



- **Проблемы автоматического совмещения изображений прибора Геотон**

Алексанин А.И, Морозов М.А., Фомин Е.В.

**Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН
Владивосток**



Постановка задачи

Цель - исследование возможностей алгоритма совмещения произвольных изображений высокого пространственного разрешения с пиксельной точностью на примере изображений спутников Ресурс-П, прибор Геотон и Канопус-В ИК, приборы МСС и ПСС

Подход.

- 1. Автоматический поиск реперных точек на паре изображений.**
- 2. Построение взаимно-однозначного отображения одного изображения в другое (алгоритм SURF) и отбор «правильных» смещений реперных точек**
- 3. Коррекция (смещение положений пикселей) одного изображения относительно другого по полученным смещениям.**



Алгоритм

1. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК ПРИ ПОМОЩИ ДЕТЕКТОРА УГЛОВ ХАРРИСА (HARRIS ET AL., 1998).
2. ПОСТРОЕНИЕ ДЕСКРИПТОРОВ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК МЕТОДОМ SURF (BAU ET AL., 2008). В ОСНОВНОМ ИСПОЛЬЗОВАЛИСЬ НОРМАЛИЗОВАННЫЕ НА ЕДИНИЦУ ВЕКТОРА-ДЕСКРИПТОРЫ РАЗМЕРНОСТЬЮ 64. ИНОГДА РАЗМЕРНОСТЬЮ 128.
3. СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕПЕРОВ ПО ИХ ДЕСКРИПТОРАМ. ДЕСКРИПТОРЫ СОПОСТАВЛЯЮТСЯ ПУТЕМ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЕВКЛИДОВА РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ НИМИ. СОПОСТАВЛЕНИЕ СЧИТАЕТСЯ УДАЧНЫМ, ЕСЛИ ДЛЯ ДЕСКРИПТОРА С НОМЕРОМ I В ЗАДАННОЙ ОКРЕСТНОСТИ НАХОДИТСЯ НА ВТОРОМ ИЗОБРАЖЕНИИ ЕГО ОБРАЗ С НОМЕРОМ J , ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ МИНИМАЛЬНОЕ РАССТОЯНИЕ D_{IJ} , УДОВЛЕТВОРЯЮЩЕЕ ЗАДАННОМУ ПОРОГУ - $D_{IJ} \leq D_{THRESHOLD}$.
4. АВТОМАТИЧЕСКОЕ НАХОЖДЕНИЕ ОБРАЗА ПЕРВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ВТОРОМ. ПРОВЕДЕНИЕ СОВМЕЩЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ АФФИННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ (ГРУБОЕ СОВМЕЩЕНИЕ).
5. РАЗБИЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ФРАГМЕНТЫ МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО РАЗМЕРА (НО НЕ МЕНЕЕ 300 ВЕКТОРОВ НА ФРАГМЕНТ). ПОСТРОЕНИЕ ДВУМЕРНОГО АФФИННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ КАЖДОГО ФРАГМЕНТА С НАИЛУЧШЕЙ ТОЧНОСТЬЮ. ФИЛЬТРАЦИЯ СОПОСТАВЛЕННЫХ ПАР РЕПЕРОВ В КАЖДОМ ФРАГМЕНТЕ: ПРИ ПОМОЩИ АФФИННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ; ПО ПЛОТНОСТИ ОТОБРАННЫХ РЕПЕРОВ НА ЕДИНИЦУ ПЛОЩАДИ И ПО ОДНОРОДНОСТИ ВЕЛИЧИН И НАПРАВЛЕНИЙ ВЕКТОРОВ.
6. ПОСТРОЕНИЕ СМЕЩЕНИЯ КАЖДОГО ПИКСЕЛЯ КОРРЕКТИРУЕМОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ УСРЕДНЕНИЯ ВЕКТОРОВ В ОКРЕСТНОСТИ ПИКСЕЛЯ. КОРРЕКЦИЯ ОДНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ДРУГОГО.
7. ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ ТОЧНОСТИ СОВМЕЩЕНИЯ КАЖДОГО ПИКСЕЛЯ: $E = \Sigma / \sqrt{N}$, ГДЕ Σ – СТАНДАРТНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ВЕКТОРОВ ОКРЕСТНОСТИ СМЕЩАЕМОГО ПИКСЕЛЯ ОТНОСИТЕЛЬНО СРЕДНЕГО ВЕКТОРА, N – ЧИСЛО ВЕКТОРОВ ОКРЕСТНОСТИ, В КОТОРОЙ СЧИТАЕТСЯ СМЕЩЕНИЕ.

