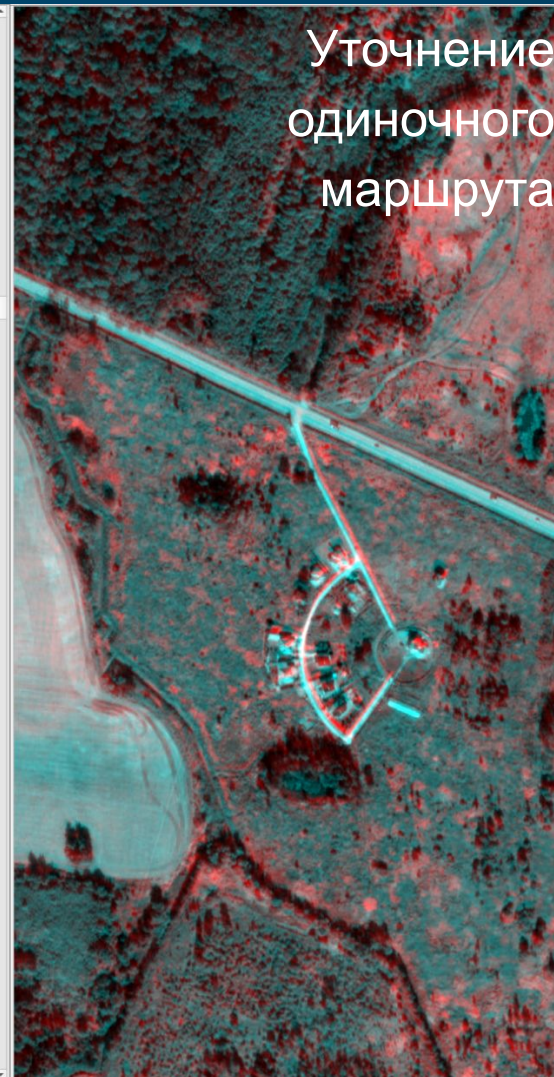


# Пример двухэтапного уточнения

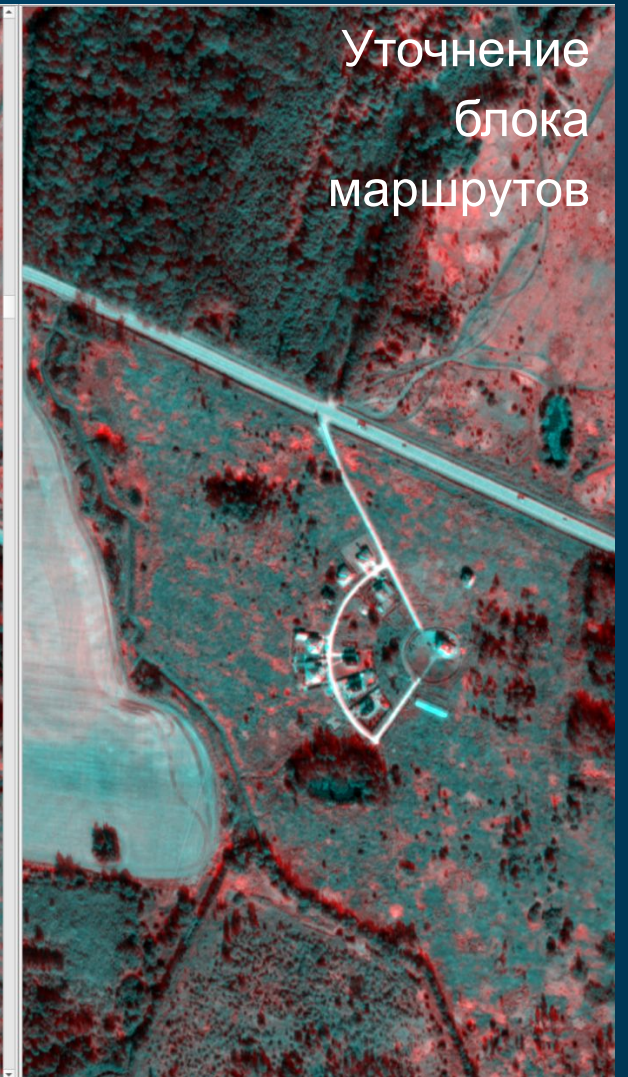
Для анализа ошибки геопривязки:  
опора - в красном канале  
снимок - в зеленом и синем каналах



