

Применение нейросетевого алгоритма для автоматической оценки качества и обеспечения точности геопривязки данных «Кондор-ФКА»

А.И.Васильев, А.М.Скачков, М.В.Мешков,
А.А. Михеев, А.А. Пестряков, А.А. Пешкун



Актуальность и цель исследования

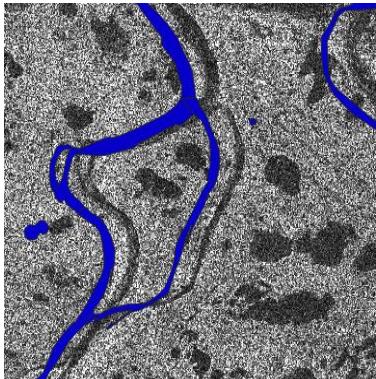
КА «Кондор-ФКА»* — космический аппарат радиолокационного наблюдения Земли в Х-диапазоне. GSD в зависимости от режима*: **1–12 м**, полоса захвата*: **до 10 км**.

Точность геопривязки на основе ТТХ*:

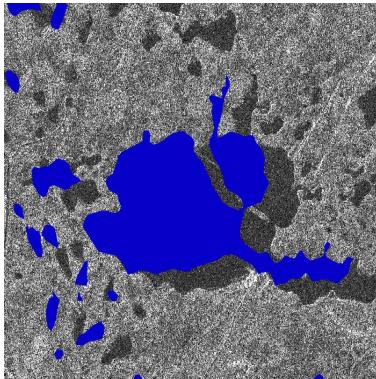
- **до 90 м по навигационным данным,**
- **до 30 м на основе опорных данных.**

* По материалам руководства пользователя КА «Кондор-ФКА»

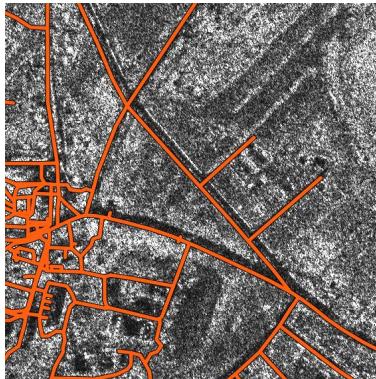
Визуализация ошибок геопривязки



река Амбарная
69.45, 87.91



озеро Самсонкино
69.42, 86.20



посёлок Ромашки
60.71, 29.80

Точность позиционирования данных > 500 м

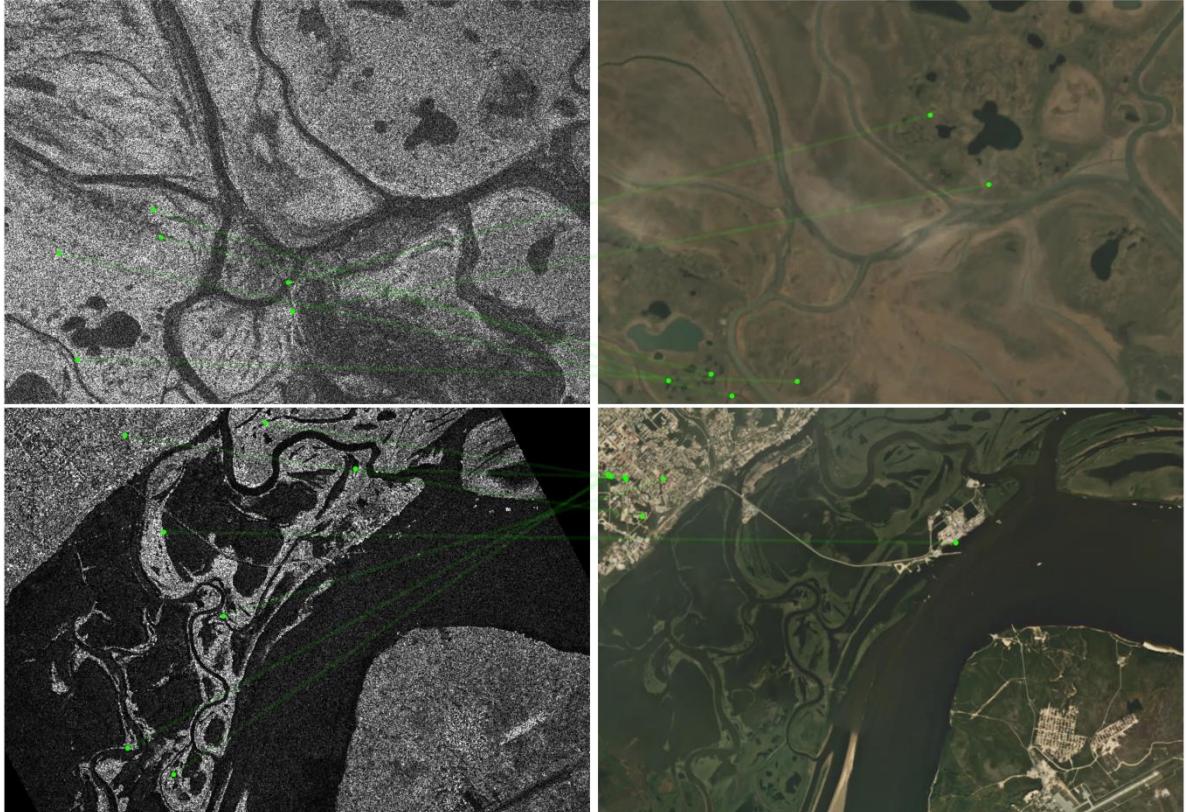
Цель исследования — контроль и обеспечение точности геопривязки данных Кондор-ФКА с использованием нейросетевых методов автоматического сопоставления с опорными данными.

