

XXI международная конференция
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"

Москва, 2023 г.

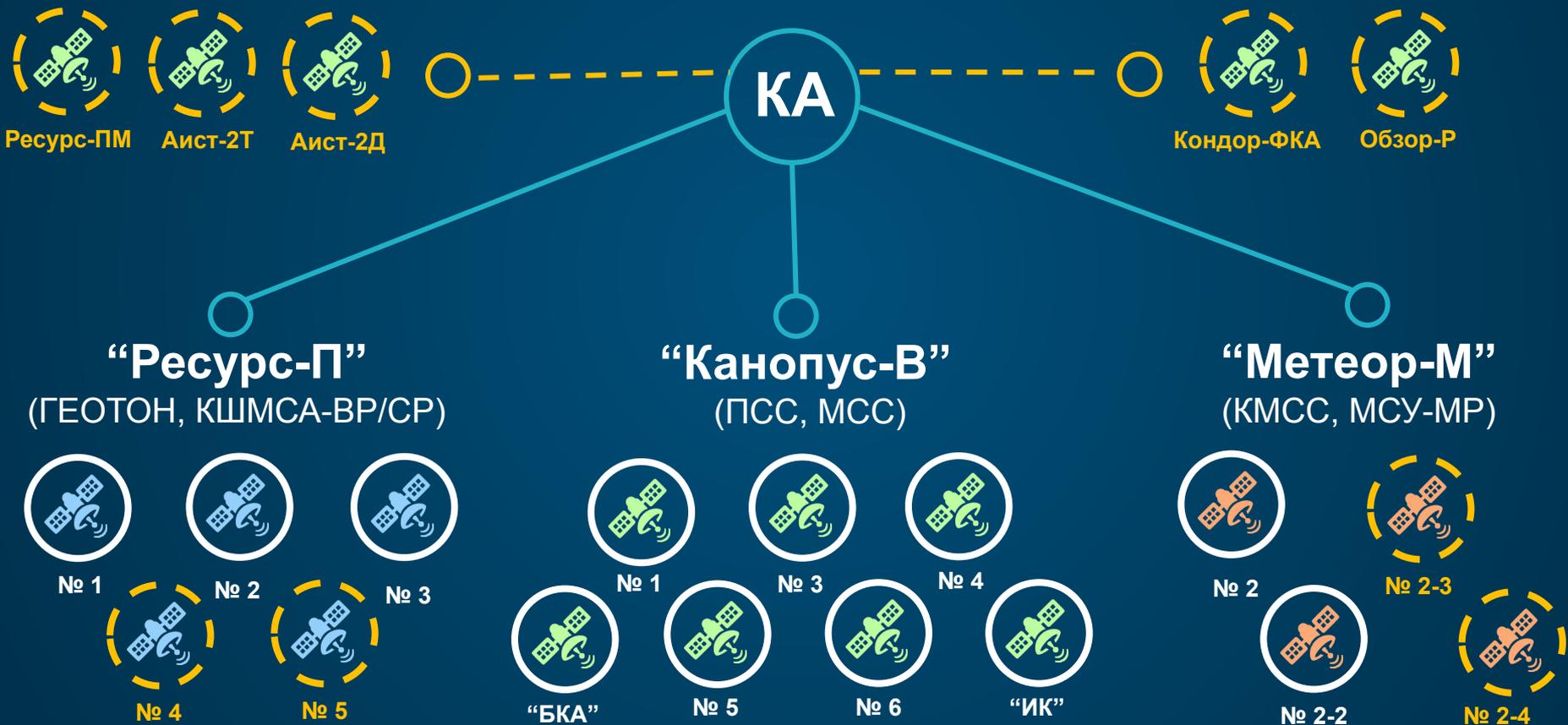


Автоматическая обработка
данных космической съемки
в наземном сегменте
отечественной многоспутниковой
группировки КА ДЗЗ

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

Комплекс автоматической потоковой обработки (АПОИ)





- Максимальная унификация (один комплекс на все КА ОЭН и РЛН)
- Более строгие и более точные модели
- 100% полный автомат: обработки, уточнения, оценки качества и калибровки (0 операторов вместо сотни)
- Более быстрая обработка (минуты вместо часов и суток)
- Более качественная обработка (лучше сведение матриц и каналов, точнее геопривязка – единицы метров вместо десятков и сотен)
- Количество и стоимость технических средств меньше в десятки раз
- 100% полная масштабируемость и переносимость
- Эксплуатационные расходы меньше в несколько раз
- Больше видов продукции (BUNDLE L1/L2, PANSHARP L1)



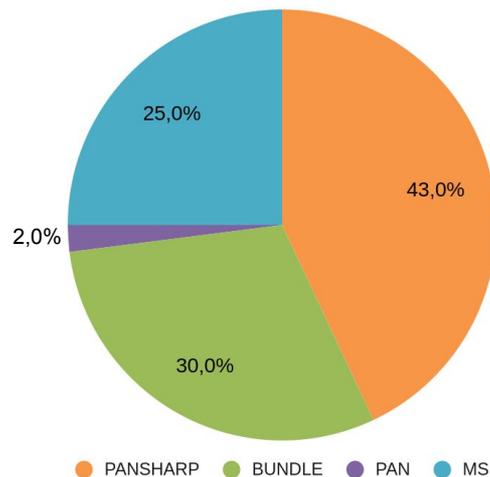
Всего сцен за период – 315 980

Впервые потребителям стали получать продукты BUNDLE (связка PAN+MS, геометрически совмещенные)

Впервые потребителям стали получать продукты PANSHARP высокого качества **автоматически** без участия оператора

