

*Двадцатая международная конференция «Современные проблемы
дистанционного зондирования Земли из космоса»,
Москва, 2022 г.*

**Комплекс автоматической
потоковой обработки
информации (АПОИ) - новый
уровень скорости и качества
обработки данных ДЗЗ**

 **НИИТП**
РОССИЙСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

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

Задачи



Полностью автоматическая обработка



Быстрая обработка



Качественная обработка



Единый комплекс под всю группировку КА



Единые форматы, уровни обработки и метаданные



Масштабируемость под большие потоки данных

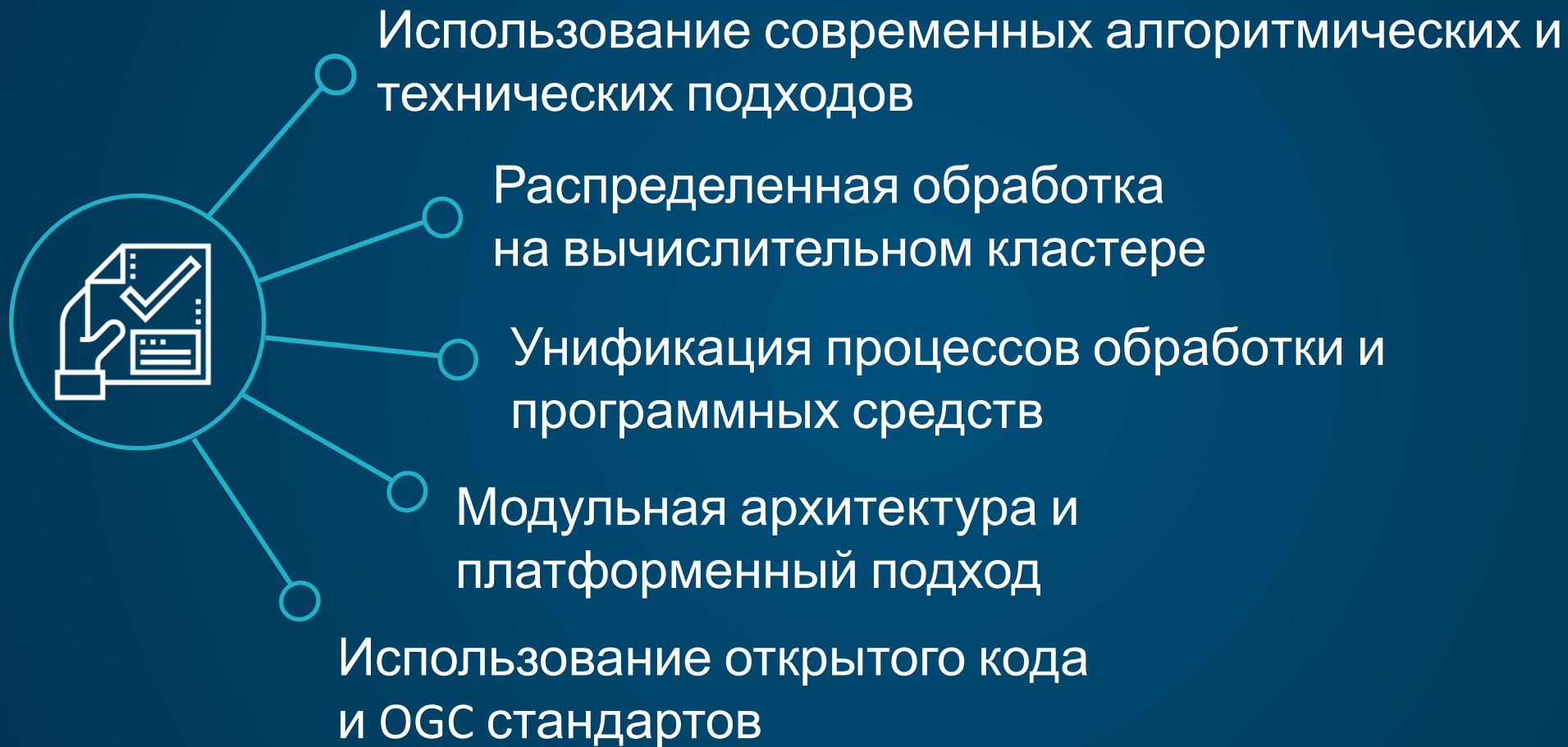


Низкие затраты на модернизацию и эксплуатацию



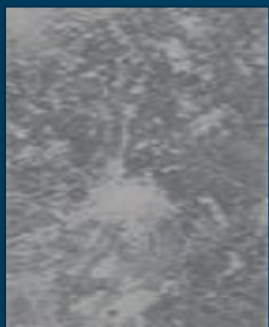
Возможность функционального расширения

Решения

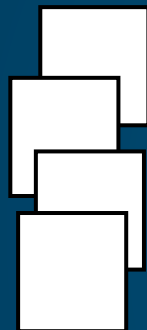


Решения

Распределенная обработка



Исходный маршрут



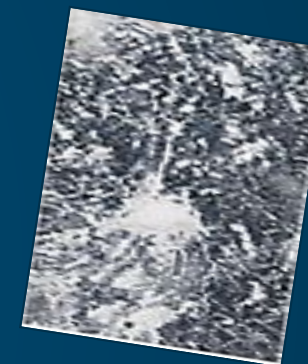
Фрагменты исходного маршрута



этап 1,2,3,..N




Фрагменты выходного изображения



Выходной продукт

Решения

Требования к специальному программному обеспечению



Все функциональные этапы автоматической обработки реализованы в виде кроссплатформенных (с возможностью сборки под ОС Windows и Linux) динамически подключаемых библиотек (DLL), экспортирующих классы (с программным интерфейсом API)

Язык программирования библиотек C++

Декомпозиция всех алгоритмических процессов обработки по функциональным этапам на уровне API функций

Фрагментирование обрабатываемых массивов данных для поддержки распределения (по серверам) и распараллеливания (по потокам)

Обмен данными между этапами обработки в виде структур или байтовых массивов в оперативной памяти

Результаты

Время обработки информации

Распаковка всех маршрутов съемки
одного сеанса сброса RAW
до продуктов архивного уровня 0

< 2 минут

Обработки одного условного кадра
(квадратная сцена)
от уровня 0 до уровня 2

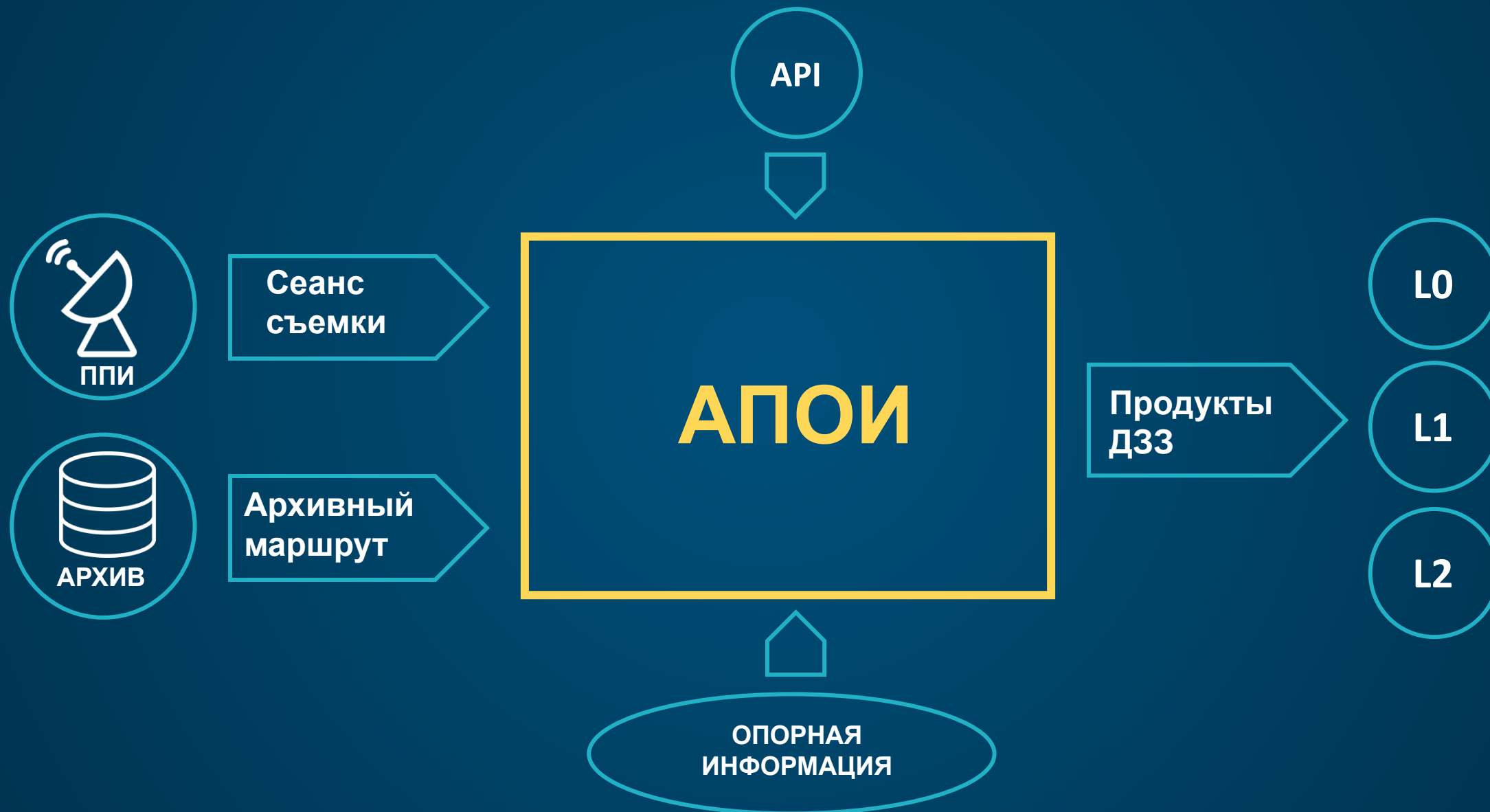
< 1 минуты

Распаковки одного сеанса сброса RAW
и обработка всех маршрутов съемки до
продуктов уровня 2

< 20 минут



АПОИ: ВХОД/ВЫХОД



Основные блоки обработки



Основные операции обработки



Баллистическое движение КА

Исходные данные:

Регулярный массив эфемерид

Отдельные эфемериды

TLE

Формирование массива эфемерид:

Прогноз по модели возмущённого движения КА

Прогноз по модели SGP4

Регулярный массив эфемерид

Расчёт параметров на заданный момент времени маршрута:

Интерполяция полиномами Лагранжа



Ориентация КА

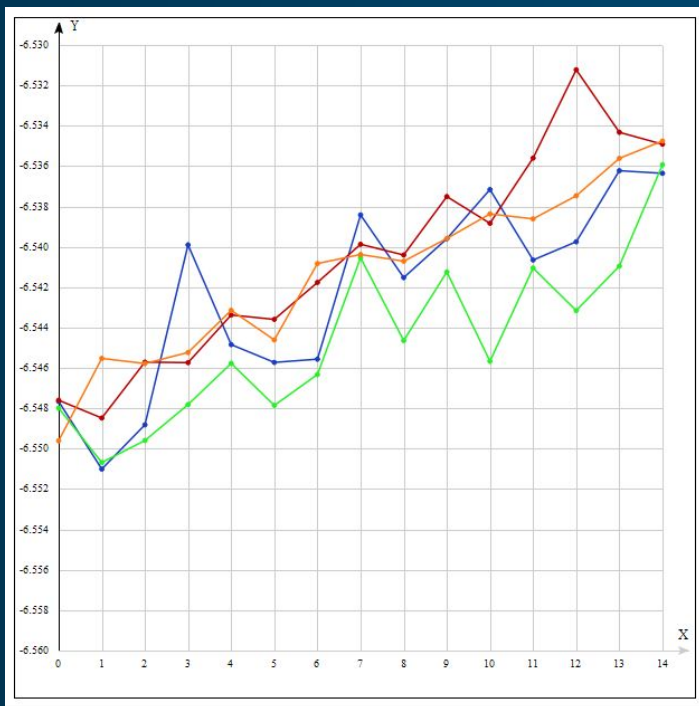
Основные операции



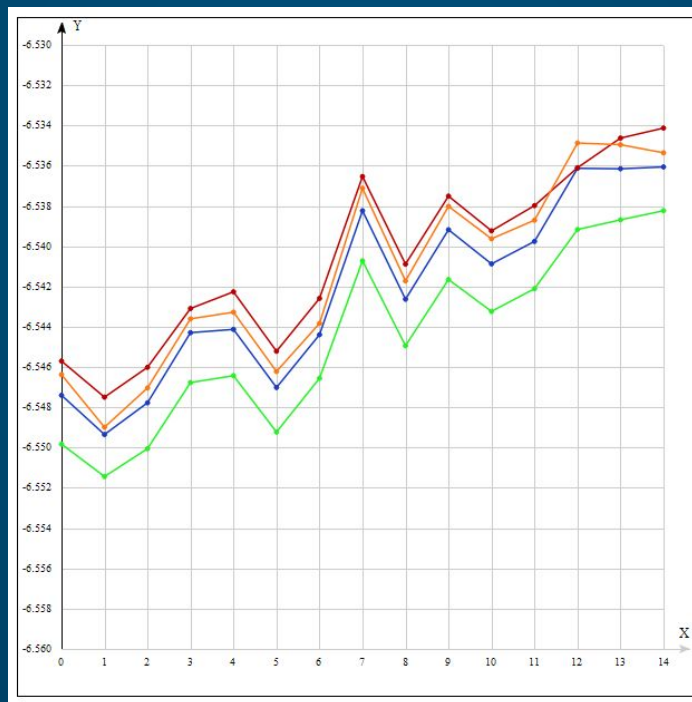
Ориентация КА

Комплексирование измерений различных БОКЗ

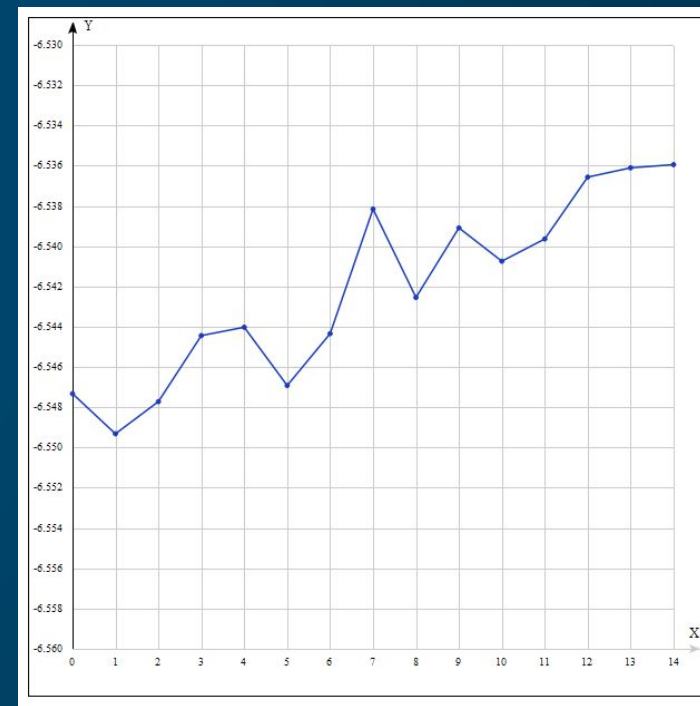
Исходная ориентация
(разные БОКЗ)



После совместной
коррекции
(разные БОКЗ)



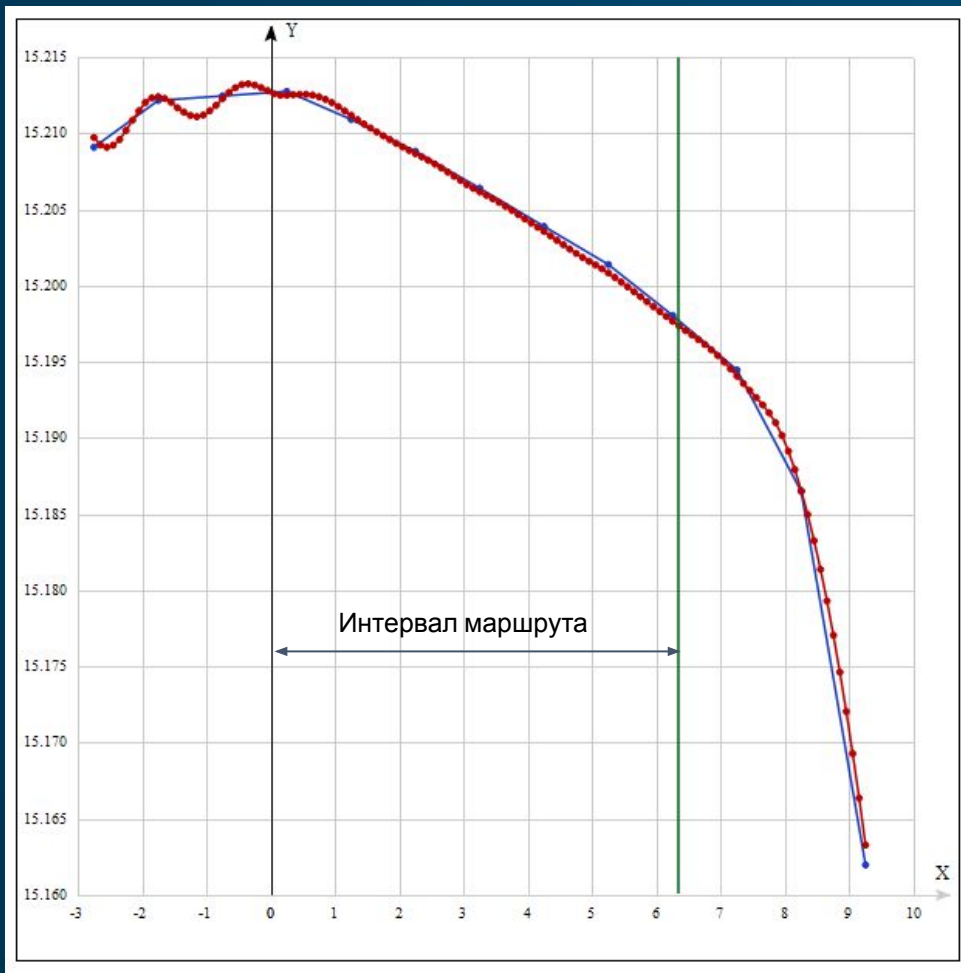
Выходная ориентация
(равноточная с.к.)