Детально используемый алгоритм приведен в работе (А.И. Алексанин, С.М. Краснопеев, М.А. Морозов, Е.В. Фомин Совмещение изображений с российских спутников Ресурс-П // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 18-28).



Автоматический расчет реперных точек

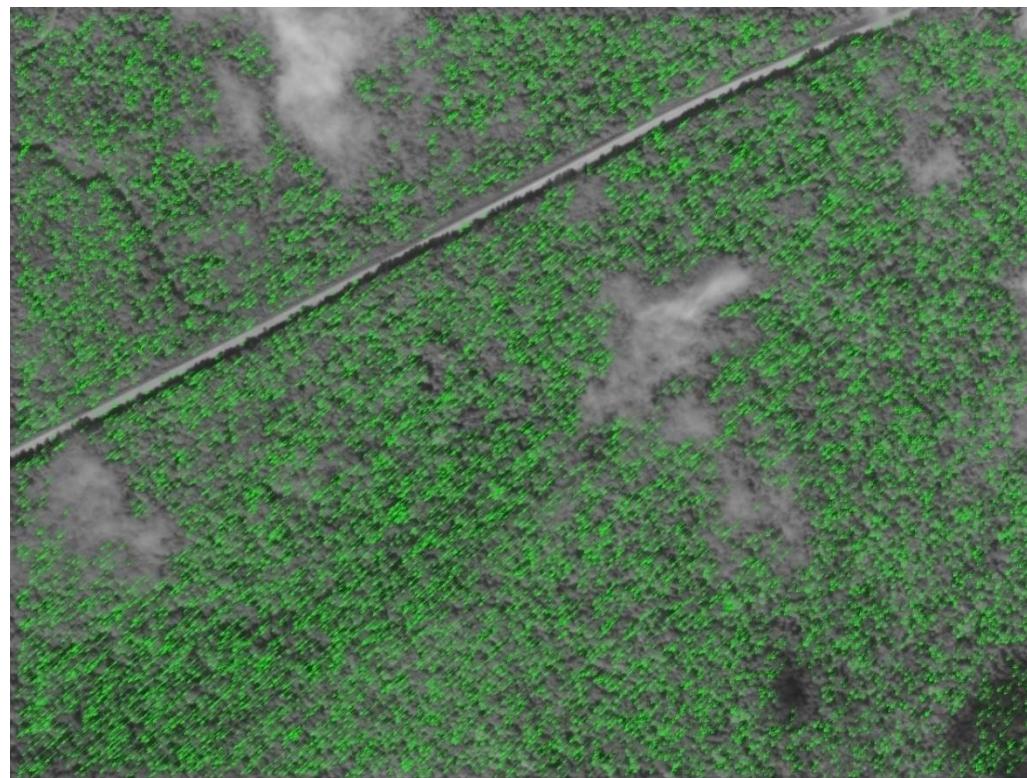
Принцип настройки алгоритма.

Реперных точек должно быть много, и строиться они должны в любой местности.

Точность установления их соответствия на двух изображениях должна быть близка к точности эксперта.

В зонах, искаженных облачностью и ошибками ортотрансформирования (использование некорректного рельефа) соответствие не должно устанавливаться, либо такие вектора смещений должны легко отфильтровываться.