Задачи:

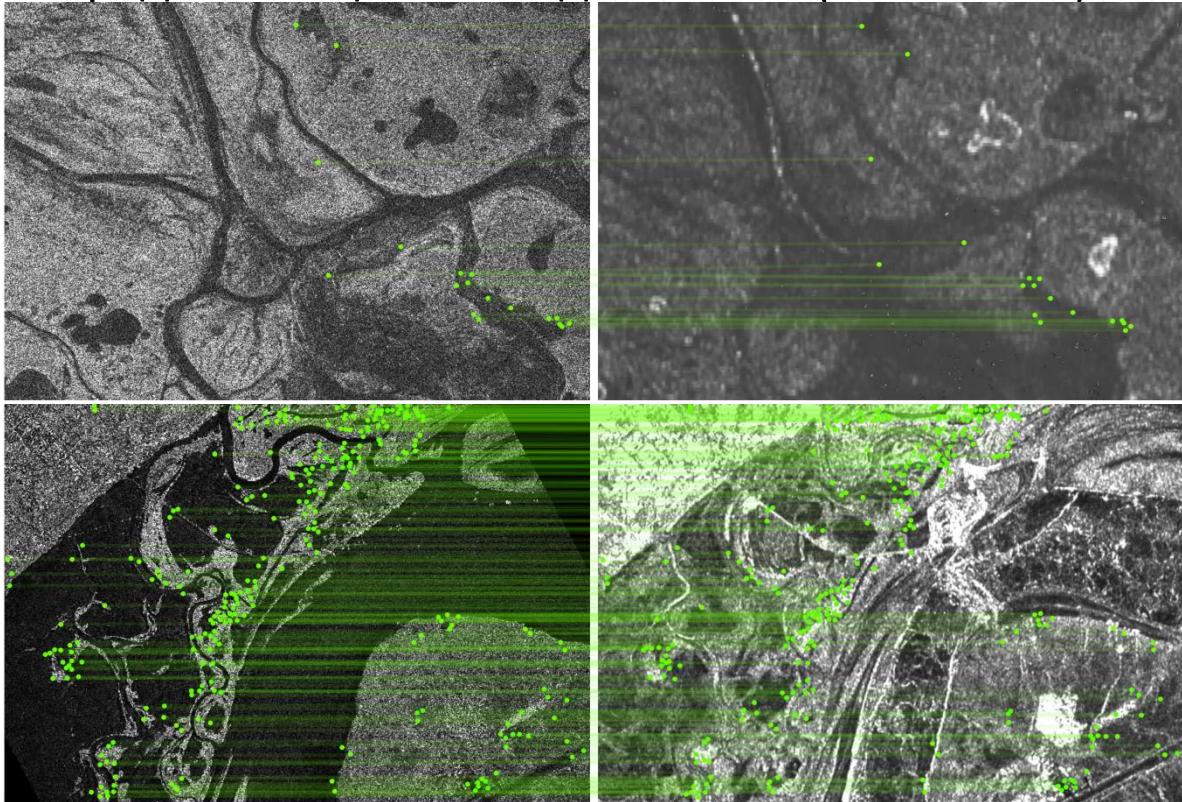
1. Выбор и анализ опорных данных
2. Формирование опорного покрытия
3. Выбор и реализация метода сопоставления изображений
4. Оценка адекватности работы метода
5. Обработка выборки данных НКПОР Кондор-ФКА
6. Выбор приближенной модели улучшения геопривязки

Выбор и анализ опорных данных

Сопоставление с опорными данными видимого диапазона (Planet)



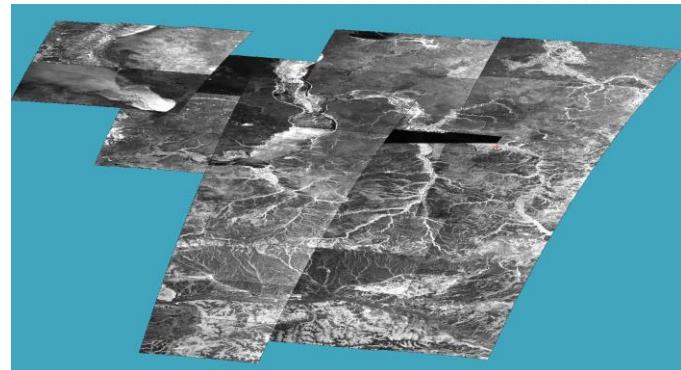
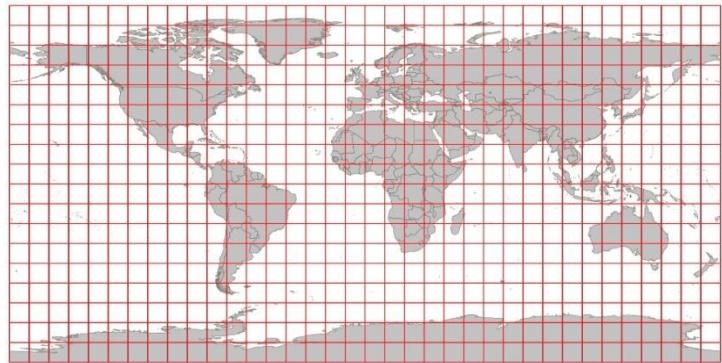
Сопоставление с опорными данными радиолокационного диапазона (Sentinel 1B)



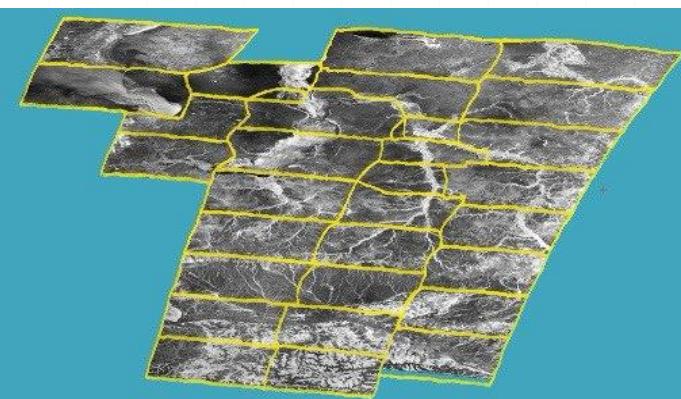
Для пар «радар-оптика» обнаруживается на порядок меньше корректных пар ключевых точек по сравнению с парами «радар-радар». В связи с отсутствием эталонных покрытий в радиолокационном диапазоне возникает необходимость их создания