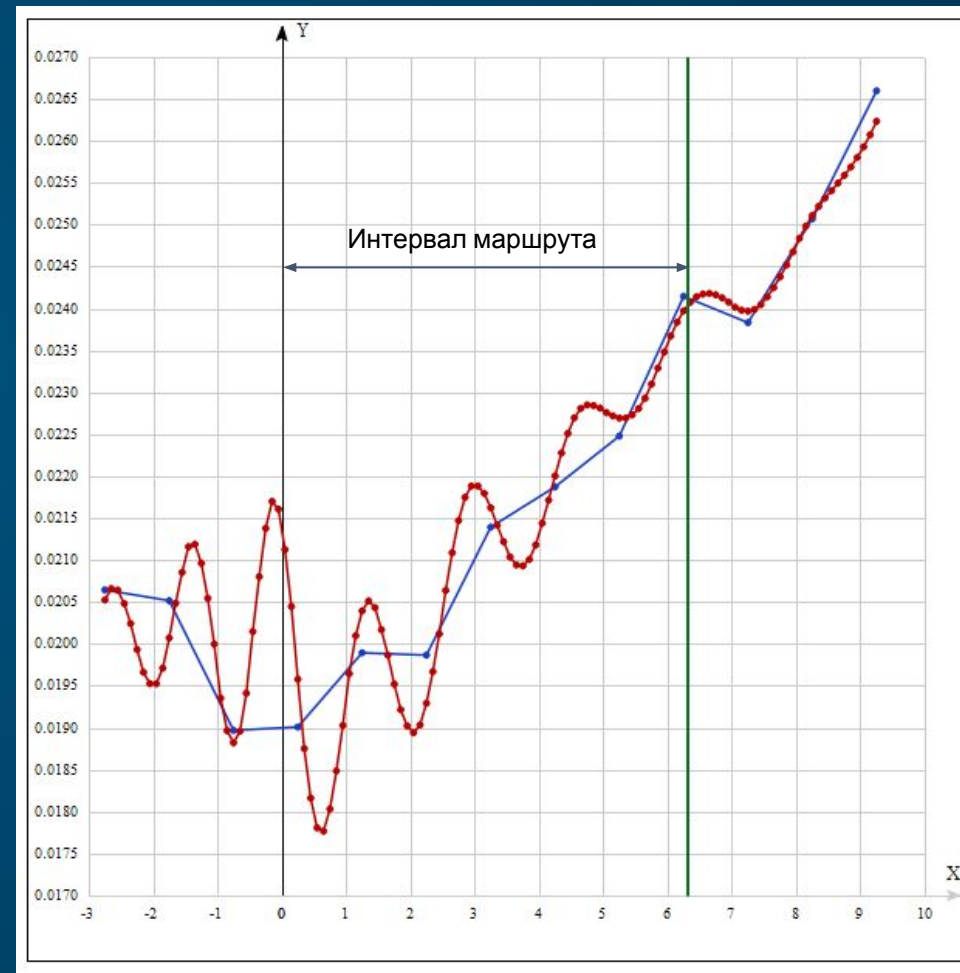
Ориентация КА

Комплексирование измерений ориентации с ИУС

Крен, град



Тангаж, град

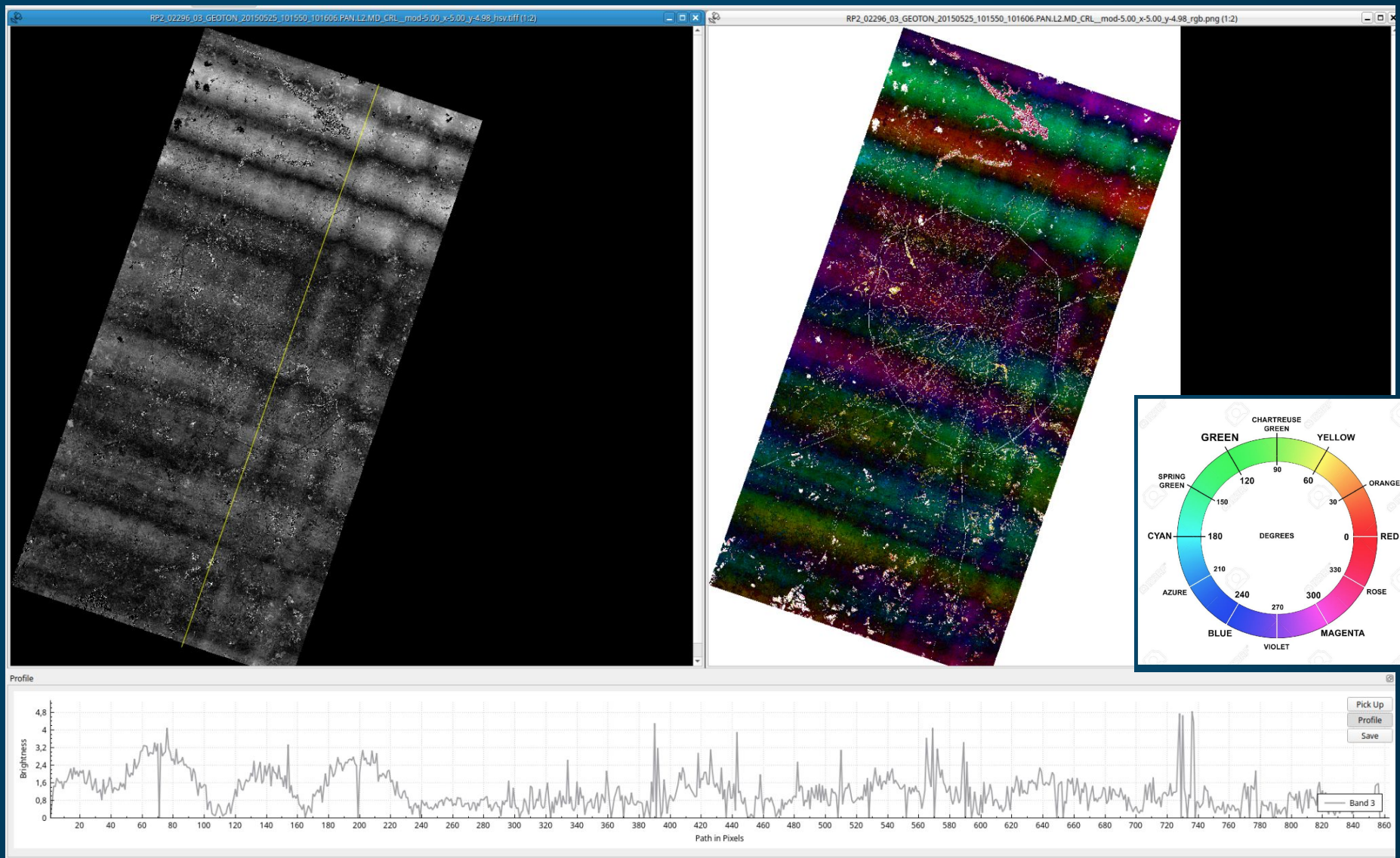


Ориентация КА

Исследование влияния 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



Релятивистские эффекты

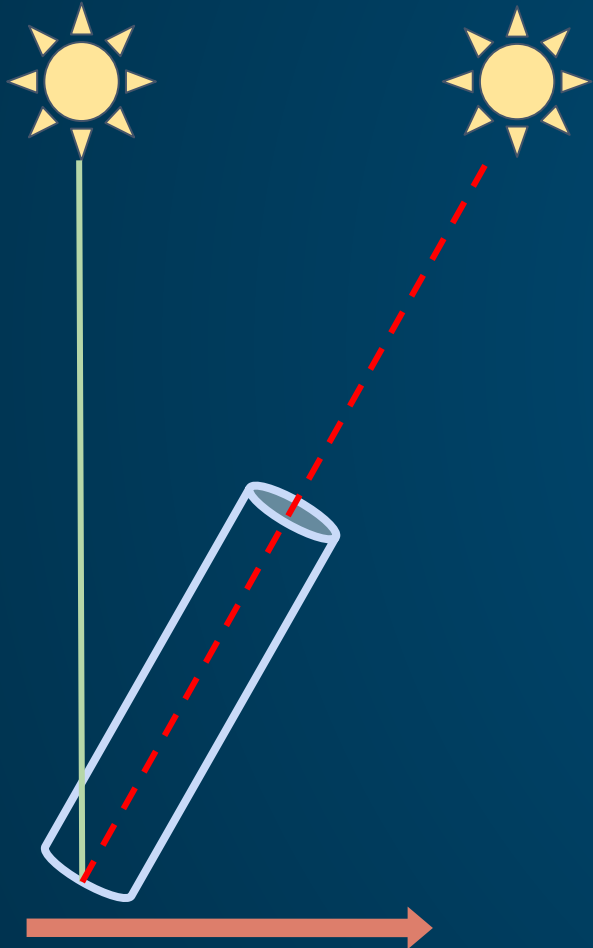
Тип эффекта	Повышение точности привязки
Задержка распространения света от объекта до сенсора	около 10 м (для сенсора Ресурс-П Геотон)
Световые аберрации	3 - 10 м (для сенсора Ресурс-П Геотон)

Релятивистские эффекты

Световые aberrации

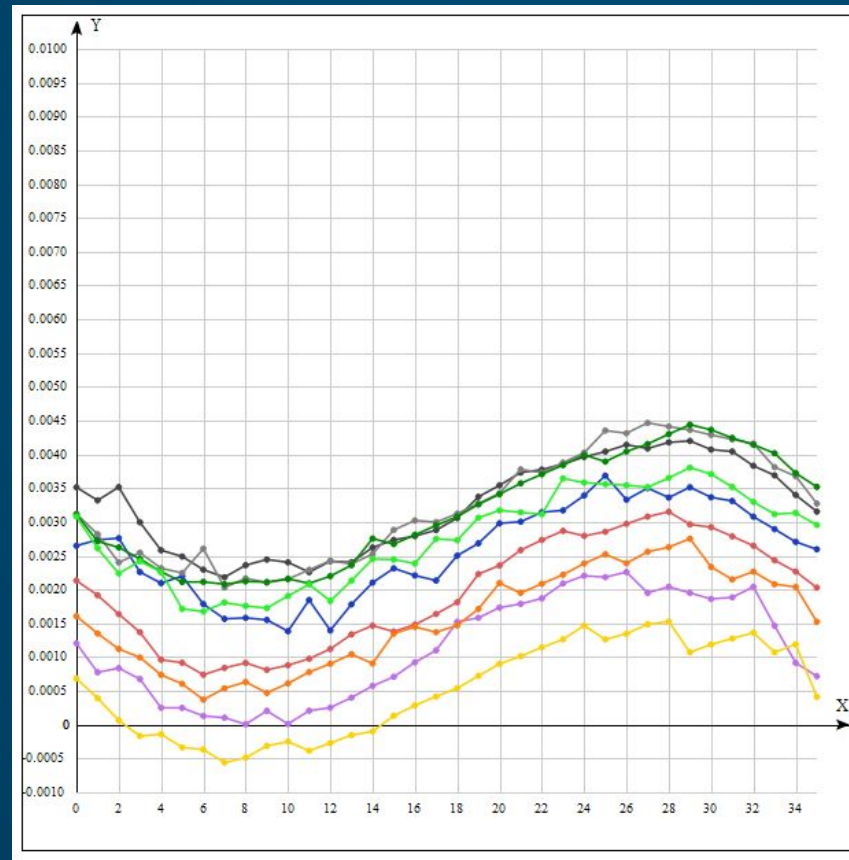
Истинное положение

Наблюдаемое положение

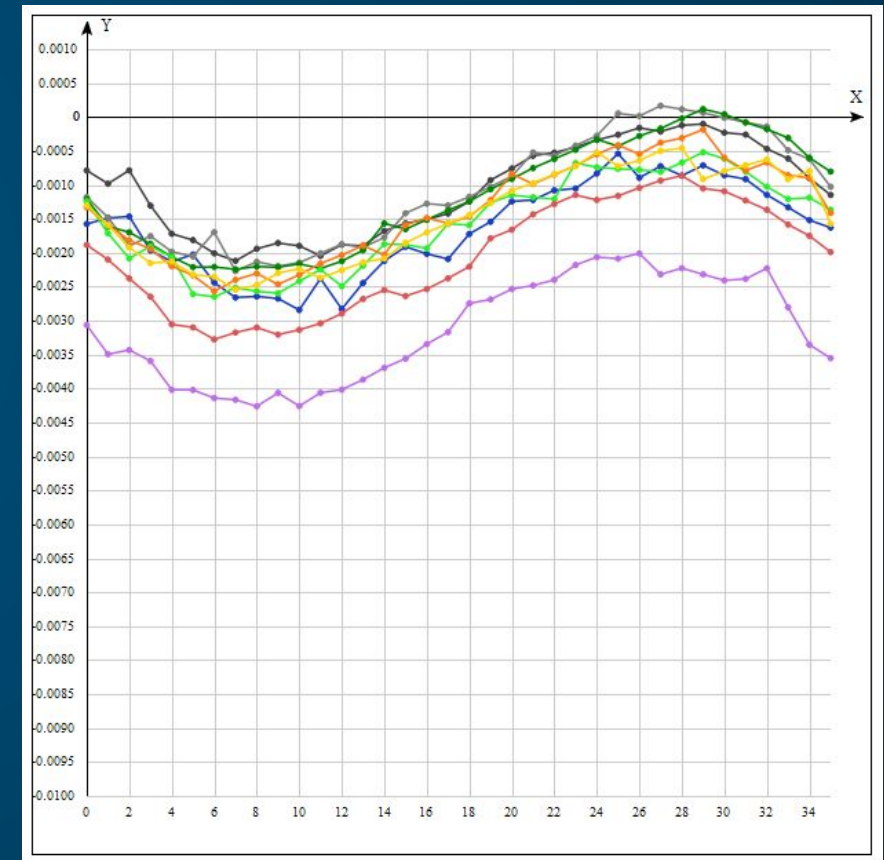


Направление движения

Разным временам съёмки соответствуют разные aberrации. Их учёт приводит к уменьшению разброса поправок ориентации для разных маршрутов



Поправки к углу крена до учёта aberrаций



Поправки к углу крена после учёта aberrаций

Автоматический поиск ОТМ

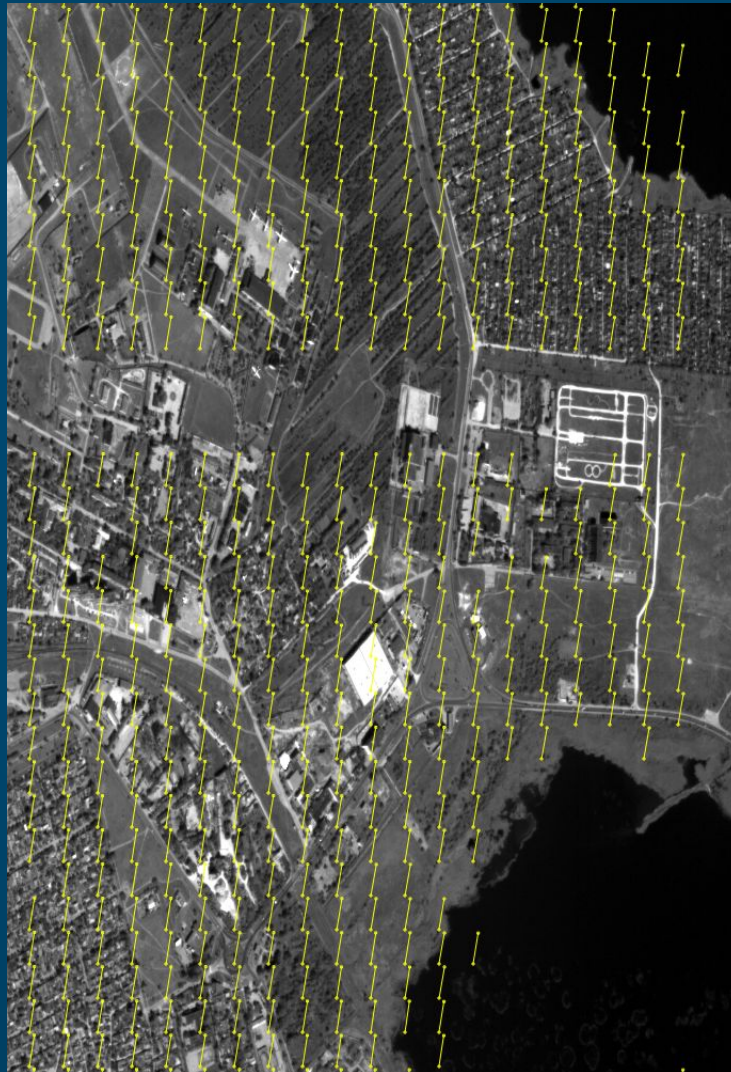
Фрагмент снимка ПАН (Ресурс-П №2
Геотон) с опорными точками