Ошибка геопривязки по данным АСН - 228 пикс



Ошибка геопривязки после коррекции одиночного маршрута - 5 пикс пикс



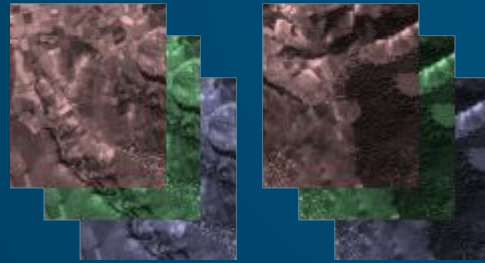
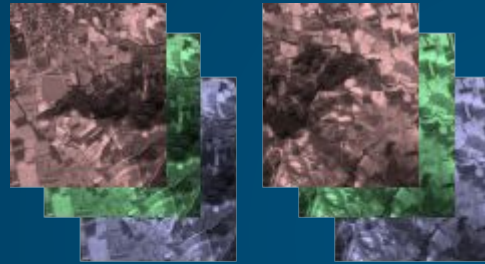
Ошибка геопривязки ортомозаик к опоре - менее 1

# Совмещение матриц и каналов

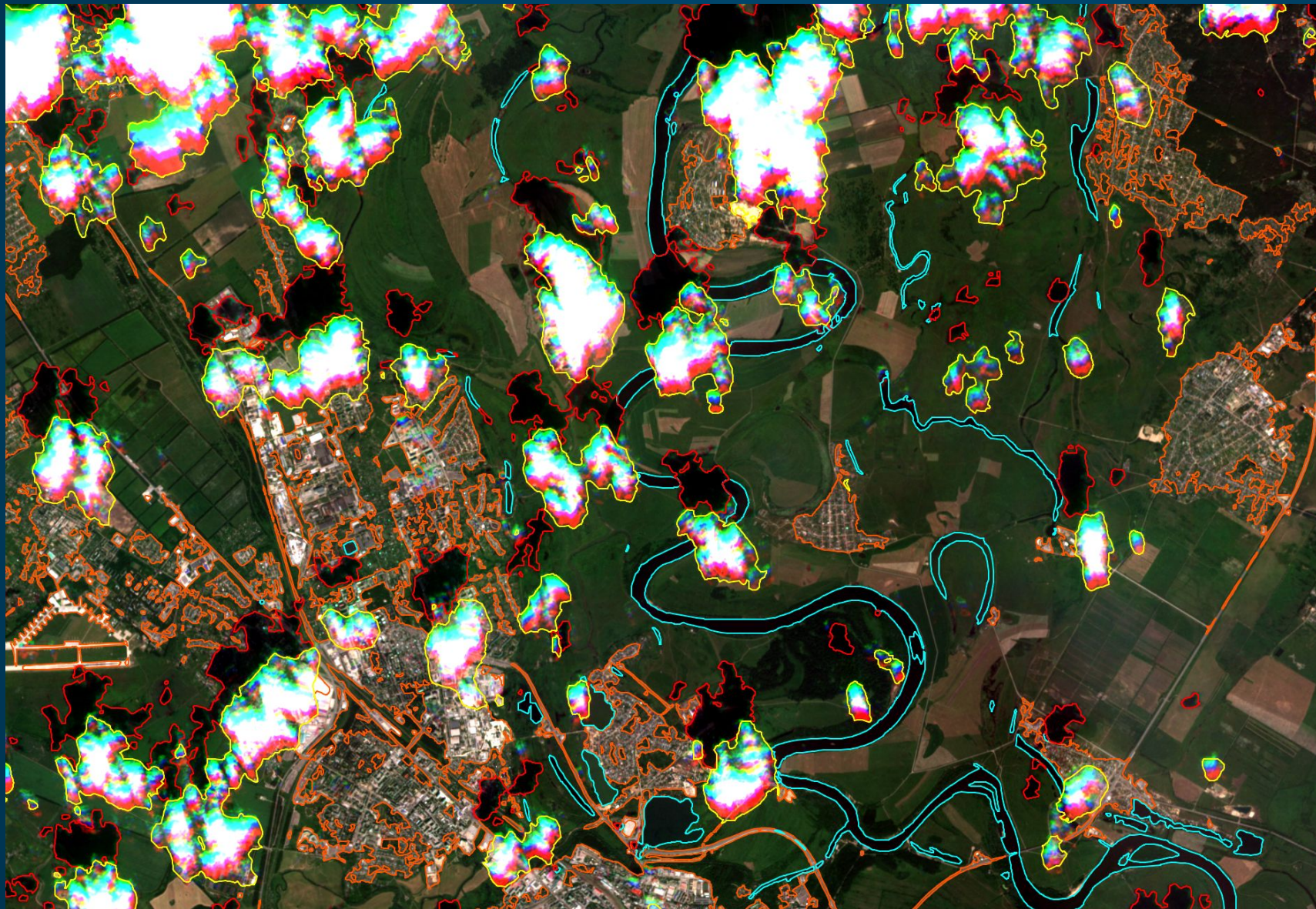
Совмещение осуществляется при необходимости (несведение более 1 пикс.)