Формирование опорного покрытия

Фрагментация
на
квадраты
 $10^\circ \times 10^\circ$



Первоначальный
набор данных



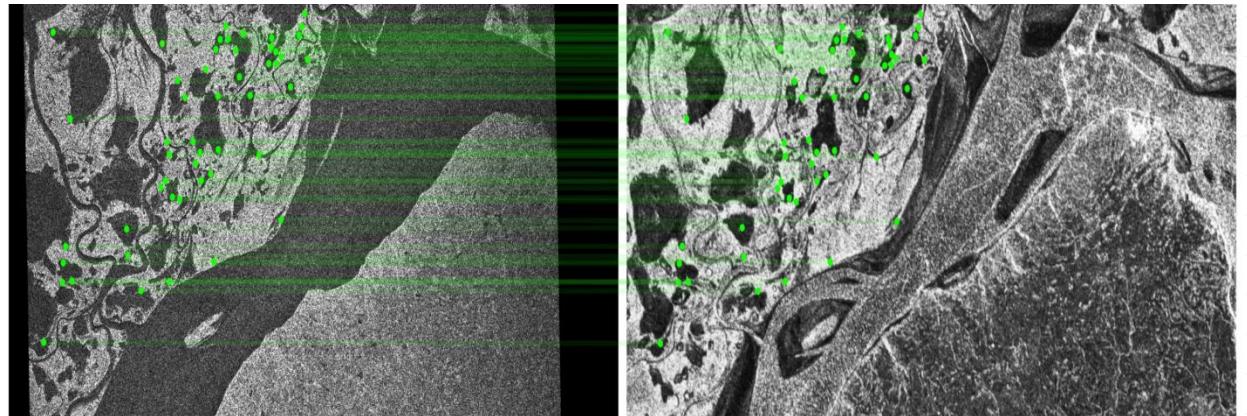
Сформированы
порезы, готово
к нарезке



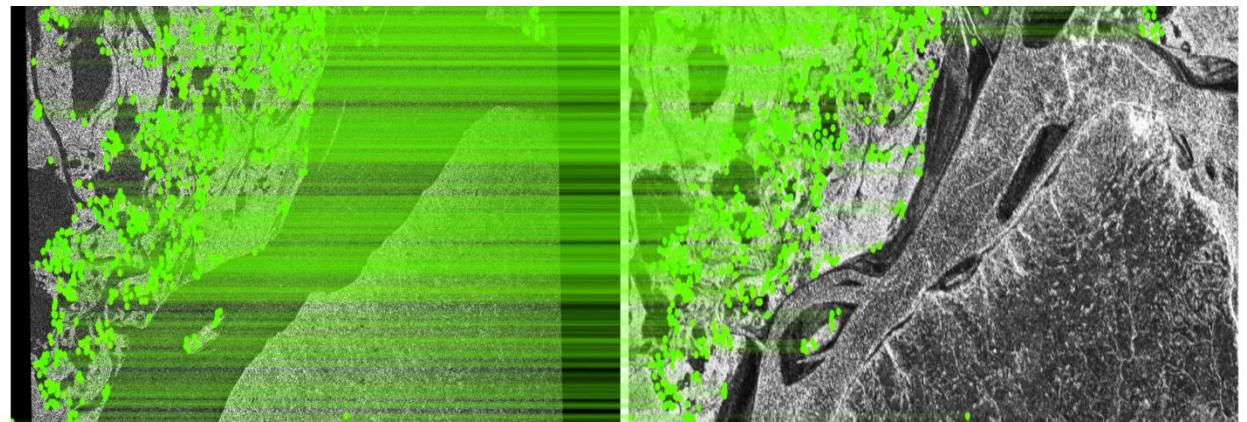
Выбор метода сопоставления

Сравнение работы классического подхода с
нейросетевым

SIFT



D2-net



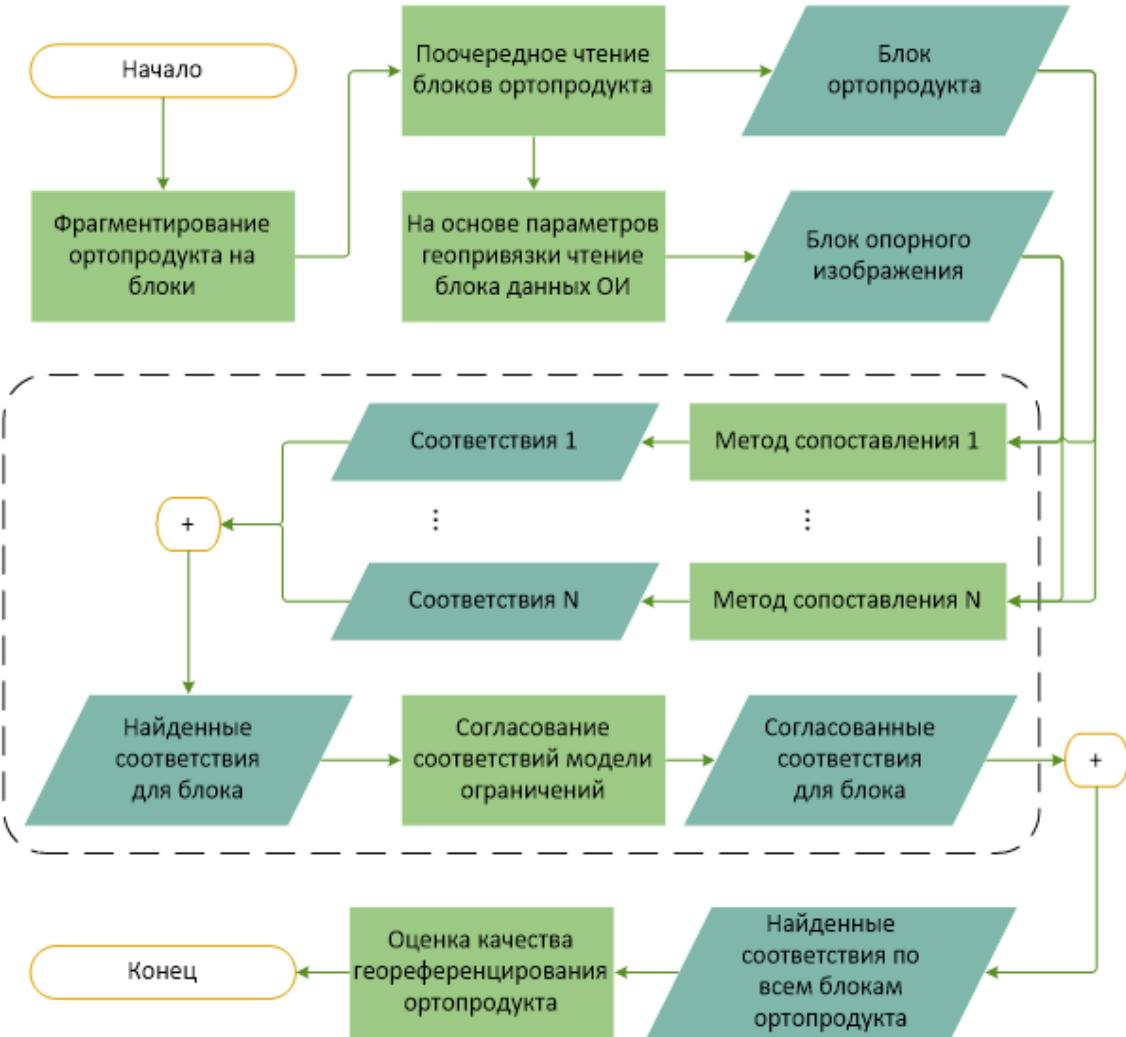
Метод	Среднее кол-во точек	Среднее кол-во точек на опоре	Среднее кол-во совпадений
ORB	472	669	6
Harris	1000	1000	9
SIFT	620	624	52
SAR-SIFT	750	834	61
LoFTR	593	624	501
D2-net	759	802	1221