Фрагмент опорной
информации

Поиск осуществляется
корреляционным
способом

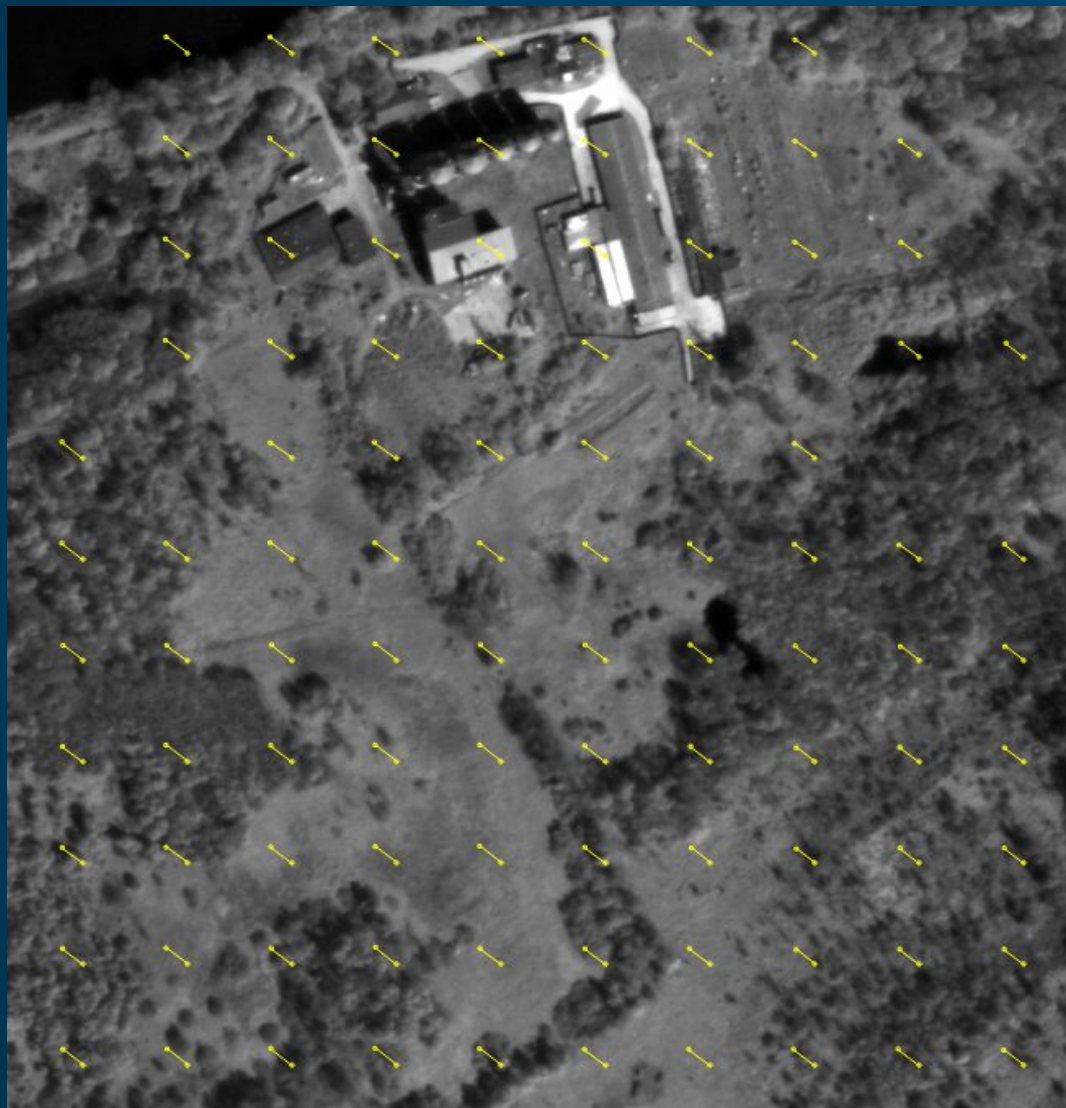
Возможно использование
различных алгоритмов

На выходе - от нескольких
до сотен тысяч точек на
маршрут



Уточнение навигационных параметров

Результаты уточнения



Уточнение навигационных параметров

Статистика уточнения геопривязки

Канопус-В 1

- ошибки до уточнения:
1000 - 7000 м, СКО - 2419,2 м

- ошибки после уточнения:
20 - 80 м, СКО - 33,1 м



Уточнение навигационных параметров

Статистика уточнения геопривязки

Канопус-В ИК, 3 - 6

- ошибки до уточнения:
20 - 100 м, СКО - 62,3 м

- ошибки после уточнения:
2 - 10 м, СКО - 5,7 м



Уточнение навигационных параметров

Статистика уточнения геопривязки

Ресурс-П №1

- ошибки до уточнения:
300 - 3000 м, СКО - 1177,3 м
- ошибки после уточнения:
5 - 20 м, СКО - 10,2 м



Уточнение навигационных параметров

Статистика уточнения геопривязки

Ресурс-П №2,3

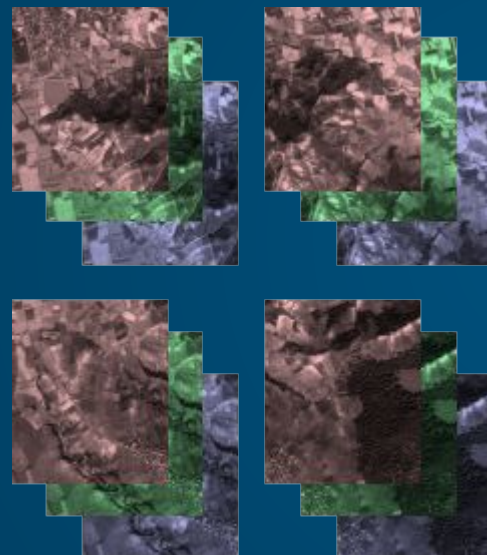
- ошибки до уточнения:
10 - 50 м, СКО - 23,4 м

- ошибки после уточнения:
2 - 7 м, СКО - 4,4 м



Совмещение матриц и каналов

Совмещение матриц и каналов после уточнения обеспечивается в большинстве случаев автоматически без дополнительной обработки



Радиометрическая коррекция

В АПОИ реализована относительная и абсолютная радиометрическая коррекция

Радиометрическая коррекция осуществляется для каждого КА, сенсора, канала по калибровочным таблицам и формулам

При радиометрической коррекции осуществляется восстановление динамического диапазона данных:

Канопус-В: из 8 в 12 бит

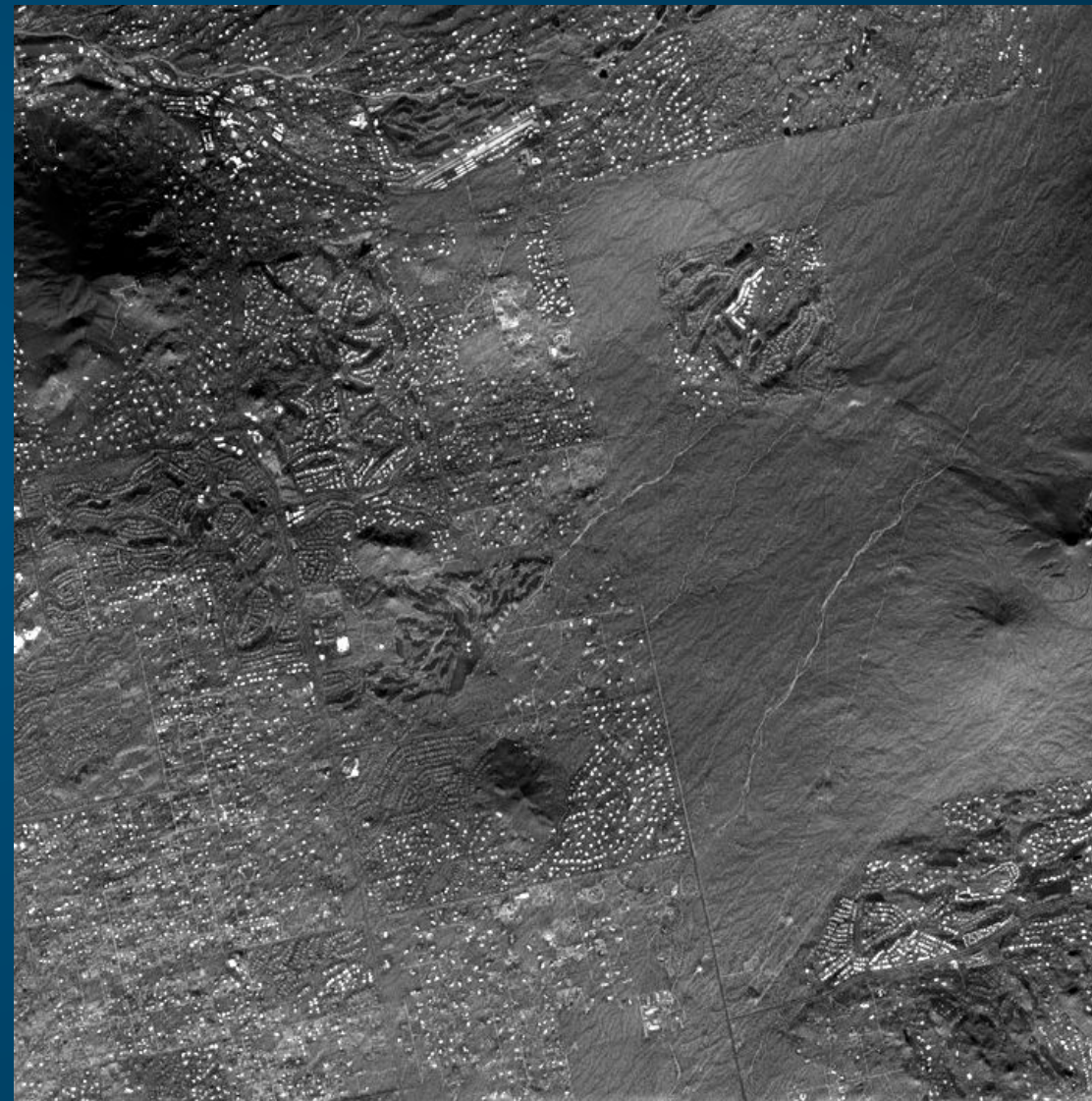
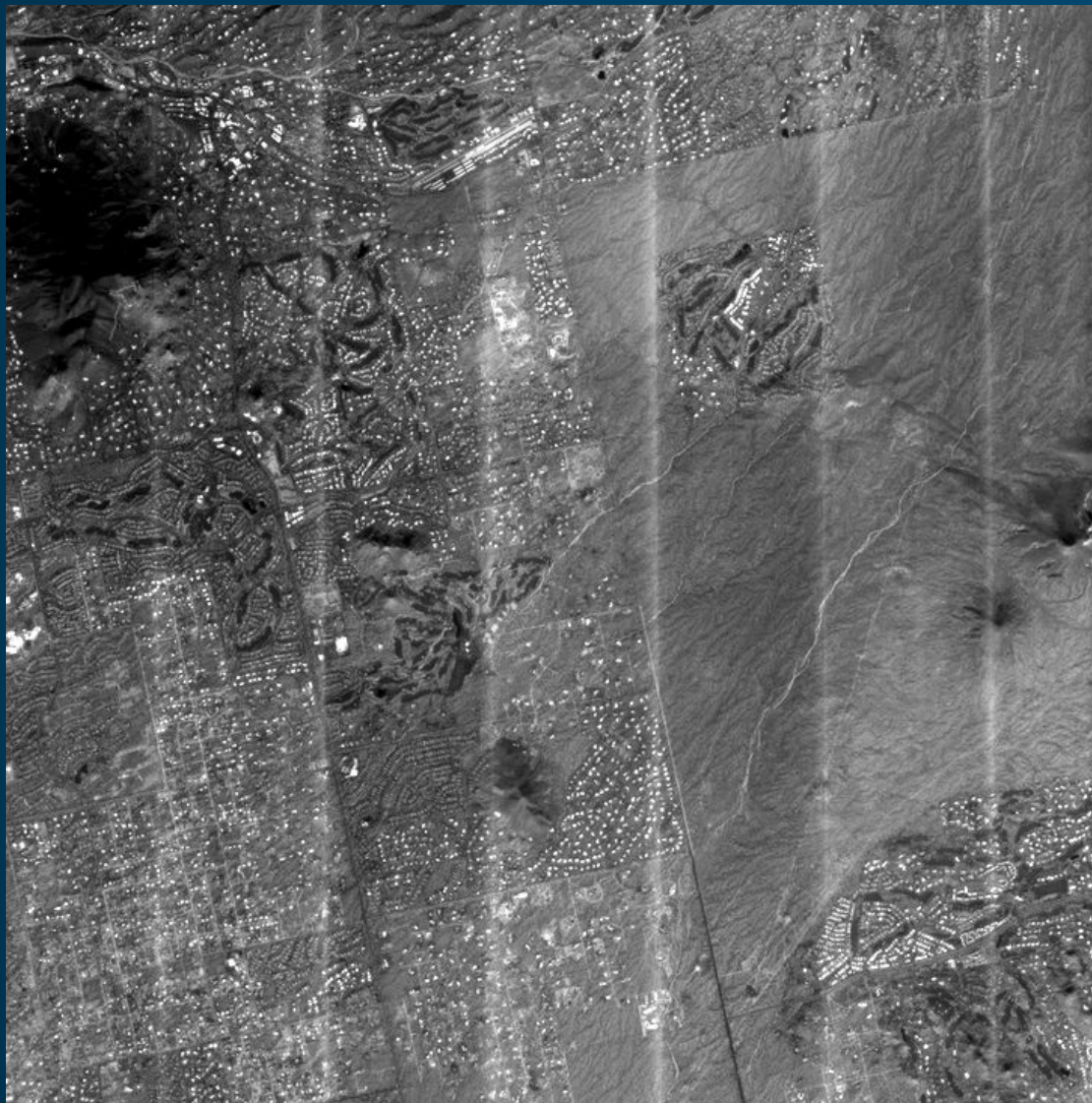
Метеор 20: из 8 в 11 бит