Совмещение осуществляется путём корреляционной доводки

Совмещение производится к опорному каналу (матрице), что обеспечивает отсутствие возможных геометрических искажений



# Семантическая сегментация искусственными нейронными сетями



Используется для:

- автоподбор маршрутов для ортомозаик
- фильтрация ОТМ
- тональная балансировка
- маски в выходных продуктах
- ...

Список классов:

- облака
- водные объекты
- городская застройка
- тени
- ...

# Геометрическая калибровка сенсора

Геометрическая калибровка - отдельный контур вне обработки данных

Калибруемые параметры:

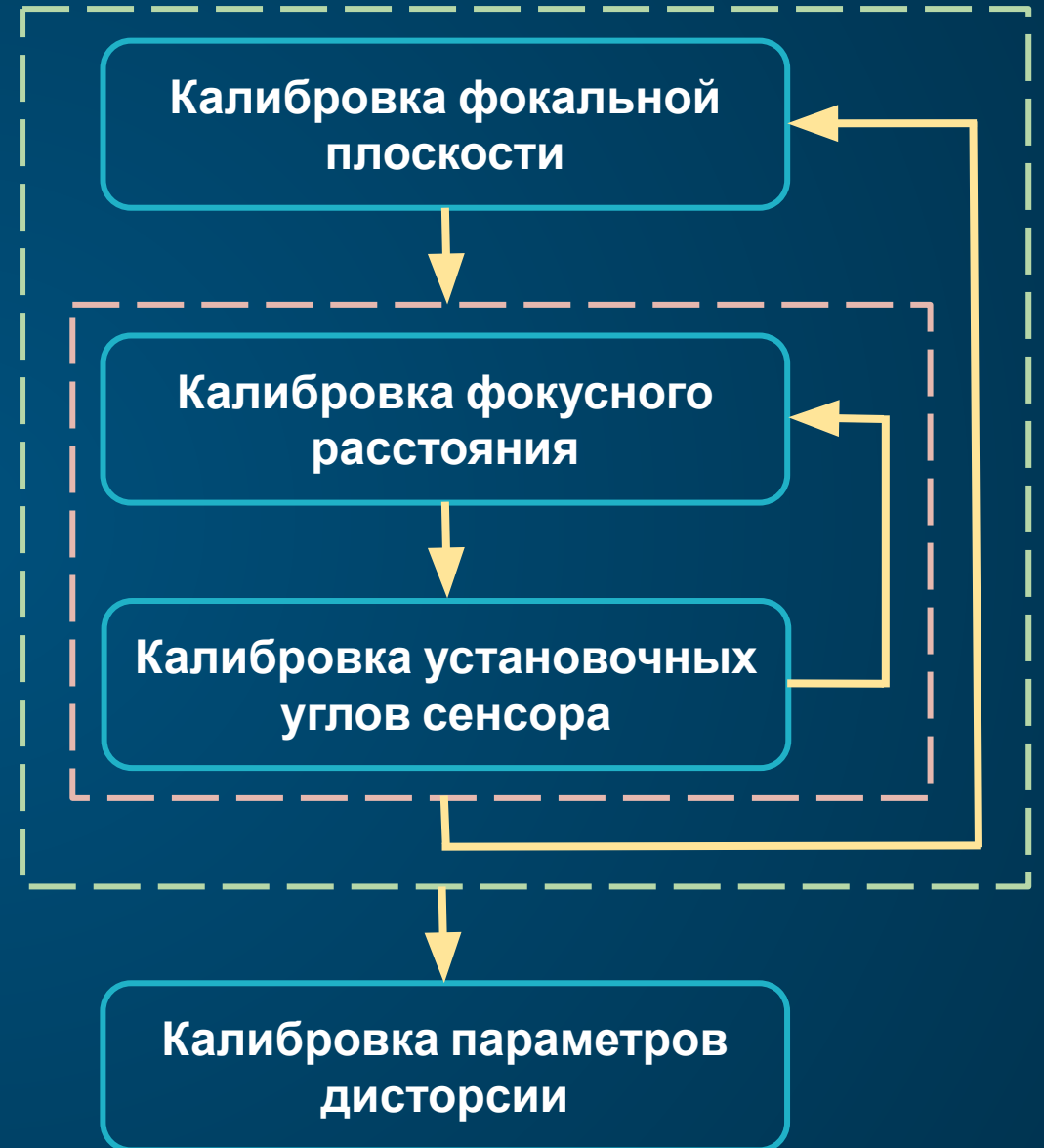
- установочные углы сенсора
- фокусное расстояние
- положение матриц в фокальной плоскости