Алгоритм **D2-net** показал наилучшие результаты по двум ключевым параметрам: количество корректных совпадений и устойчивость работы. Низкая эффективность классических методов объясняется неспособностью корректно обрабатывать сложные текстуры и высокий уровень шума, характерные для радиолокационных данных.

Описание поблочного алгоритма сопоставления изображений

Алгоритм сопоставления данных с опорным покрытием включает следующие этапы:

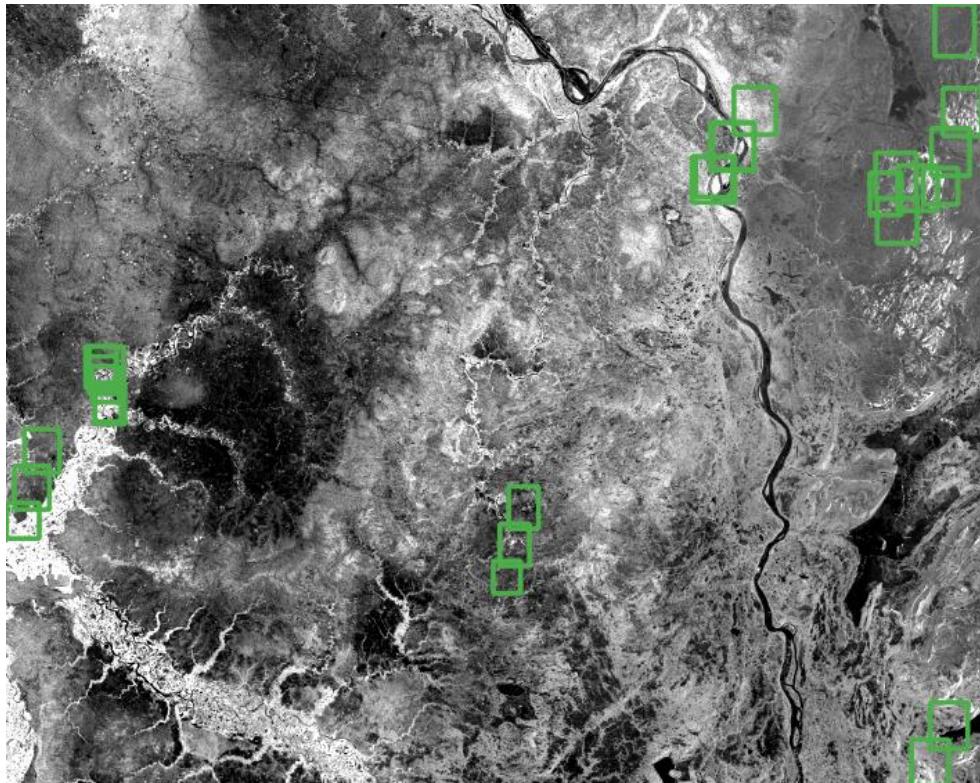
1. Поблочная сегментация: входное и опорное изображения разбиваются на блоки.
2. Извлечение признаков: для каждого блока на GPU с помощью модели D2-Net производится детекция ключевых точек и вычисление их дескрипторов.
3. Поиск соответствий: для каждой пары блоков производится GPU-ускоренный поиск парных точек по метрике евклидова расстояния между дескрипторами с последующей фильтрацией выбросов на основе физических ограничений.



* А.И. Васильев А.И., Соколов С.М. Верификация качества геореференцирования данных и информационных продуктов российских космических систем дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. №3. С. 33–52. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-3-33-52.