Метеор 22: из 10 в 11 бит



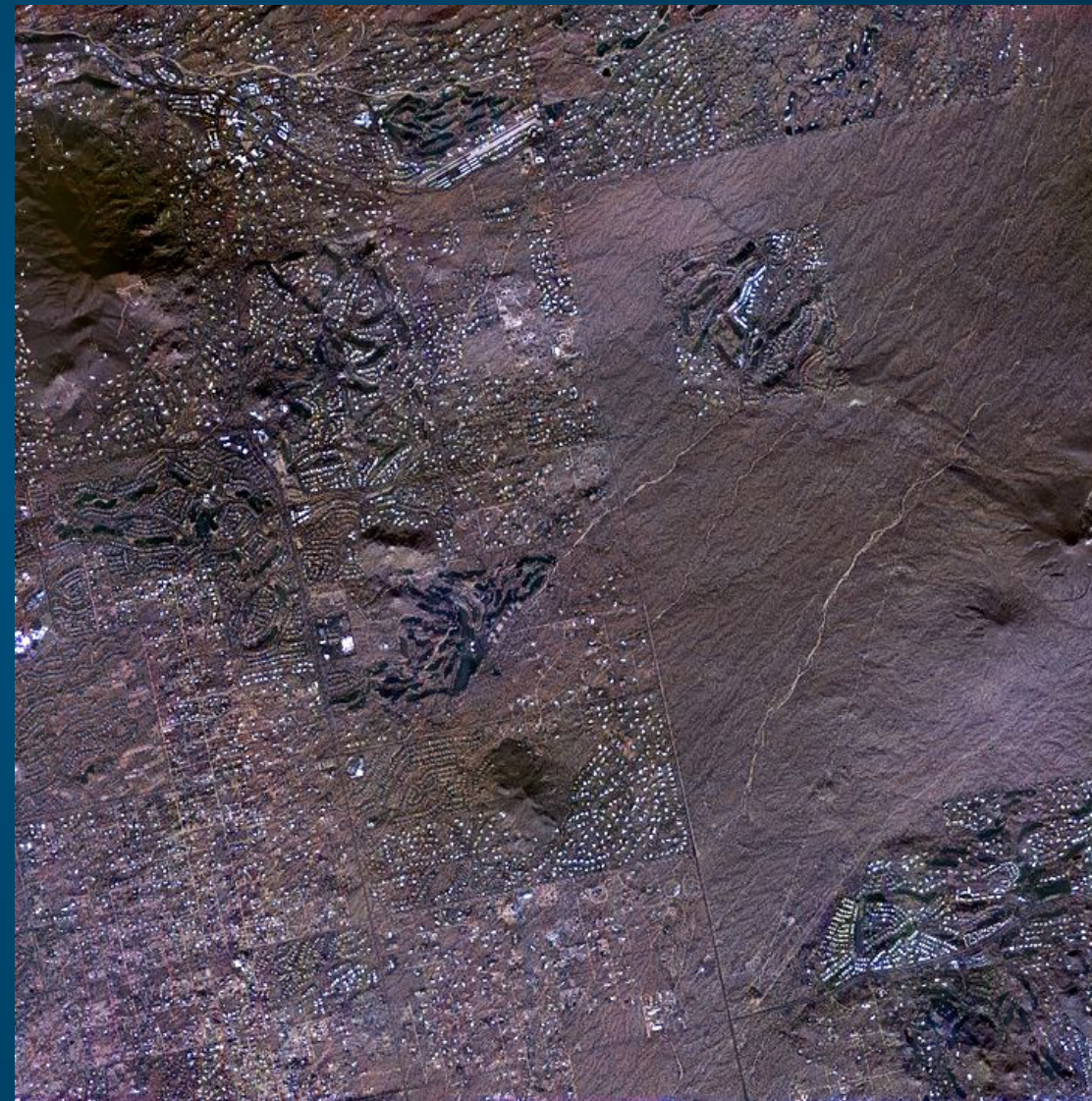
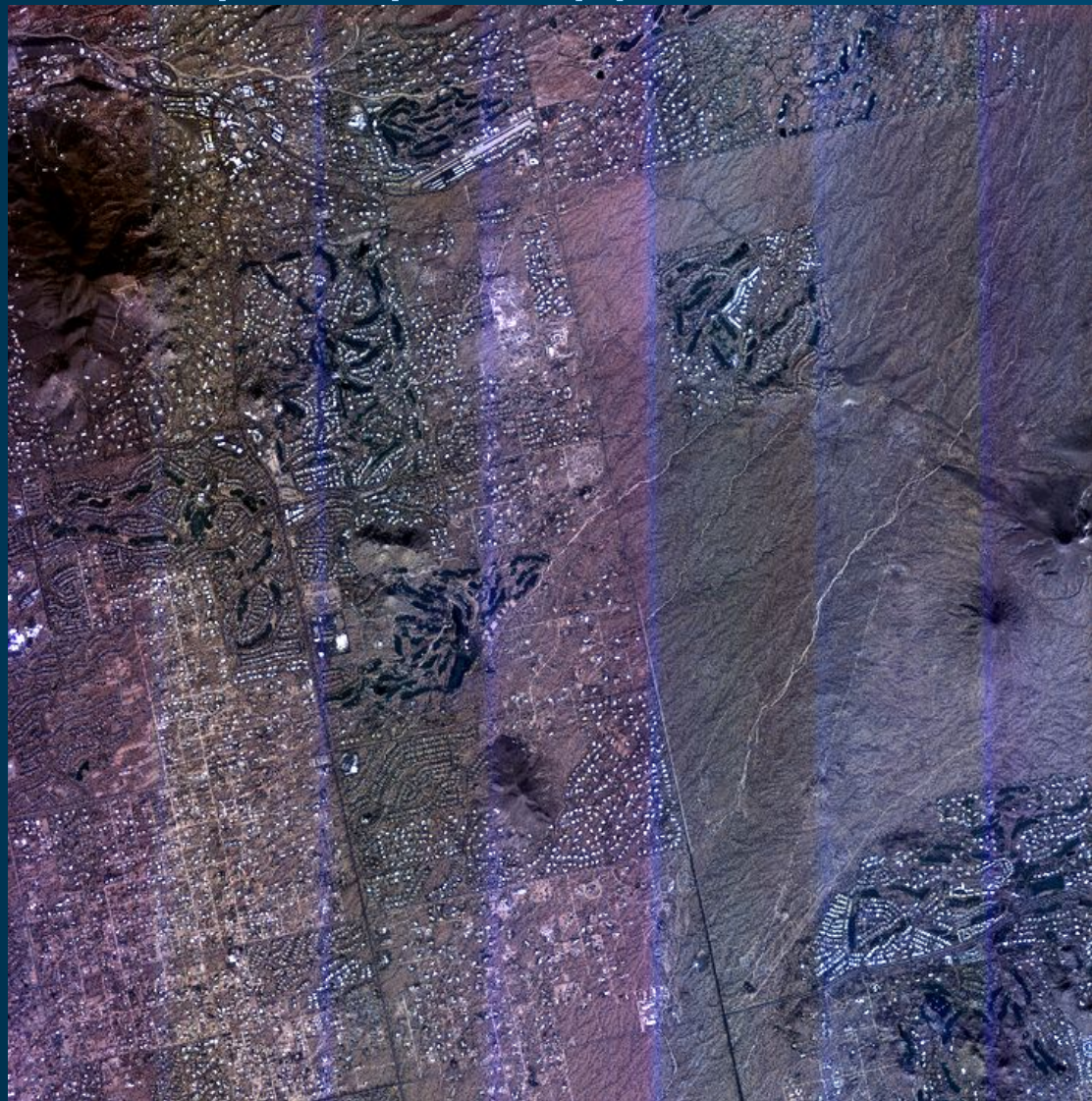
Радиометрическая коррекция