- параметры дисторсии объектива

Калибровка установочных углов, фокусного расстояния и фокальной плоскости осуществляется итерационно

Опорная информация для калибровки - набор опорных и связующих точек, полученных по набору маршрутов

Для калибровки привлекается маршруты:

- с внятным сюжетом
- без выраженного рельефа
- без облаков и воды





# Геометрическая калибровка сенсора

Автоматически калибруются параметры:

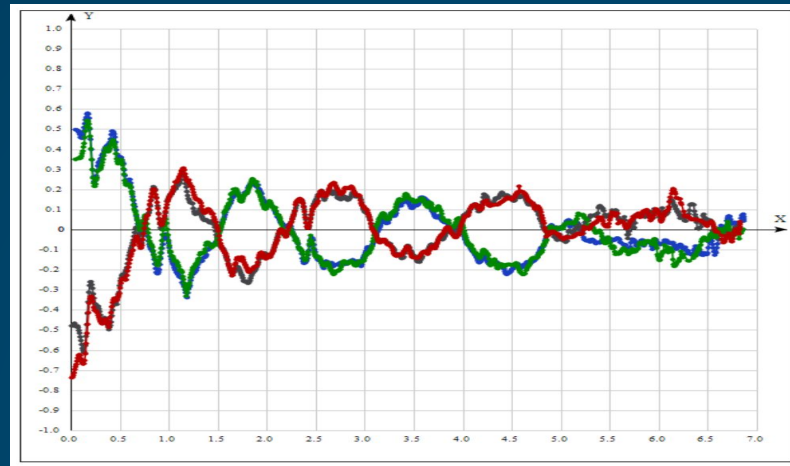
- установочные углы сенсора
- фокусное расстояние
- положение матриц в фокальной плоскости
- параметры дисторсии объектива

Опорная информация для калибровки - набор опорных и связующих точек, полученных по набору маршрутов