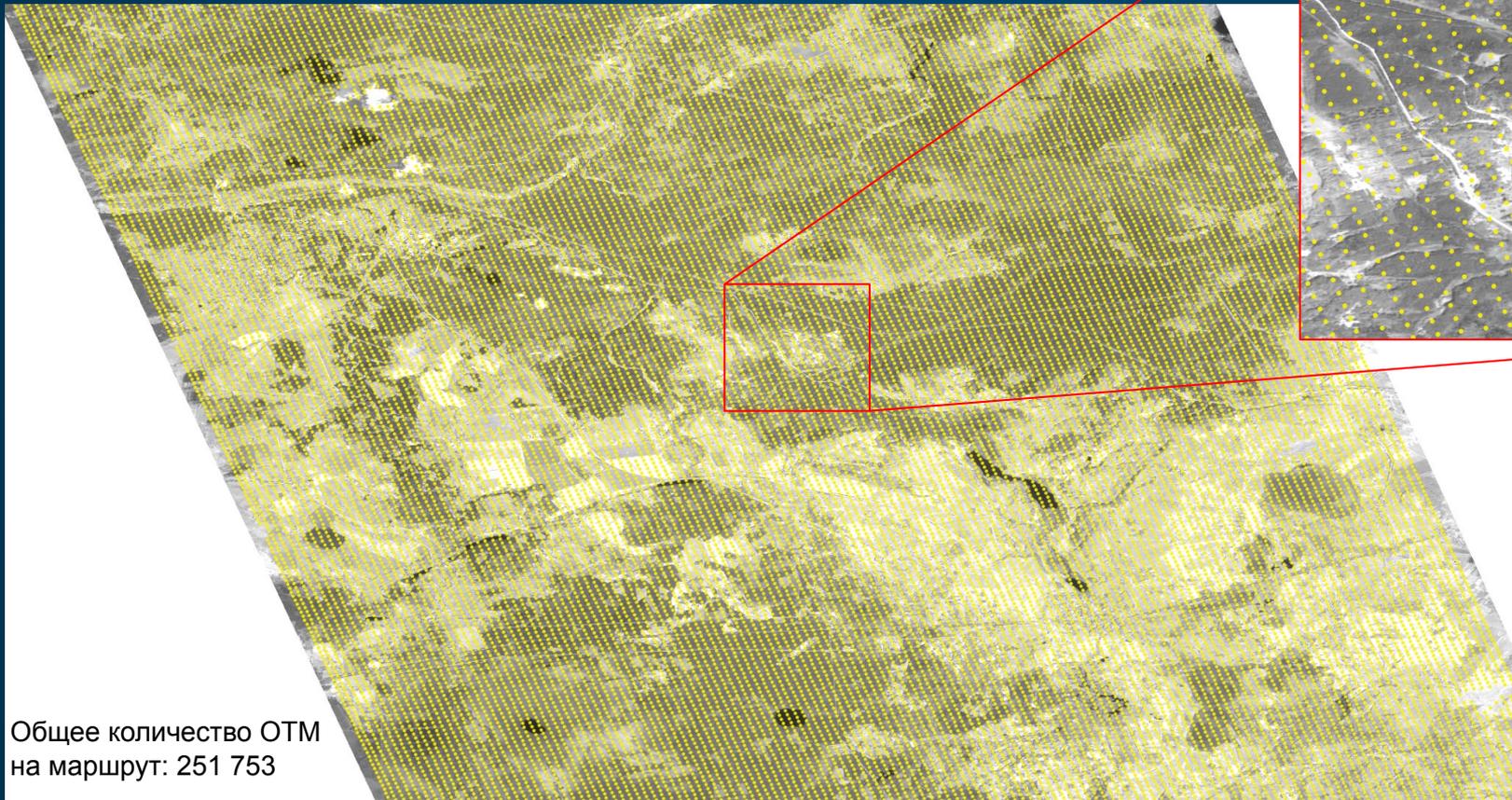
Статистика эксплуатации ФФД ДЗЗ показывает, что потребители в 73% заказывают продукты BUNDLE и PANSHARP

Соотношение продуктов PANSHARP, BUNDLE, MS, PAN за период с 01.01.2022 по 30.09.2022



Автоматическое уточнение геопривязки

- набор опорных точек по архивному L0
- улучшение геопривязки за счет коррекции параметров внешнего ориентирования



Общее количество ОТМ
на маршрут: 251 753

Канопус-В ИК, 3 - 6

- ошибки **до** уточнения: **62,3 м** (MAE)
- ошибки **после** уточнения: **5,7 м** (MAE)

Ресурс-П №2,3

- ошибки **до** уточнения: **23,4 м** (MAE)
- ошибки **после** уточнения: **4,2 м** (MAE)



Уточнилось 99,3% обрабатываемых маршрутов в период январь-сентябрь 2022 г.

При этом оставшиеся 0.7% не уточнились по причине фактически некондиционности данных:

сплошная облачность, сплошной океан, сплошной лед (при этом эти 0.7% данных также были успешно обработаны, но с исходными точностями бортовых данных АСН)

Достигнутые результаты в ЕТРИС благодаря АПОИ

- обработка одного сеанса сброса и выгрузка в геопортал - менее 20 минут
- обработка без участия операторов
- существенное улучшение качества отечественных продуктов ДЗЗ

При обработке одного сеанса сброса с КА “Ресурс-П” (7 маршрутов) до уровня ORTHO и публикации в геопортале (сравнение скоростей проводилось специалистами НИИ ТП и НЦ ОМЗ в 2018 г.)

	НКПОР	АПОИ
Технические средства	15 АРМ + 2 сервера	6 серверов
Количество операторов	8	0
Время обработки	7 часов	14 минут

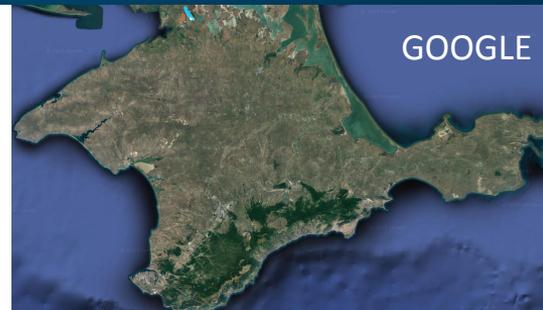
При обслуживании всех заявок потребителей РФ с орбитальной группировки КА ДЗЗ “Ресурс-П”, “Канопус-В”, “Метеор-М” (по данным НЦ ОМЗ и НИИ ТП)



	НКПОР	АПОИ
Технические средства	> 100	10 серверов
Количество операторов	> 50	0
Время обработки	> суток	минуты

Обработка в ИС “Цифровая Земля”

Качественный переход от обработки единичного маршрута к обработке единого сплошного многослойного динамического покрытия (ЕСМДП)



Решенные задачи при реализации автоматических алгоритмов построения ортомозаик

- ✓ коррекция геопривязки маршрутов съемки **до единиц метров** с использованием опорных данных и уточнения параметров строгой модели съемки;
- ✓ блочное уравнивание отдельных маршрутов между собой с точностью **до долей пиксела** параметрами строгих моделей съемки;
- ✓ семантическая сегментация с использованием **нейронных сетей**, позволяющая определять маски облачности, воды, леса, застройки, детектировать дефекты на снимках;
- ✓ фильтрация опорных и связующих точек, в том числе, по заданным пользователем критериям и оценкам качества, отбор наиболее подходящих маршрутов для ортомозаики;
- ✓ тональная радиометрическая балансировка маршрутов при построении ортомозаики;
- ✓ построение оптимальных линий пореза между маршрутами в ортомозаике;
- ✓ генерация ортокорректированных с учетом рельефа мозаик как из одноканальных продуктов панхроматической съемки, так и из мультиспектральных данных, а также создание ортомозаик типа PANSHARP.