Примеры коррекции



Радиометрическая коррекция

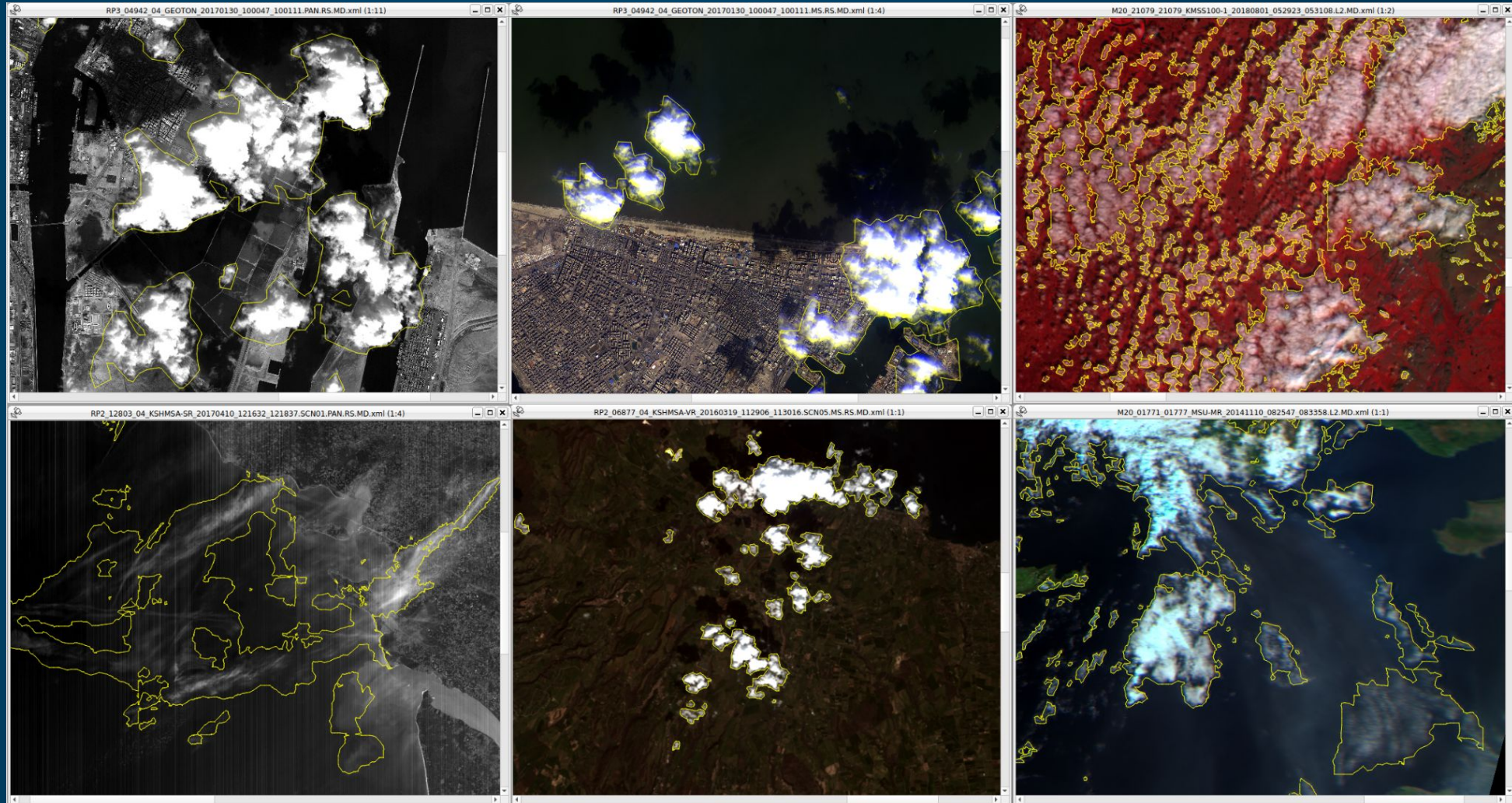
Примеры коррекции



Сегментация

В процессе стандартной обработки осуществляется автоматическое формирование масок облаков, воды, лесов, снега, объектов застройки, дорог

Полученные маски используются при автоматическом поиске опорных и связующих точек, их фильтрации, межматричной и межканальной корреляции



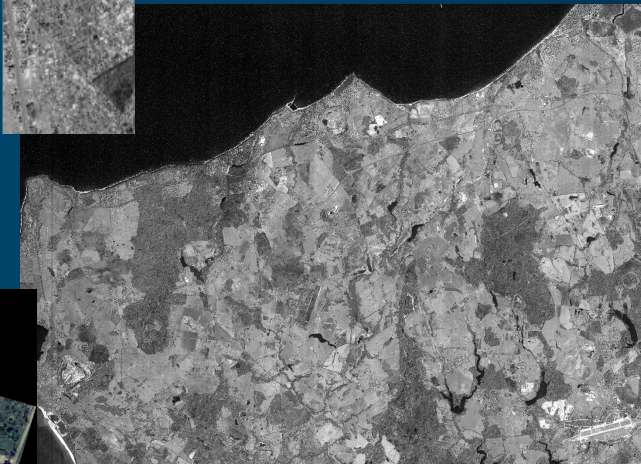
Стандартные продукты АПОИ

Уровень	Описание
L0	содержит распакованную и восстановленную целевую и служебную информацию одного маршрута
L1	содержит географически привязанное и радиометрически скорректированное изображение (маршрута или его фрагмента), представленное в геометрии идеального псевдо-сенсора, все матрицы в пределах канала сшиты в единое изображение, мультиспектральные каналы сведены между собой)
L2	содержит географически привязанное и радиометрически скорректированное изображение (маршрута или его фрагмента), геометрически трансформированное (ортокорректированное с учётом рельефа) в одну из картографических проекций

L0



L1



L2



Комбинации каналов

PAN



MS



PANSHARP



BUNDLE

Продукты уровней L1 и L2 могут иметь следующие комбинации каналов: PAN, MS, PANSHARP, BUNDLE

Продукт уровня 0

Продукт уровня 0 - распакованные, восстановленные, необработанные данные ДЗЗ с сопутствующей служебной информацией

Видеоданные съёмки каждого сенсора, канала, матрицы представлены отдельными изображениями

Уровень является базовым для последующей обработки



Продукт уровня 1



Продукт уровня 1 - изображение в геометрии съёмки (строки - время съёмки, пиксели - элементы матрицы) идеального псевдосенсора

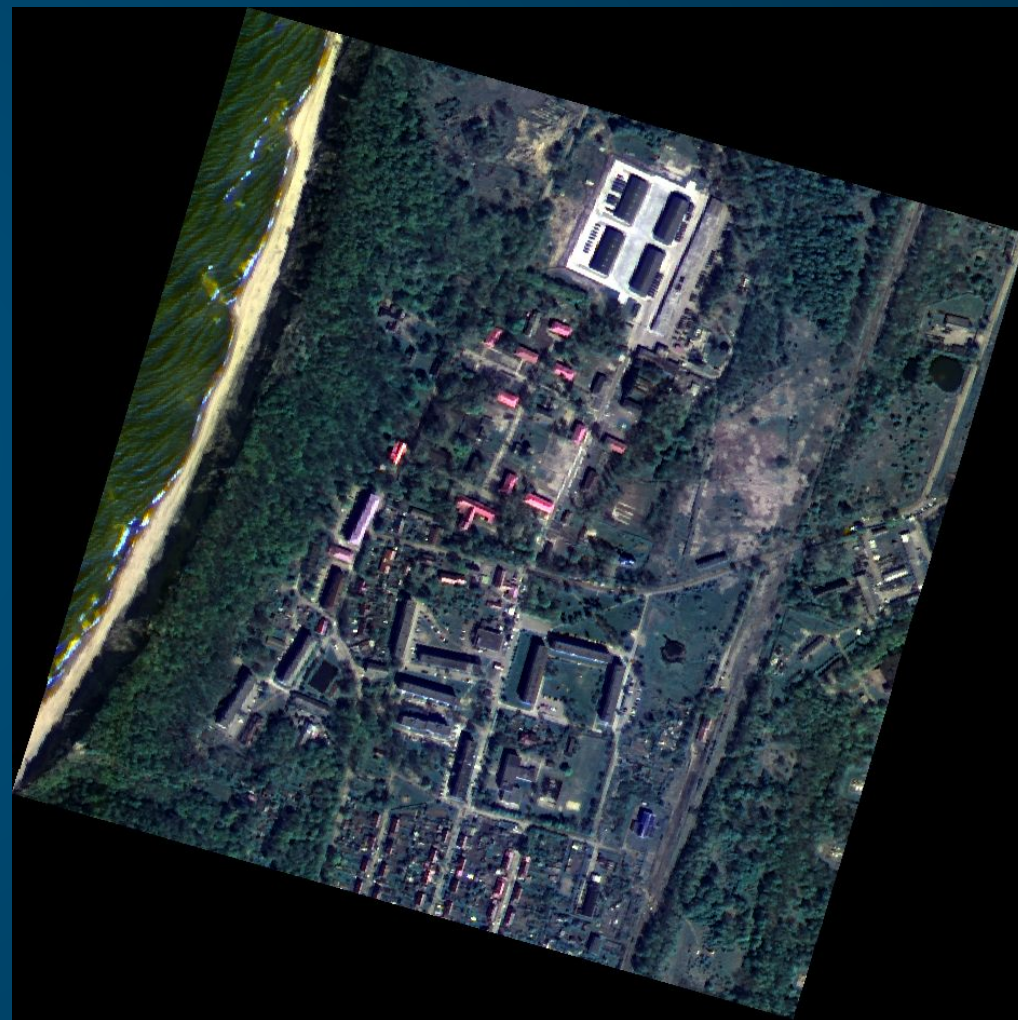
Продукт уровня L1 формируется из данных уровня L0

Продукт уровня 2 (ортокоррекция)

Продукт уровня 2 формируется из данных уровня L0

Осуществляется ортокоррекция с привлечением цифровой модели рельефа (продукт ORTHO) либо коррекция на среднюю высоту (продукт ORTHO Ready)

Продукт уровня L2 сопровождается RPC-коэффициентами



Продукт PANSHARP

Пример продукта PANSHARP



Продукт PANSHARP

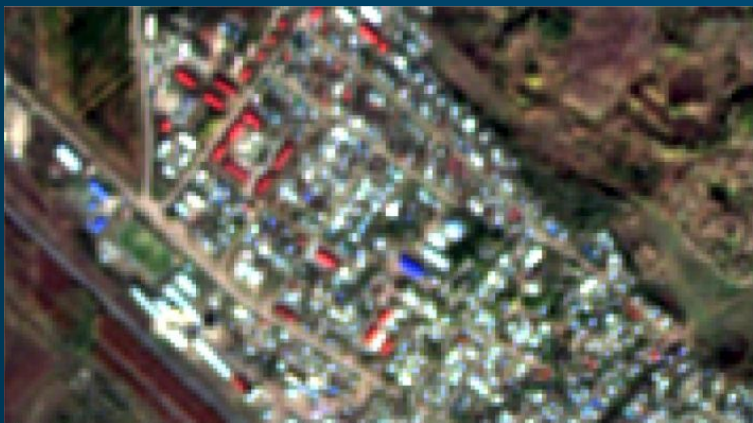
Продукт PANSHARP -
результат
комплексирования
изображений с
сохранением
пространственного
разрешения,
соответствующего
сенсору ПАН