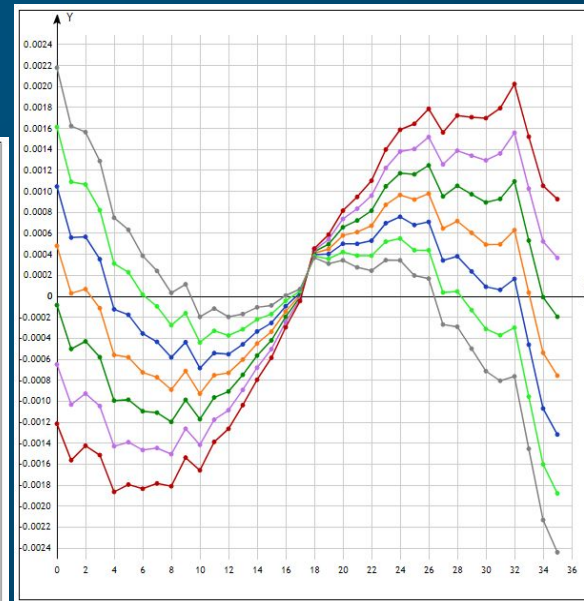
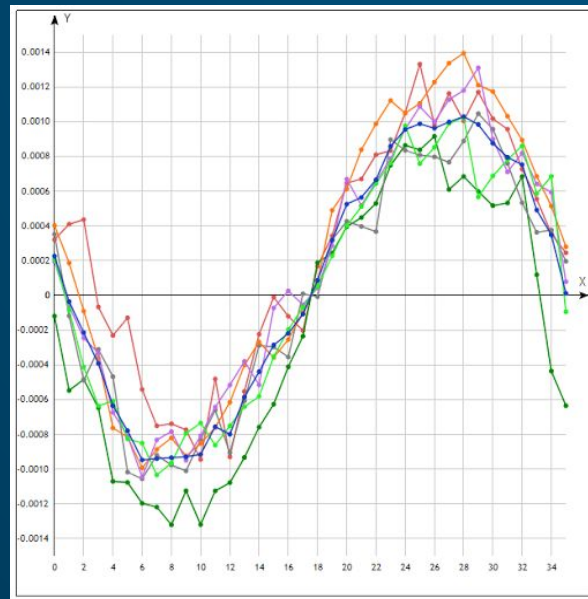
Для калибровки привлекаются маршруты:

- с внятным сюжетом
- без выраженного рельефа
- без облаков и воды

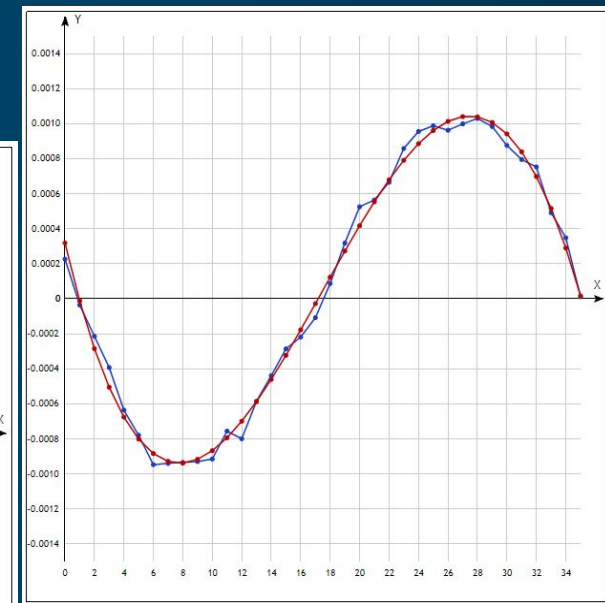
Графики дисторсии для различных маршрутов



Средние ошибки межматричных смещений для различных пар матриц сенсора Геотон, КА Ресурс-П