Автоматическое создание ортомозаик в ИС ЦЗ

- **полностью автоматическое** создание ортомозаик от подбора маршрутов до автоматической тональной балансировки и построение линий “пореза”;
- использование **строгих математических моделей** на всех этапах создания ортомозаик, включая блочное уравнивание по строгим моделям съемки.



Автоотбор маршрутов и построение линий пореза

По всем маршрутам в архиве

Количество: **705**

Средняя привязка по АСН: **244.98 м**

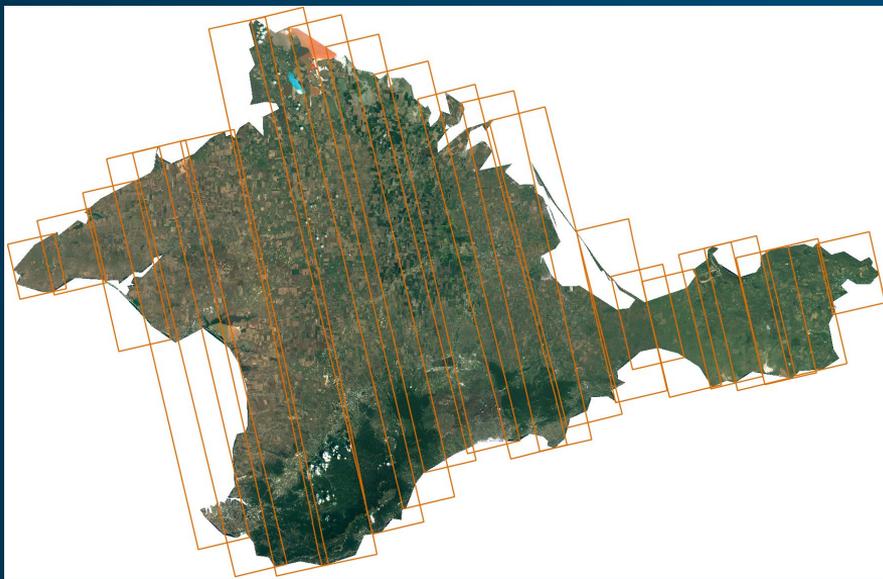
Средняя привязка после коррекции: **4.57 м**