Алгоритм INH



Алгоритм ESRI



Изображение MS



Алгоритм BROVEY

Продукт BUNDLE

Совмещение ПАН с МС (канал 1) при
раздельной обработке



Совмещение ПАН с МС (канал 1)
продукта BUNDLE



Продукт BUNDLE -
результат совместной
обработки каналов ПАН
и МС, в процессе
которой
осуществляется
совместное уточнение
навигационных
параметров и взаимное
пространственное
совмещение
изображений

Повышение резкости изображения

Опционально возможно включение функции повышения резкости изображения различной степени



Геометрическая калибровка сенсора

Геометрическая калибровка - отдельный контур вне обработки данных

Калибруемые параметры:

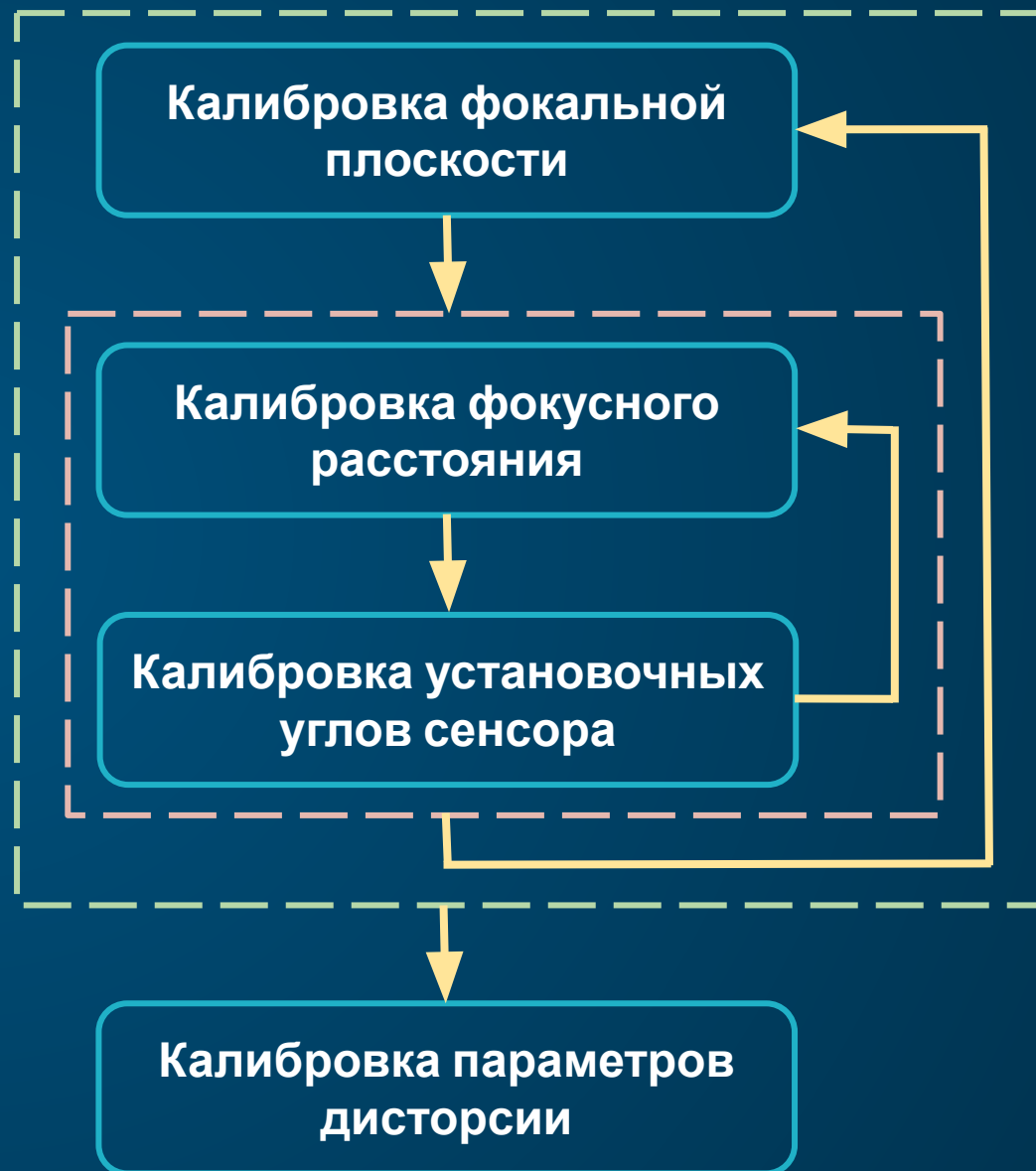
- установочные углы сенсора
- фокусное расстояние
- положение матриц в фокальной плоскости
- параметры дисторсии объектива

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

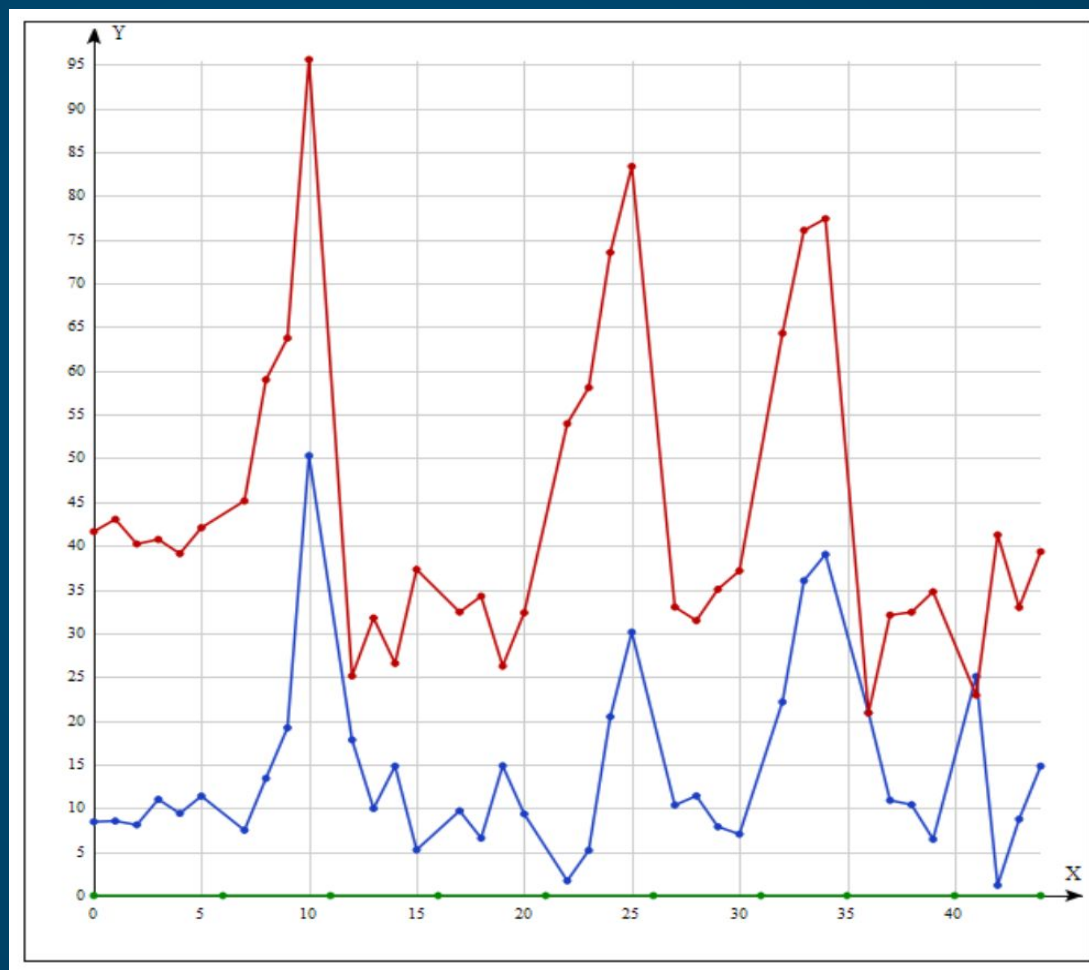


Геометрическая калибровка сенсора

Фокусное расстояние и установочные углы сенсора

Фокусное расстояние и калибровочные углы сенсора влияют главным образом на точность и разброс привязки, в меньшей степени на точность совмещения матриц

Для калибровки используется набор опорных точек, вычисляется и анализируется статистика ошибок привязки



Средние ошибки модуля привязки до (красный) и после (синий) калибровки для различных маршрутов Ресурс-П

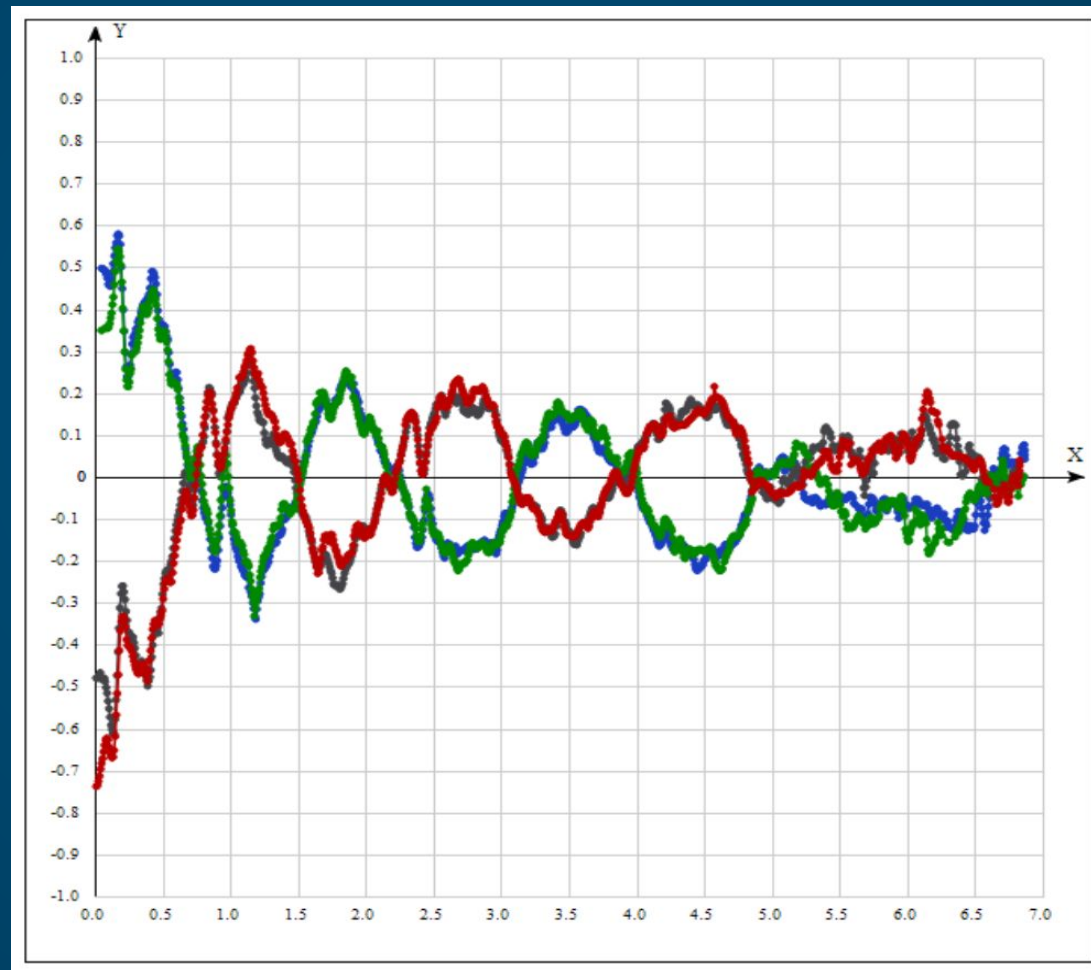
Геометрическая калибровка сенсора

Фокальная плоскость

При калибровке фокальной плоскости осуществляется анализ и вычисление взаимных смещений матриц в фокальной плоскости