Зависимость дисторсии от фокусного расстояния

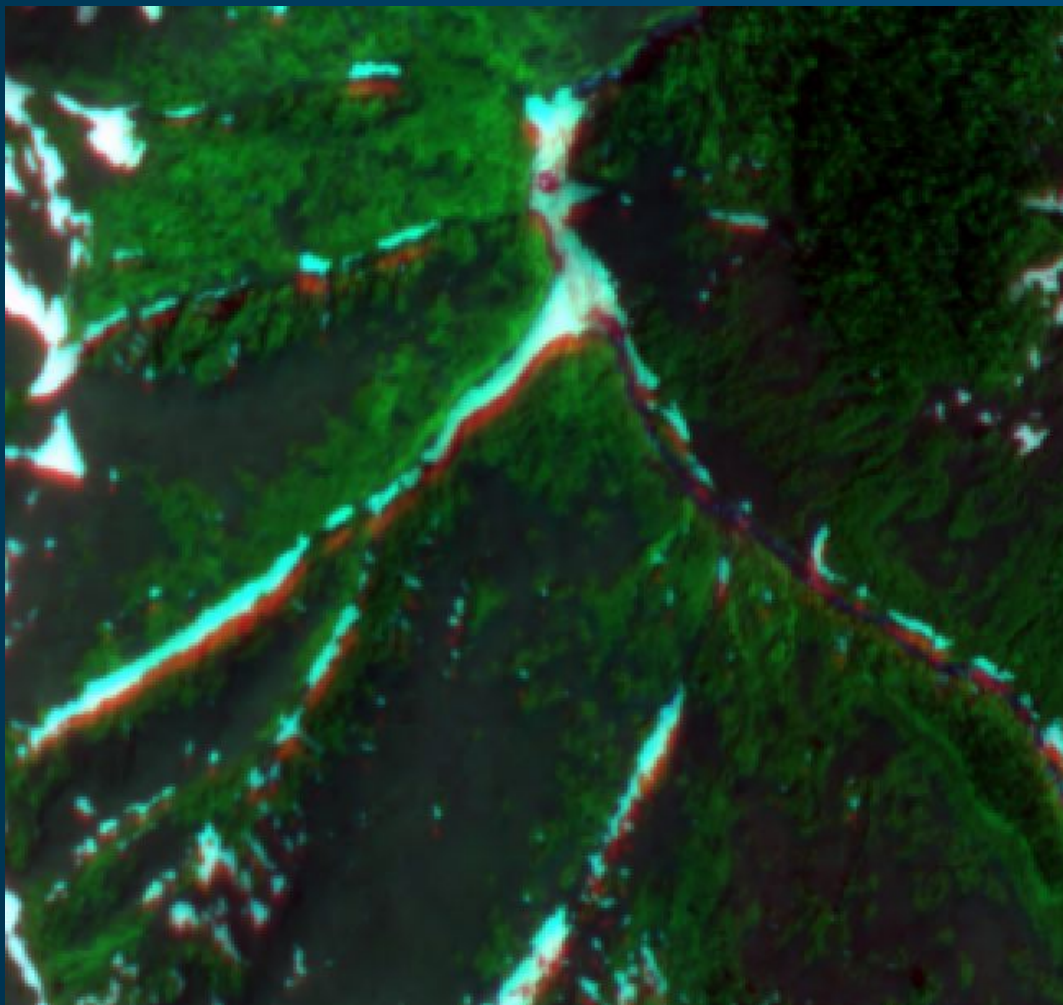


Результат усреднения дисторсии различных маршрутов (синий) и аппроксимации (красный)