Автоматически отобранные маршруты

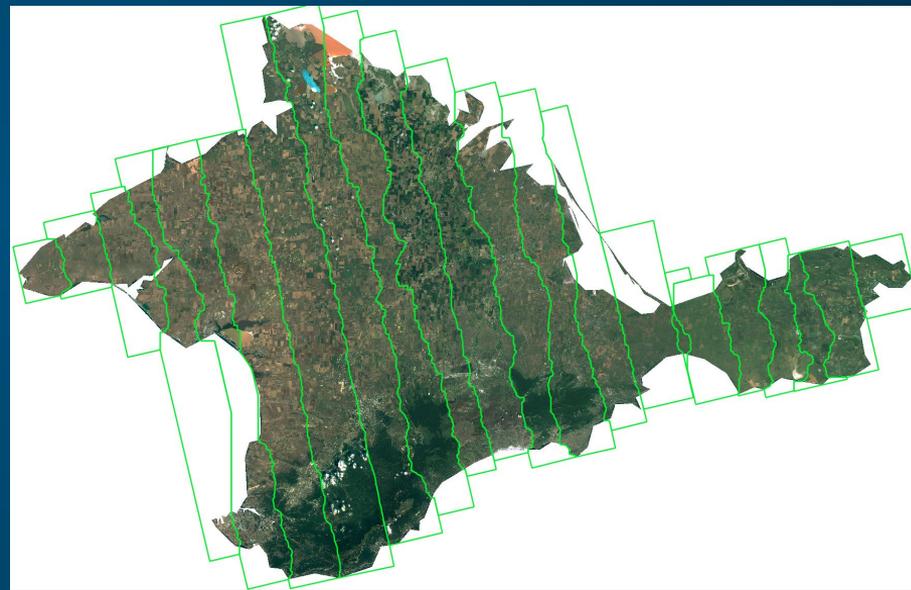
Количество: **22**

Средняя привязка по АСН: **43.19 м**

Средняя привязка после коррекции: **2.39 м**

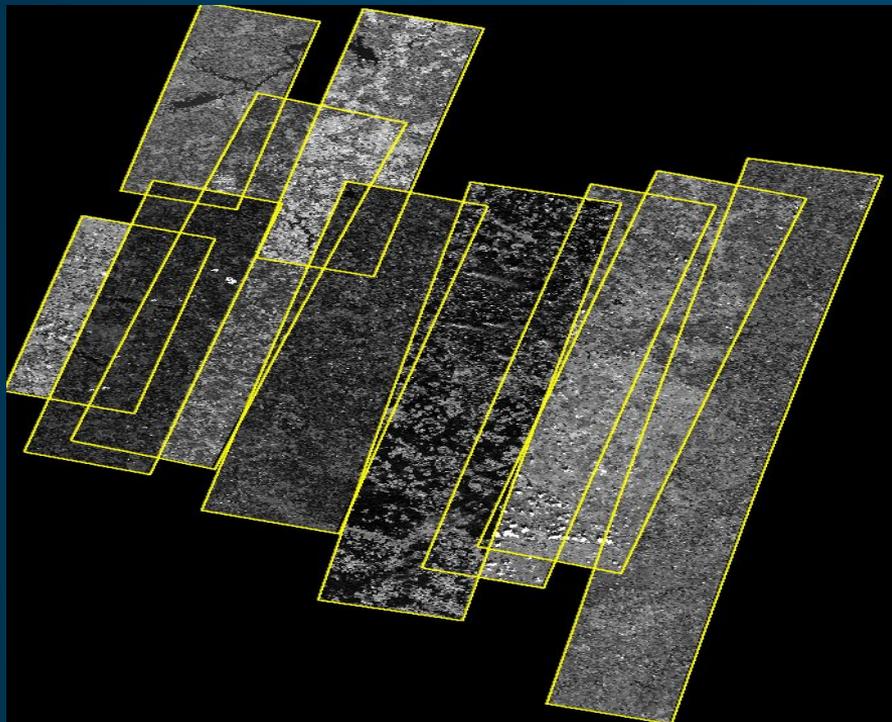


Итоговая ортомозаика и границы отобранных маршрутов

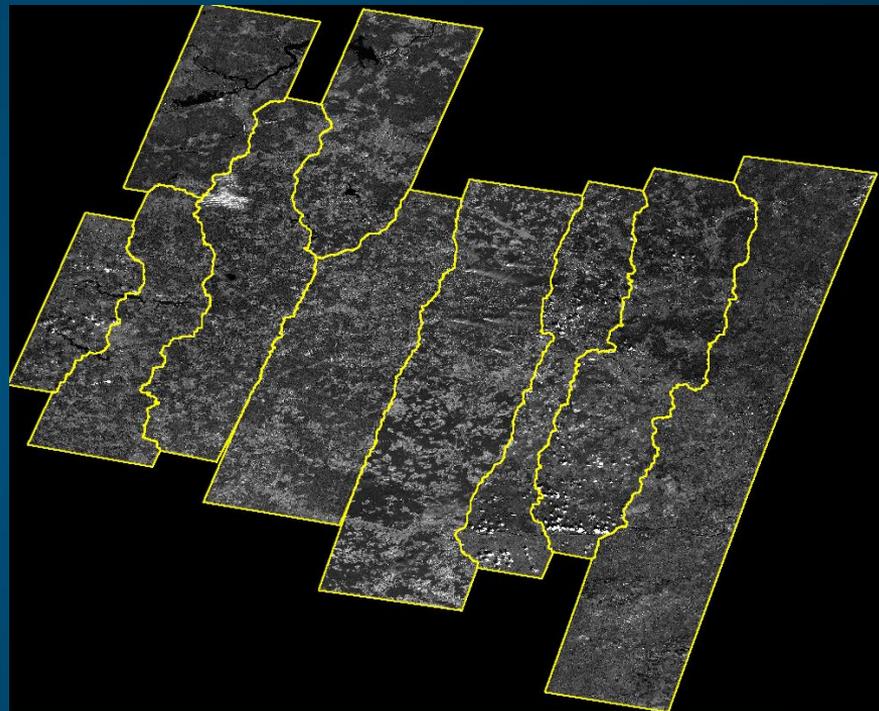


Итоговая ортомозаика и линии пореза отобранных маршрутов

Пример работы автоматической тональной балансировки

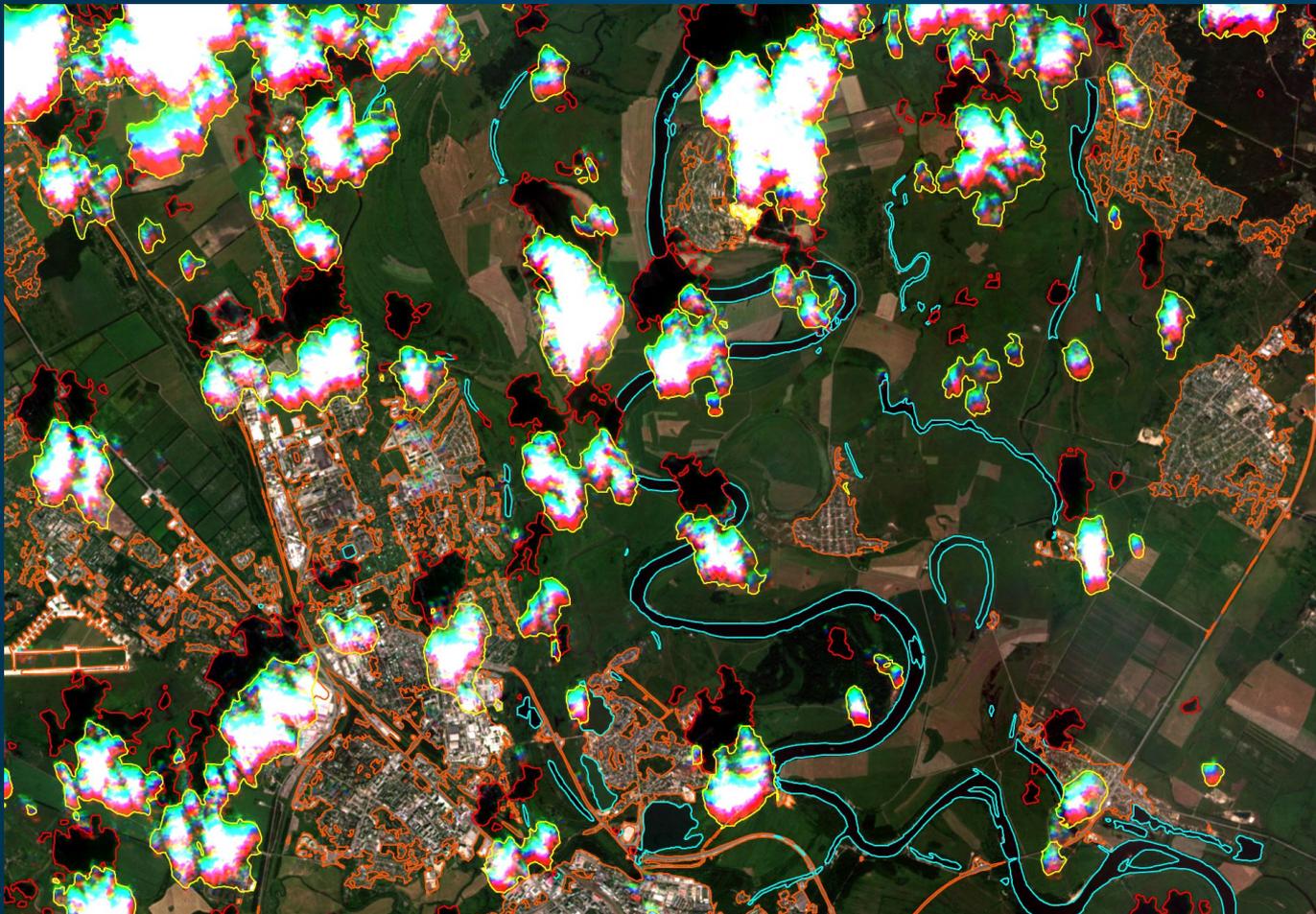


До применения алгоритма
тональной балансировки



После применения алгоритма
тональной балансировки

Семантическая сегментация нейронными сетями



используется для:

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

Список классов:

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

Пример №1 формирование линии пореза

с отрисовкой линии пореза

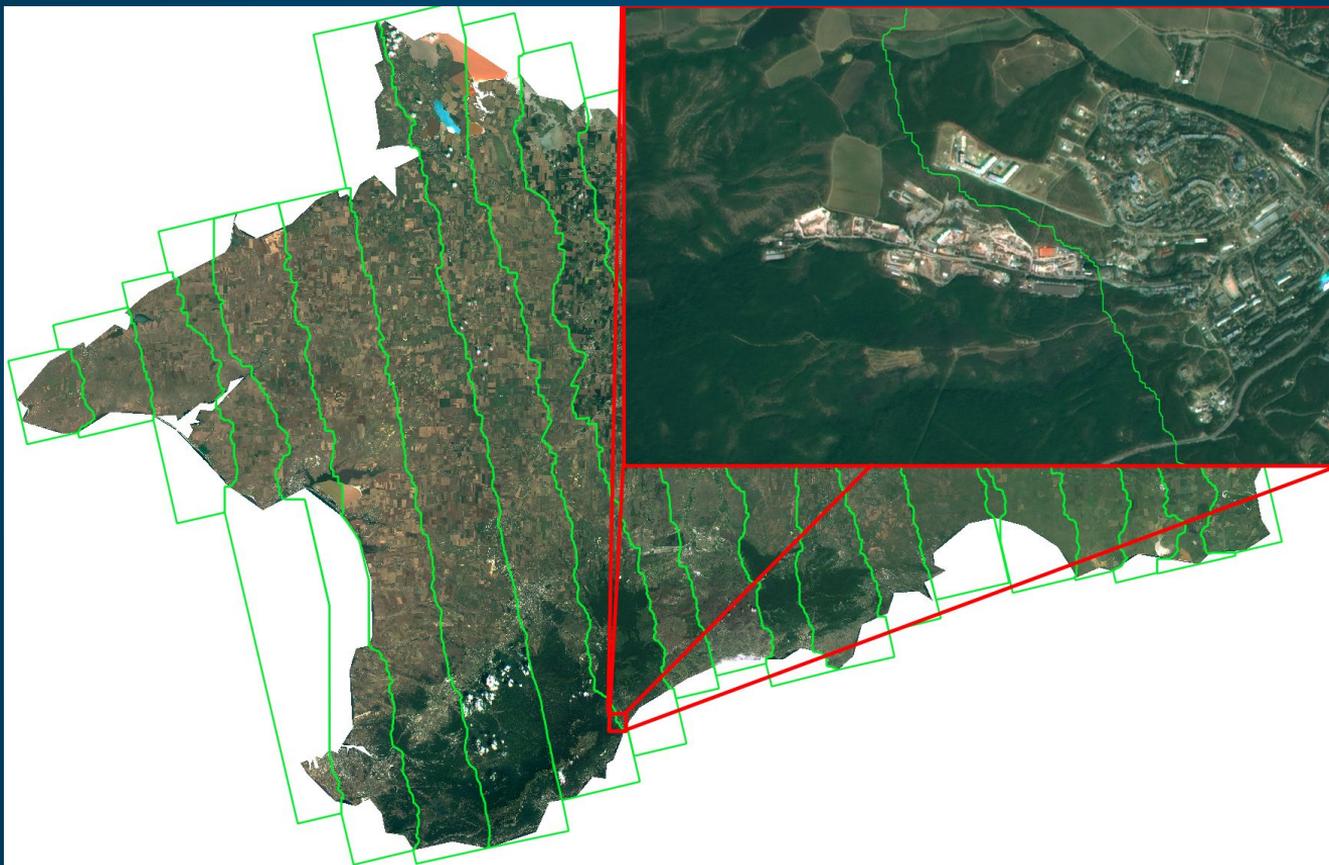


Пример №1 формирование линии пореза без отрисовки линии пореза

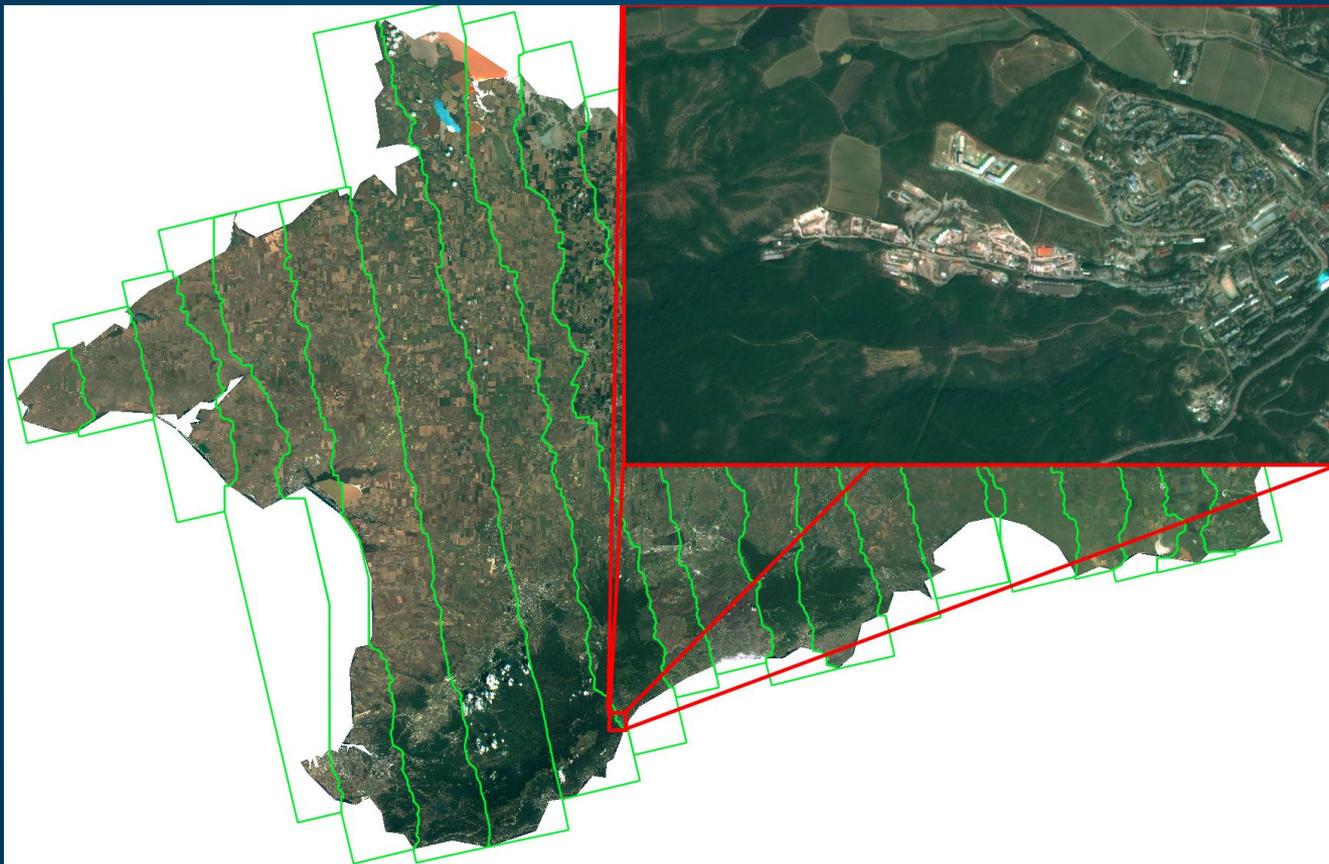


Пример №2 формирование линии пореза

с отрисовкой линии пореза



Пример №2 формирование линии пореза без отрисовки линии пореза



Пример №3 формирование линии пореза

с отрисовкой линии пореза



Пример №3 формирование линии пореза без отрисовки линии пореза



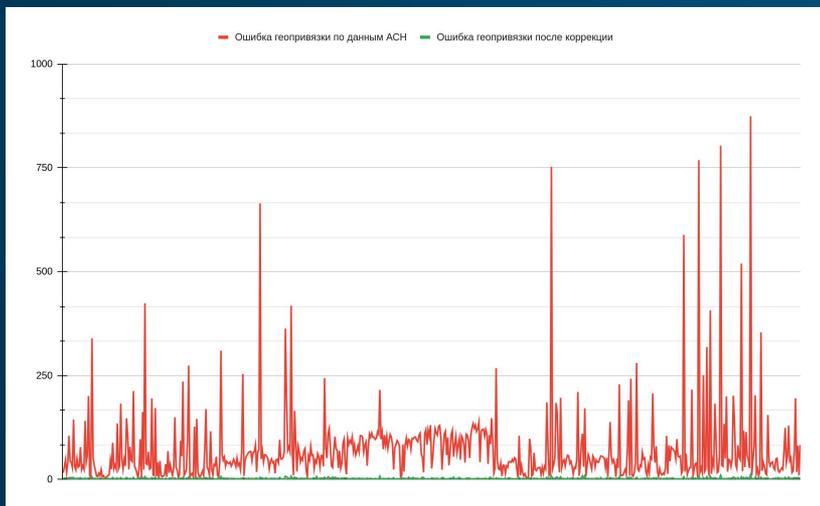
Уточнение навигационных параметров

Ошибка геопривязки КА “Канопус-В” № 3-6, ИК до коррекции и после

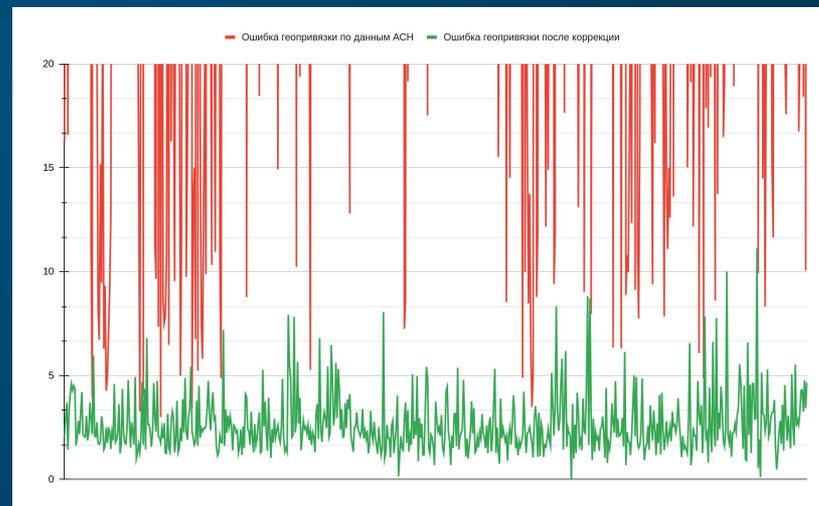
Ошибки геопривязки по данным АСН: 20 - 800 м

Ошибки геопривязки после коррекции: 2 - 5 м. (1 - 2 пикселя)