Оценка качества работы алгоритма

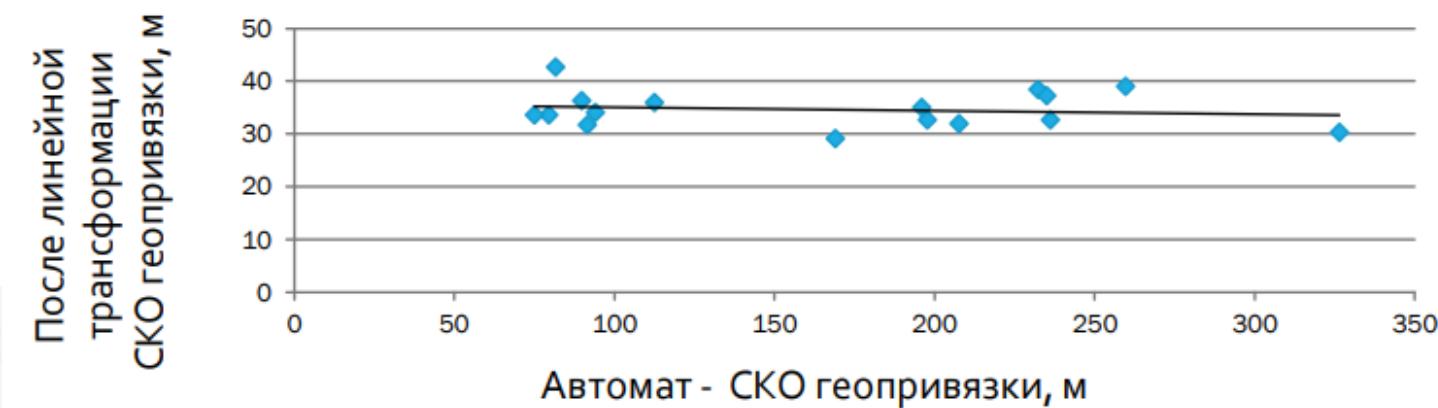
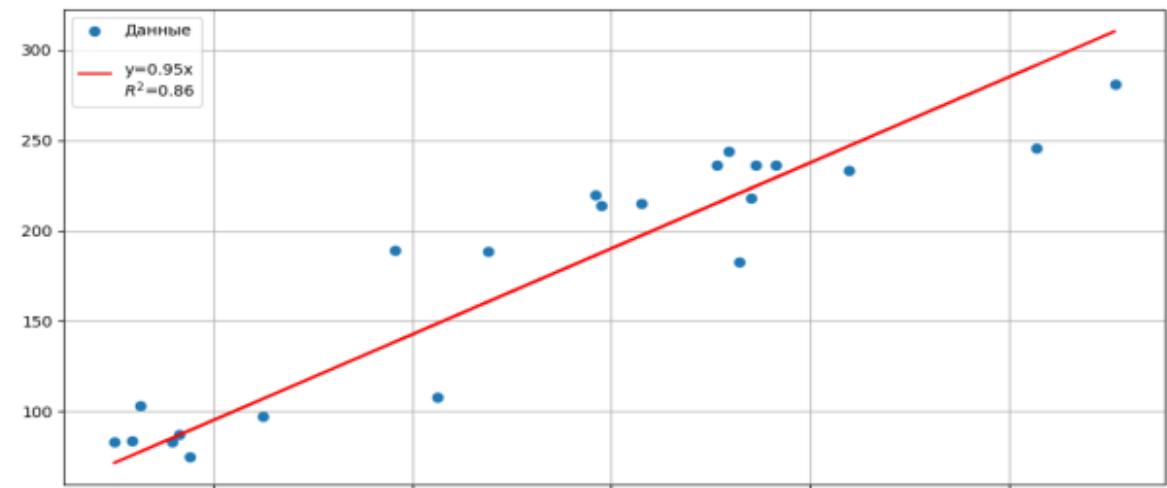
Контуры данных съёмки «Кондор-ФКА» №2
относительно опорного покрытия



Для оценки использовались
данные 27 сцен.

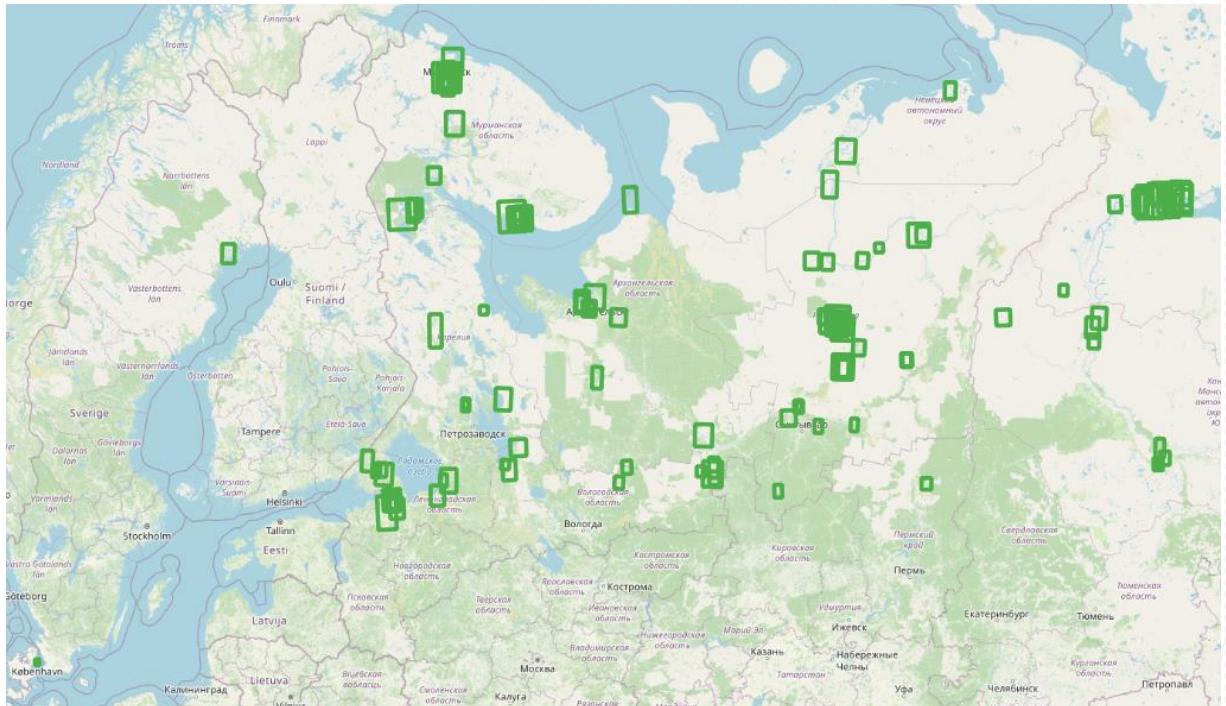
Оператор – СКО геопривязки, м
После линейной
трансформации
СКО геопривязки, м