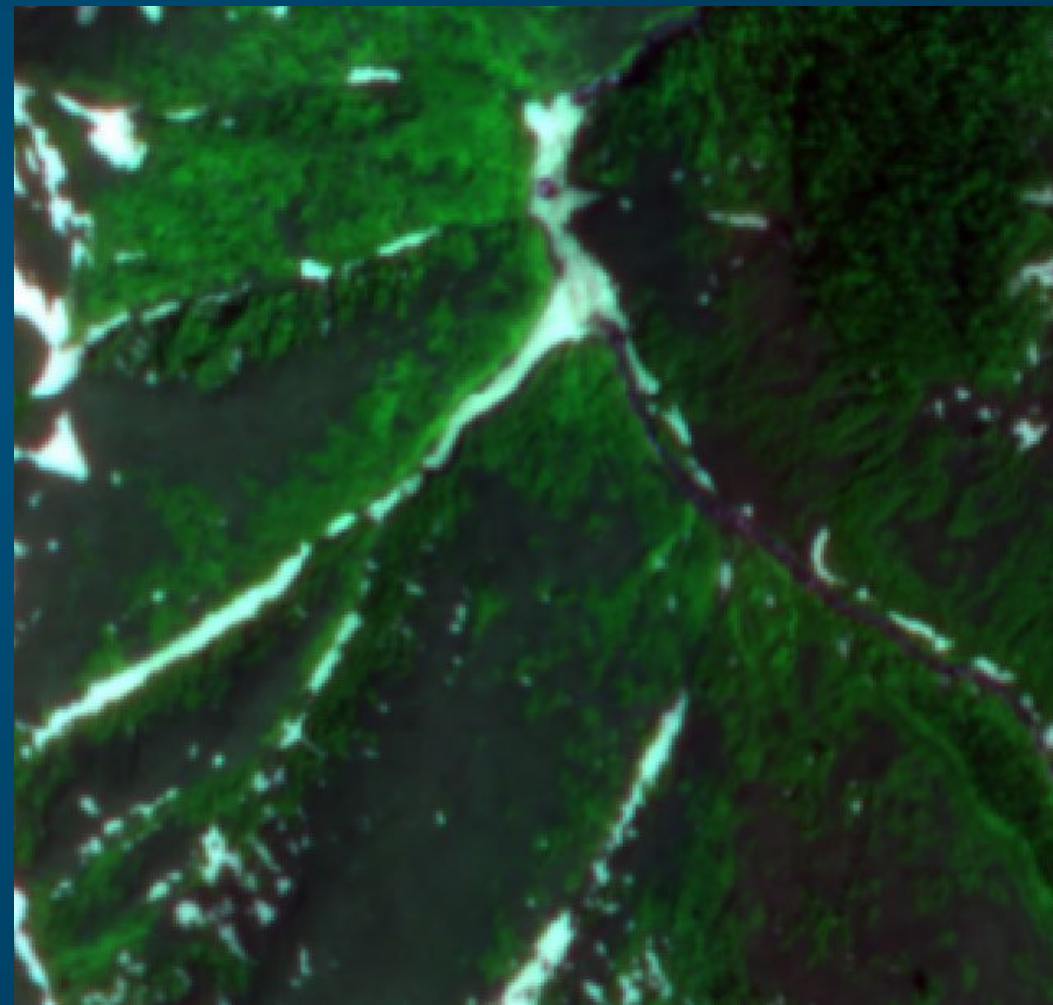
# Геометрическая калибровка сенсора

## Дисторсия объектива

До коррекции



После коррекции



# Основные результаты комплексов обработки (АПОИ и ИС ЦЗ)

- АПОИ обеспечил полностью **автоматическую** работу ФФД ДЗЗ и выдачу потребителям продуктов высокого качества стандартных **уровней 1 и 2**
- ИС ЦЗ обеспечил полностью **автоматическую** обработку и хранение данных, а также выдачу потребителям производных продуктов **уровня 3**
- Существенно улучшена **оперативность и качество** обработки данных
- **Работа тематических сервисов** по данным с отечественной ОГ КА ДЗЗ стала возможна только благодаря этим комплексам

Рассмотренные ключевые технические решения по автоматической обработке информации позволяют обеспечить оперативную качественную обработку данных с многоспутниковых группировок КА ДЗЗ

Автоматическая обработка данных космической съёмки в наземном сегменте отечественной многоспутниковой группировки КА ДЗЗ // “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”



Анализ точности ортомозаики, созданной в автоматическом режиме новым ПК из космических снимков высокого разрешения // “Геопрофи”



**Спасибо за внимание!**

Федоткин Д.И. [Боровенский Е.Н.](#) Сысенко Д.В. Ядыкин А.В  
e-mail: [iprs@mail.ru](mailto:iprs@mail.ru)