Количество маршрутов: 645



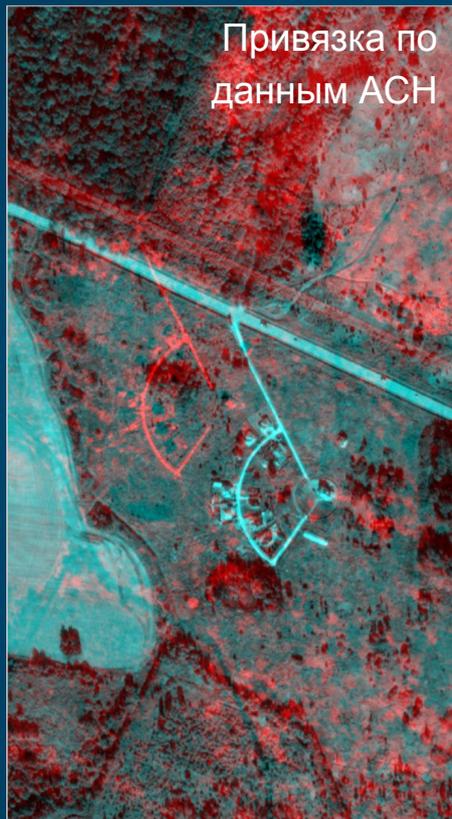
Общий вид графика



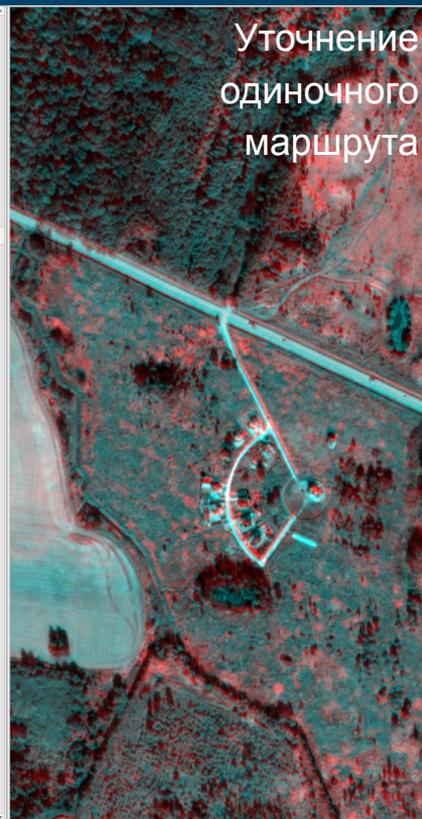
Увеличенный фрагмент графика

Пример двухэтапного уточнения геопривязки

1. Коррекция геопривязки отдельных маршрутов путем уточнения параметров строгой модели съемки (коррекция измерительной информации, поступающей с борта КА: линейного и углового положения КА в каждый момент времени) с точностью до единиц метров за счет использования опорной информации;
2. Коррекция геопривязки всего блока маршрутов мозаики (блочное уравнивание) при которой также происходит уточнение параметров строгих моделей съемки всех маршрутов (для обеспечения их сшивки между собой с пиксельной точностью) за счет совместной обработки маршрутов.