Оценка сопоставимости СКО
геопривязки данных Оператор/Автомат



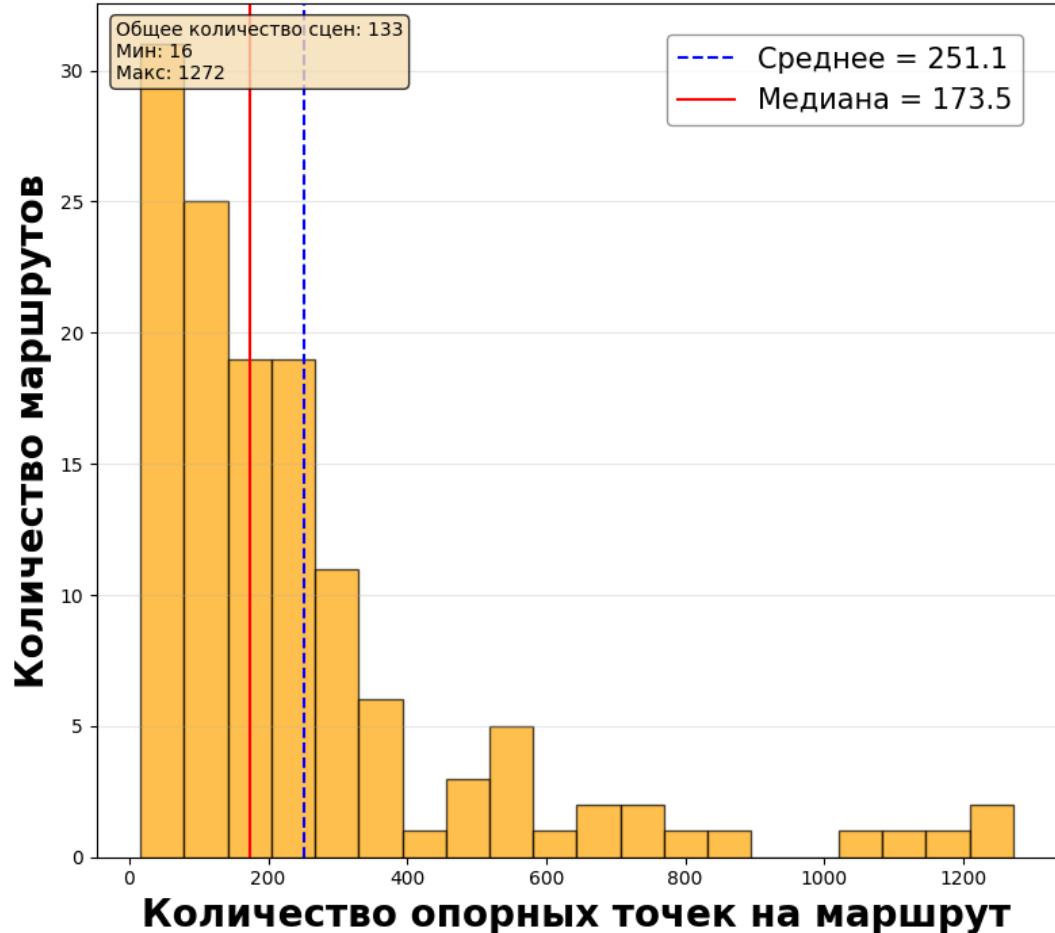
Анализ выборки данных

Анализ данных был произведен на 133 маршрутах съемки КА «Кондор-ФКА» №2.



Контуры маршрутов съемки на картографической подложке

Распределение количества GCP-точек по маршрутам

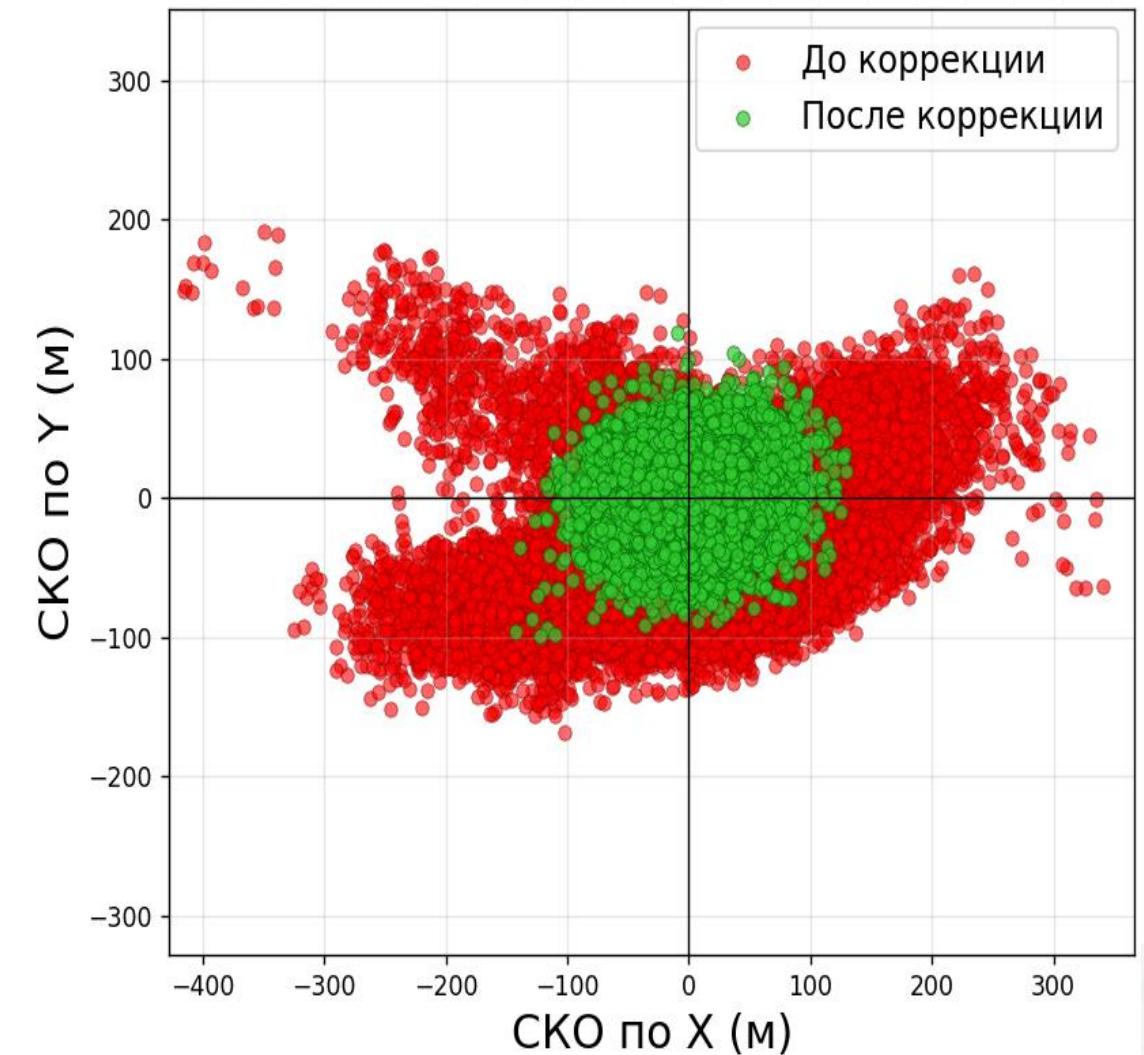


Модель	Название	Краткое описание
NONE	Без коррекции	Исходная геопривязка без изменений
POLY1	Полиномиальная 1-го порядка	Учитывает сдвиг, поворот и масштаб
POLY2	Полиномиальная 2-го порядка	Добавляет слабую нелинейную деформацию
POLY3	Полиномиальная 3-го порядка	Моделирует сложные нелинейные искажения
HELMERT	Гельмерта	Масштаб и вращение сцены
PROJECTIVE	Проективная	Компенсирует перспективные искажения