Для определения взаимных смещений формируется облако связующих межматричных точек

Полученные смещения фильтруются и усредняются



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

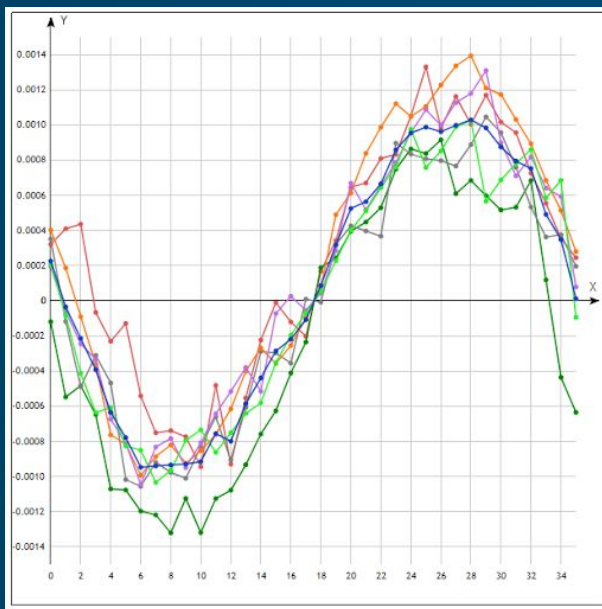
Геометрическая калибровка сенсора

Дисторсия объектива

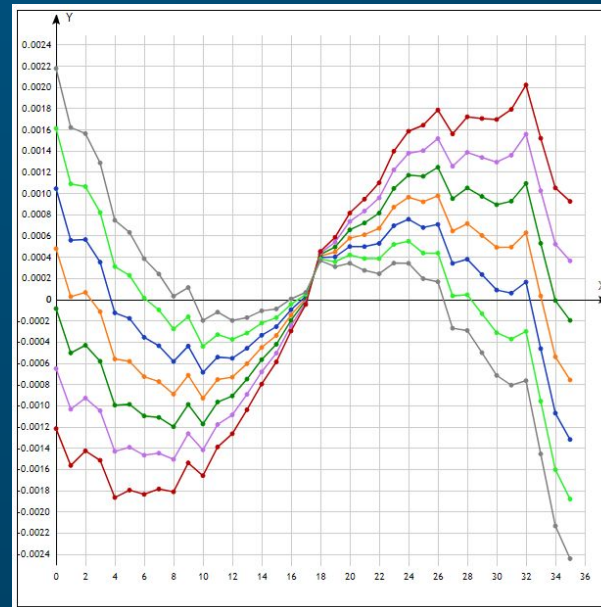
Дисторсия объектива определяется через вычисление корректирующих установочных углов сенсора для разных матриц

Одновременно с дисторсией уточняется фокусное расстояние

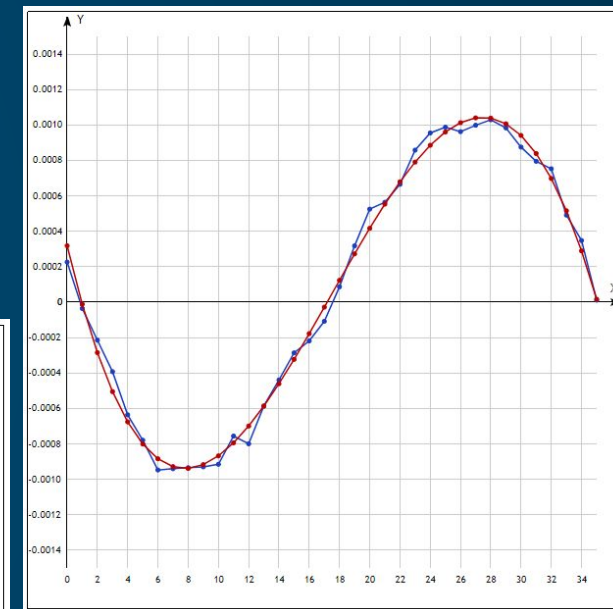
Графики дисторсии для различных маршрутов



Зависимость дисторсии от фокусного расстояния



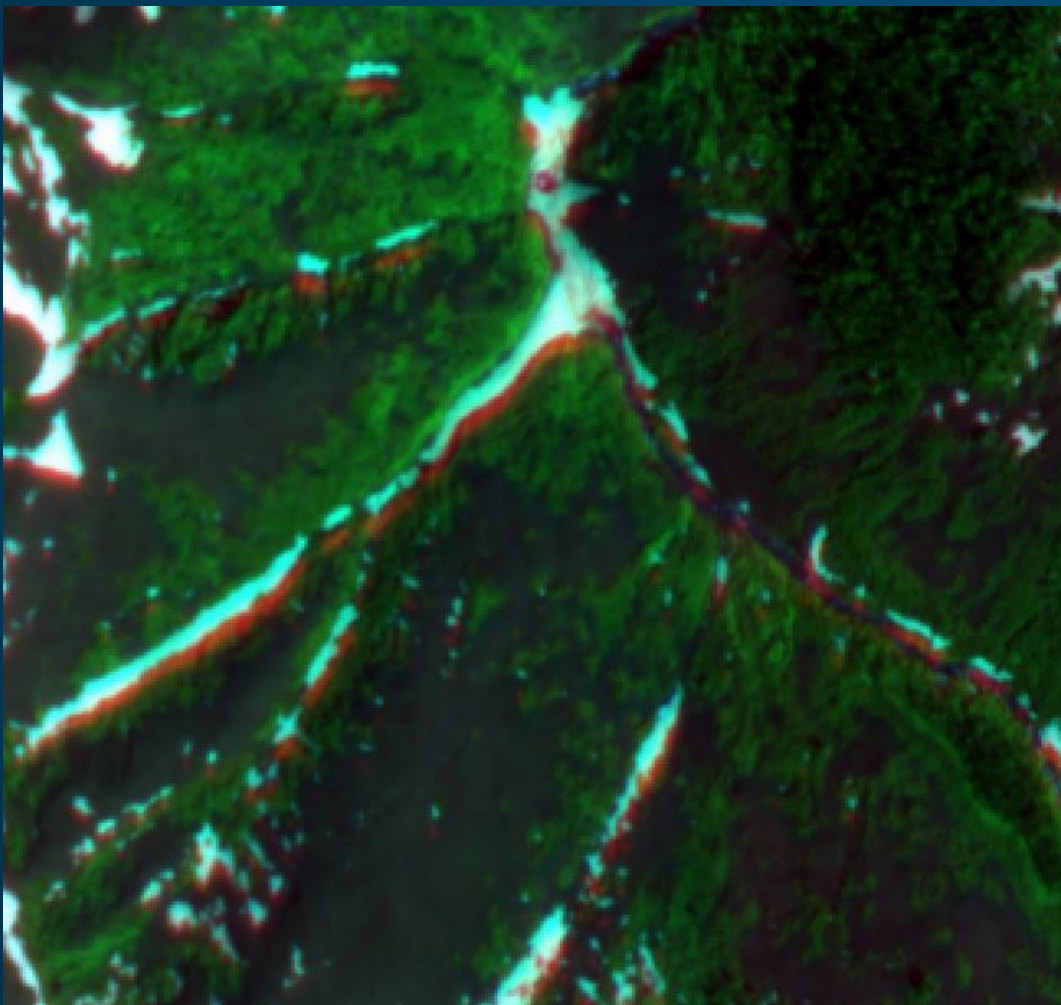
Результат усреднения дисторсии различных маршрутов (синий) и аппроксимация (красный)



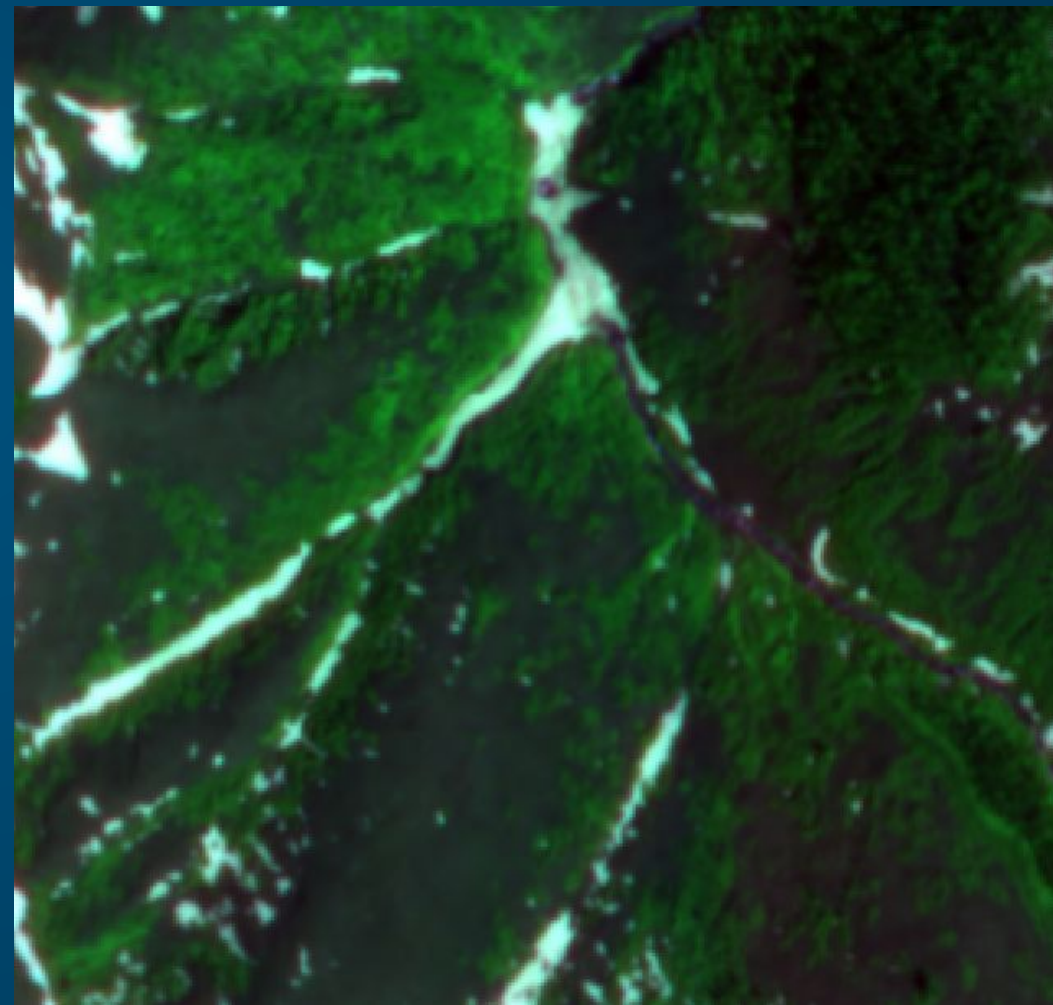
Геометрическая калибровка сенсора

Дисторсия объектива

До коррекции



После коррекции



Заключение

Универсальность, качество и скорость обработки

Основные подходы:

- автоматическая обработка
- распределённая обработка
- унификация алгоритмов
- строгие модели привязки и уточнения
- автоматический поиск опорных и связующих точек
- радиометрическая коррекция
- геометрическая калибровка





Спасибо за внимание!

НТК-3, отделение 4
Сысенко Денис Викторович
sysenko.denis@gmail.com