Ошибка геопривязки по данным АСН - 228 пикс

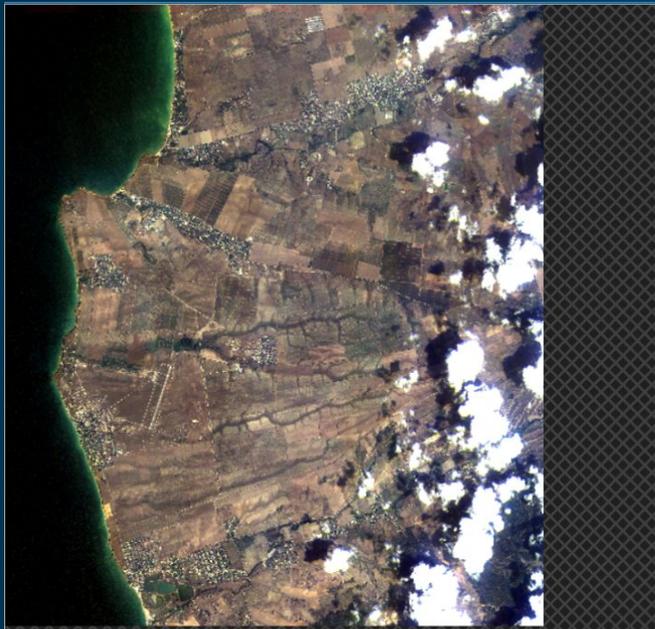


Ошибка геопривязки после коррекции одиночного маршрута - 5 пикс

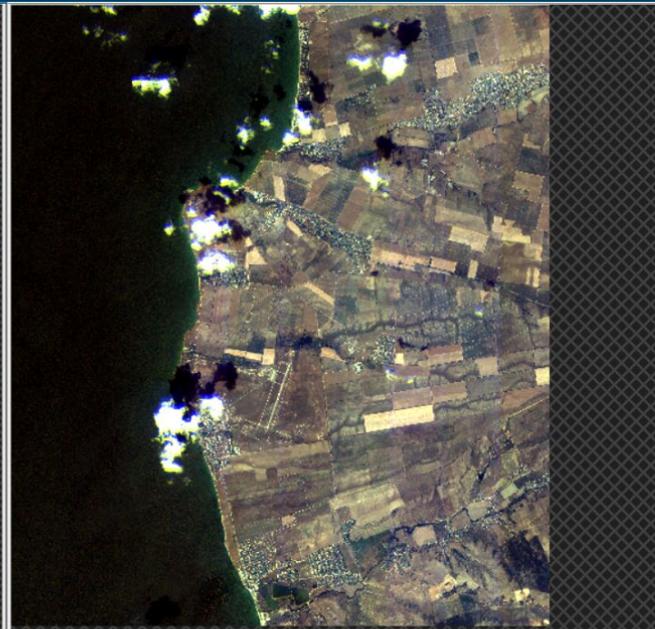


Ошибка геопривязки ортомозаик к опоре - менее 1 пикс

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



Снимок №1

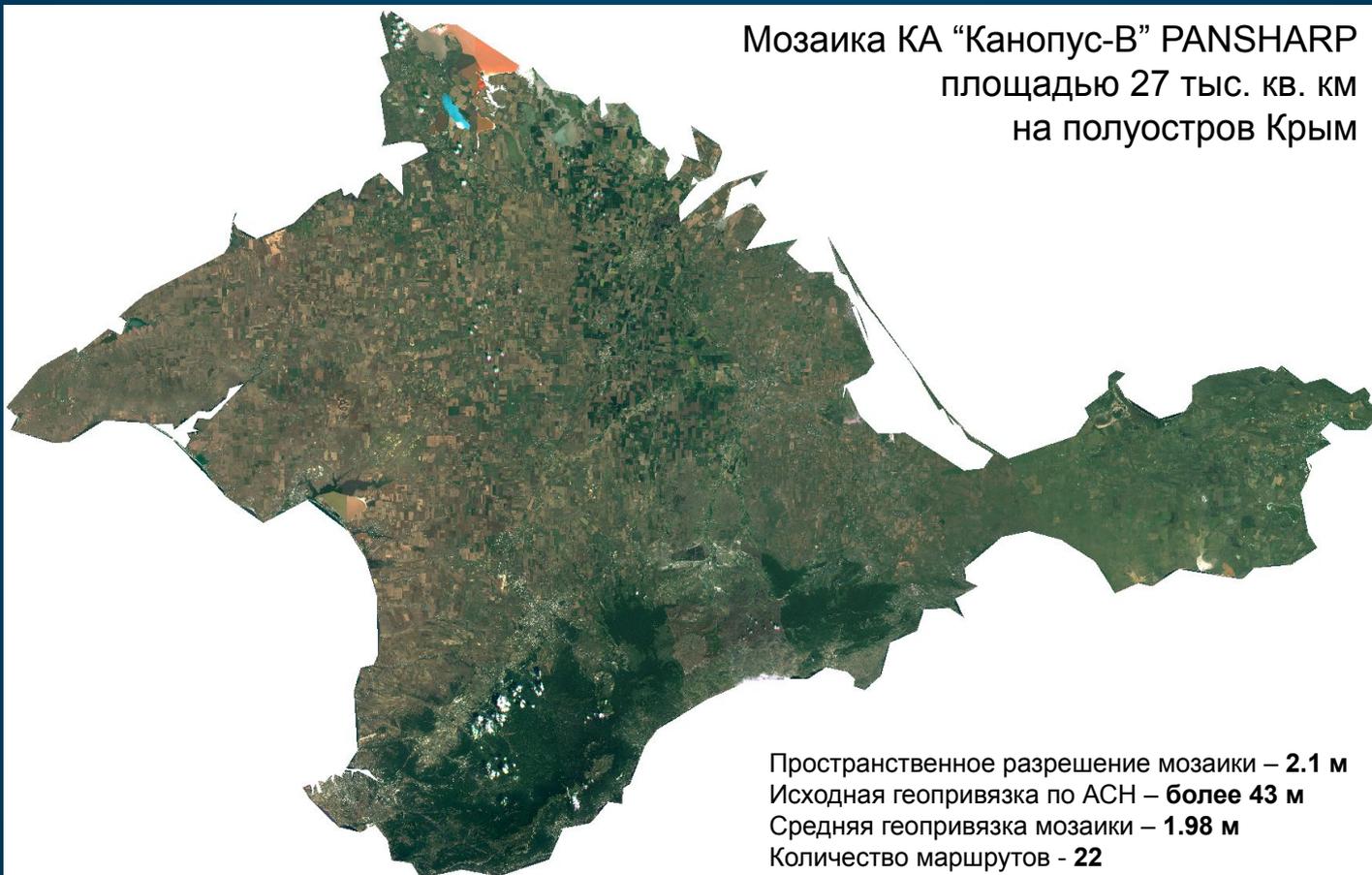


Снимок №2



Результат объединения

Фотограмметрический анализ качества ортомозаик, создаваемых **в автоматическом режиме**



Мозаика КА “Канопус-В” PANSHARP
площадью 27 тыс. кв. км
на полуостров Крым

Пространственное разрешение мозаики – **2.1 м**
Исходная геопривязка по АСН – **более 43 м**
Средняя геопривязка мозаики – **1.98 м**
Количество маршрутов - **22**

Автоматический анализ точности геопривязки

Статистика уточнения геопривязки по 22 маршрутам, вошедших в ортомозаику на полуостров Крым

Средняя точность геопривязки рассчитывалась по формуле средней абсолютной ошибки Mean Absolute Error (MAE)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}}{n}$$

Идентификатор маршрута	Количество опорных точек	Средняя геопривязка по данным АСН	Средняя геопривязка после коррекции	Средняя геопривязка после блочного уравнивания
KV3_12438_09706-00_KANOPUS_20200430_084210	11518	24,09	0,86	1,98
KV3_19650_16138-00_KANOPUS_20210818_083357	4958	5,74	1,58	2,15
KV3_19817_16288-00_KANOPUS_20210829_082956	9476	16,05	2,31	1,91
KV3_24009_22231-00_KANOPUS_20220601_083216	10588	4,18	2,06	1,19
KV4_14337_10639-00_KANOPUS_20200902_083038	7966	67,71	1,86	1,94
KV4_18057_13849-00_KANOPUS_20210505_083741	15934	61,89	3,25	3,36
KV5_03907_02993-02_KANOPUS_20190910_084422	8420	106,01	3,91	1,15
KV5_13001_10286-00_KANOPUS_20210501_083316	18214	66,23	2,33	2,18
KV6_14201_11258-00_KANOPUS_20210719_083010	6390	53,58	2,92	1,59
KV6_14277_11318-00_KANOPUS_20210724_083802	24192	40,43	2,21	2,73
KV6_14353_11386-00_KANOPUS_20210729_084446	18780	25,86	2,11	1,81
KVI_10659_07295-01_KANOPUS_20190616_083717	24670	26,31	3,27	1,65
KVI_10826_07421-01_KANOPUS_20190627_083838	20188	9,78	1,88	1,84