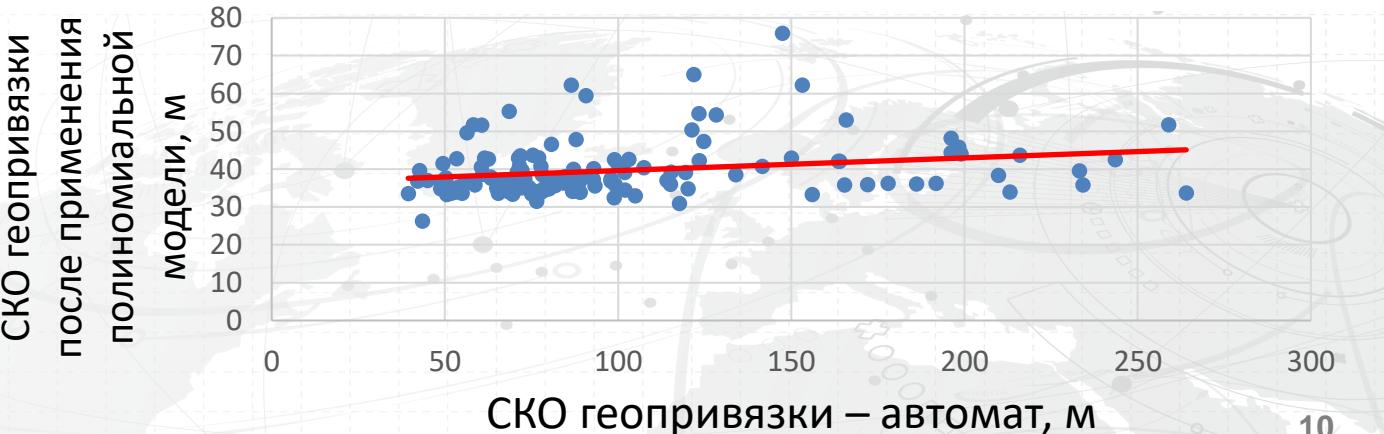
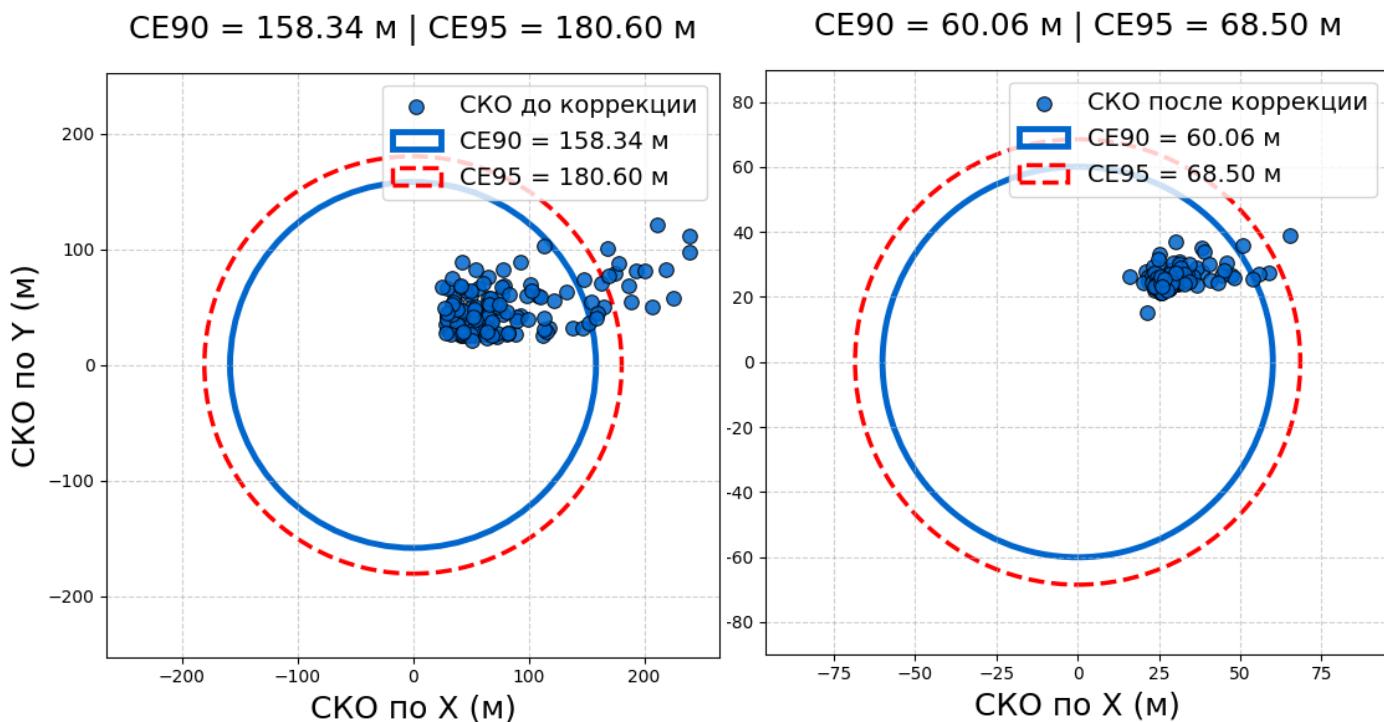