KVI_10917_07470-02_KANOPUS_20190703_083049	4082	14,01	1,78	0,84
KVI_16367_12027-00_KANOPUS_20200626_082852	26726	90,79	4,57	2,53
KVI_16534_12162-00_KANOPUS_20200707_082849	19312	50,94	3,49	2,49
KVI_16610_12219-00_KANOPUS_20200712_083715	22934	37,05	2,33	2,91
KVI_21666_16522-00_KANOPUS_20210610_083318	3258	43,27	2,19	1,54
KVI_21818_16651-00_KANOPUS_20210620_084724	1718	46,49	0,91	1,94
KVI_22228_17007-00_KANOPUS_20210717_084657	21604	47,21	3,97	2,64
KVI_22243_17019-00_KANOPUS_20210718_082936	6892	54,57	1,56	1,49
KVI_23048_17749-00_KANOPUS_20210909_084512	11600	57,96	1,15	1,74
Средняя геопривязка		43,19	2,39	1,98
Суммарное количество опорных точек	299420			

Фотограмметрический анализ точности геопривязки

1. Анализ точности геопривязки **относительно опорных данных**

1.а) Ручное измерение:

Количество точек к опорным данным - 208

Средняя ошибка - **4.17 м** (1.98 пикс)

1.б) Автоматическое измерение:

Количество точек к опорным данным - 300 тыс.

Средняя ошибка - **1.98 м** (0.94 пикс)

Почему отличается?

- при автоматическом корреляционном поиске точек имеем субпиксельные точности определения координат, а при ручном “сколе” точек экспертом точность не превышает 1 пиксела



Фотограмметрический анализ точности геопривязки

2. Анализ точности геопривязки **относительно наземных измерений**

Высокоточные опорные точки местности (ОТМ) получены с помощью геодезических GPS измерений с погрешностью не более 0.5 метра

1.а) Ручное измерение:

Количество точек - 98

Средняя ошибка - **2.54 м** (1.21 пикс)



Выводы:

- т.к. измерение автоматом точнее примерно в 2 раза имеются основания полагать что реальная точность геопривязки ортомозаики к точкам на Земле скорее всего лучше, чем пространственное разрешение ортомозаики (1 пиксел = 2.1 м)

Итог: полностью **автоматическая обработка**
и выдача потребителям стандартных продуктов
уровней 1 и 2 и производных продуктов **уровня 3**

Кемеровская область



Кабардино-Балкарская республика



Ивановская область



Республика Хакасия



Еврейская автономная область



Калининградская область



Спасибо за внимание!