Оценка СКО после применения алгоритма

Оценка СКО по точкам

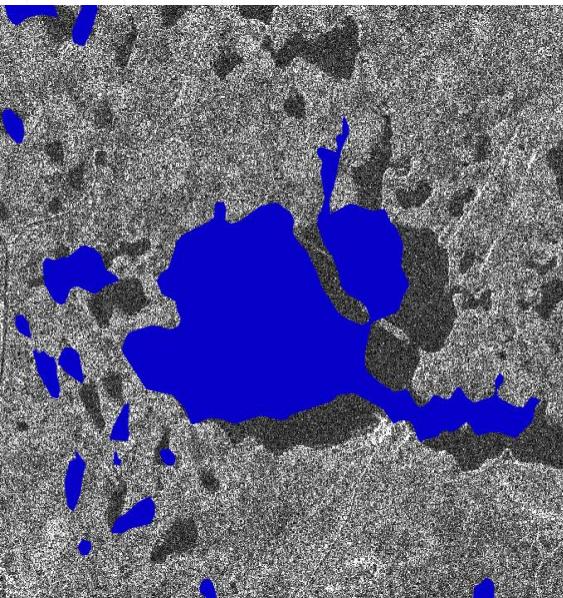
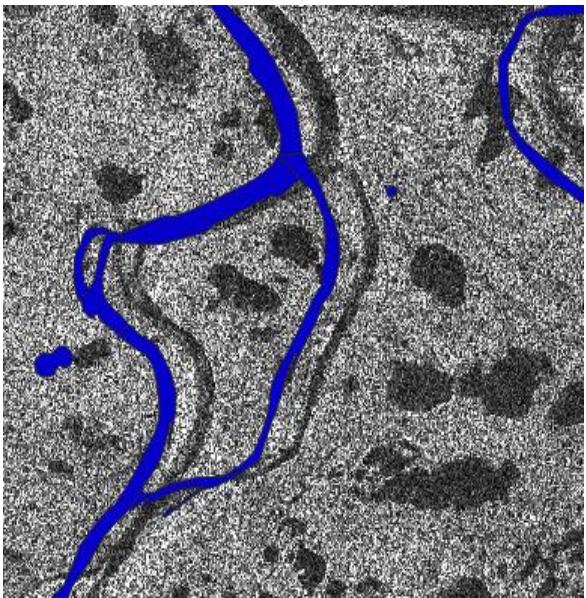


Оценка СКО по маршрутам

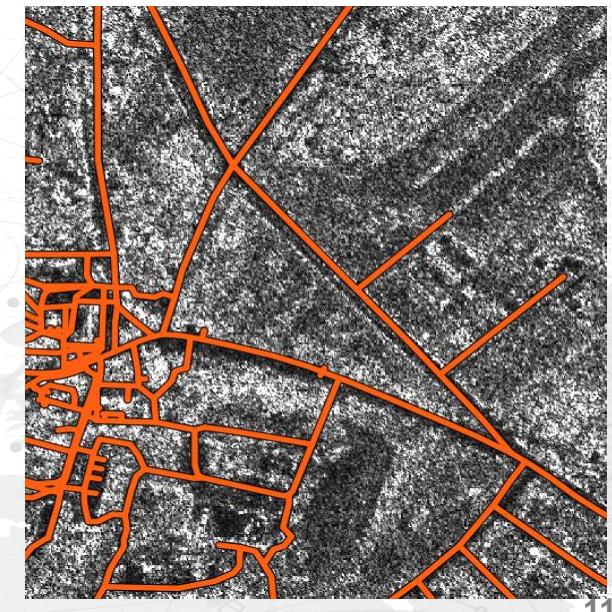
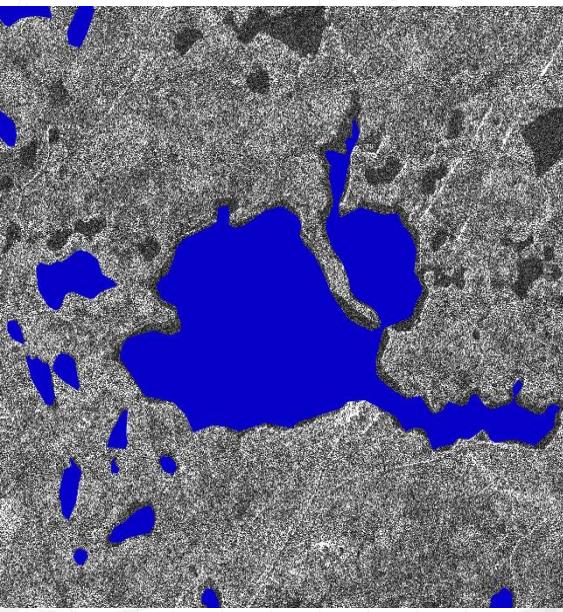
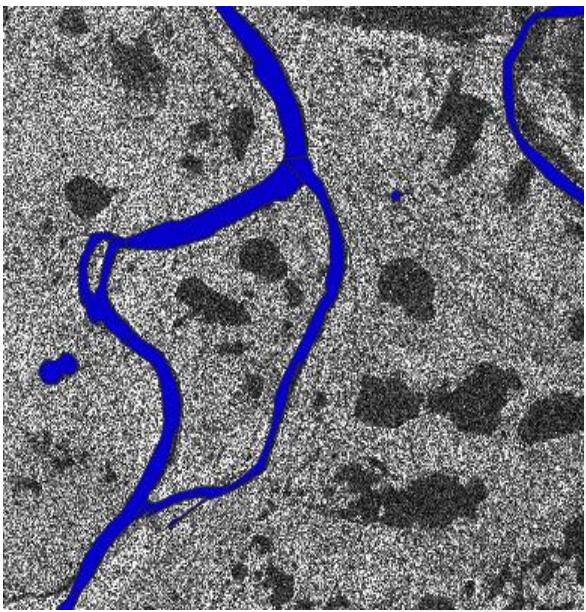


Визуализация результатов работы алгоритма

Исходные
данные



Результаты
обработки



Заключение

В ходе проведенного исследования получены следующие результаты:

- Лучшим решением в выборе топогеодезического обеспечения контроля качества геопривязки данных Кондор-ФКА является использование радиолокационных данных
- Выполнено скачивание данных КА Sentinel 1B из открытых источников и сформировано опорное покрытие территории РФ на их основе
- По результатам анализа методов сопоставления для контроля качества геопривязки данных Кондор-ФКА выбран и применен нейросетевой алгоритм D2-Net
- Выбрана базовая приближенная модель геометрической коррекции, позволяющая после ее применения привести точность геопривязки в соответствие с ТТХ

В настоящий момент представленная программная технология проходит тестовое внедрение в подсистему обработки данных Банка базовых продуктов

Спасибо за внимание!