**19 000 -
число пар реперов
при точности
афинного
отображения – 3
пиксела**



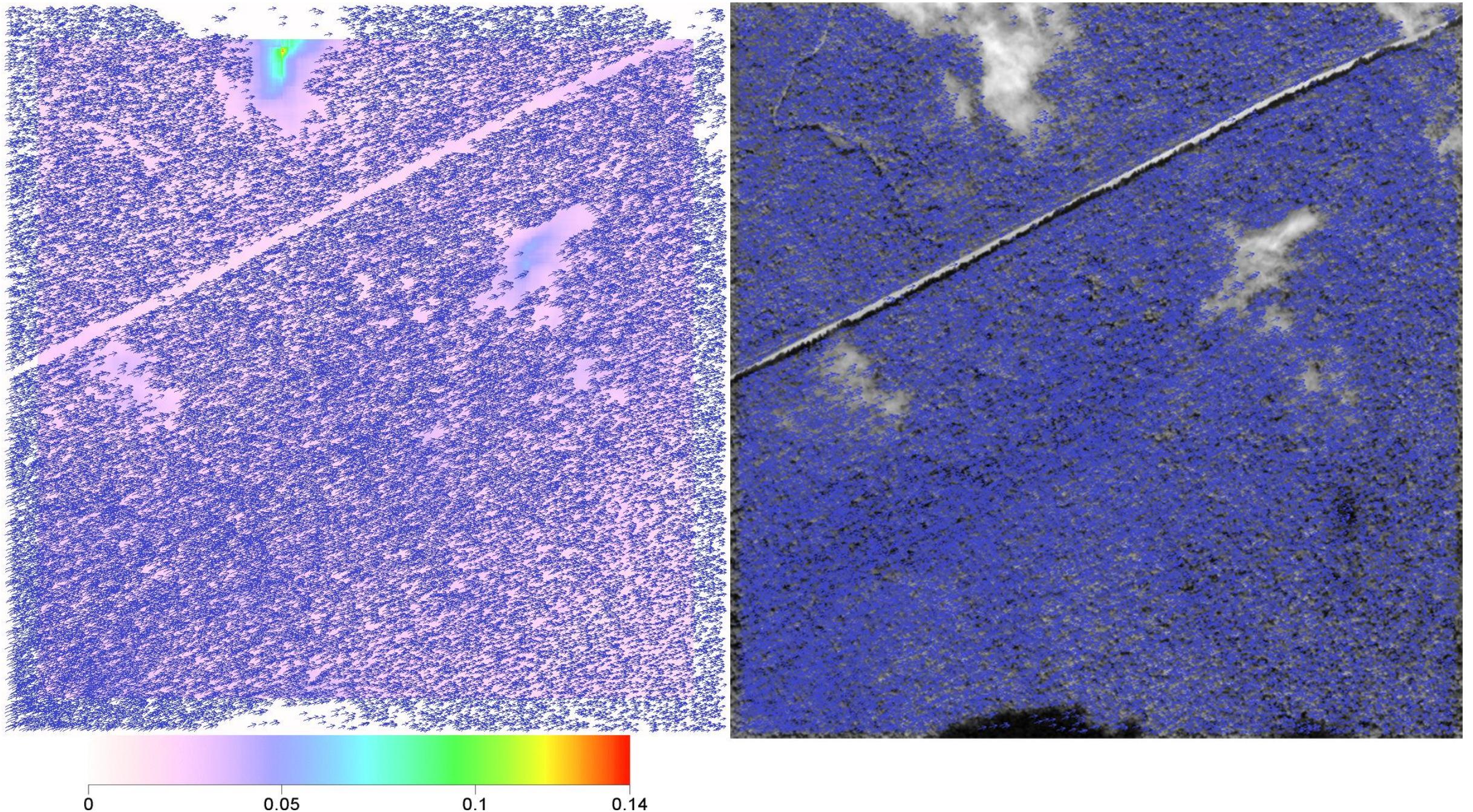
Характеристики исходных изображений:

1. Width 36766
Height 21200
SceneDate 25/08/2015
SceneTime 06:19:52
2. Width 36823
Height 18779
SceneDate 15/09/2015
SceneTime 06:18:50

Изображение лесного массива (полутонное изображение).
Панхроматический канал спутника Ресурс-П и автоматически
построенные вектора смещений (зеленый цвет).



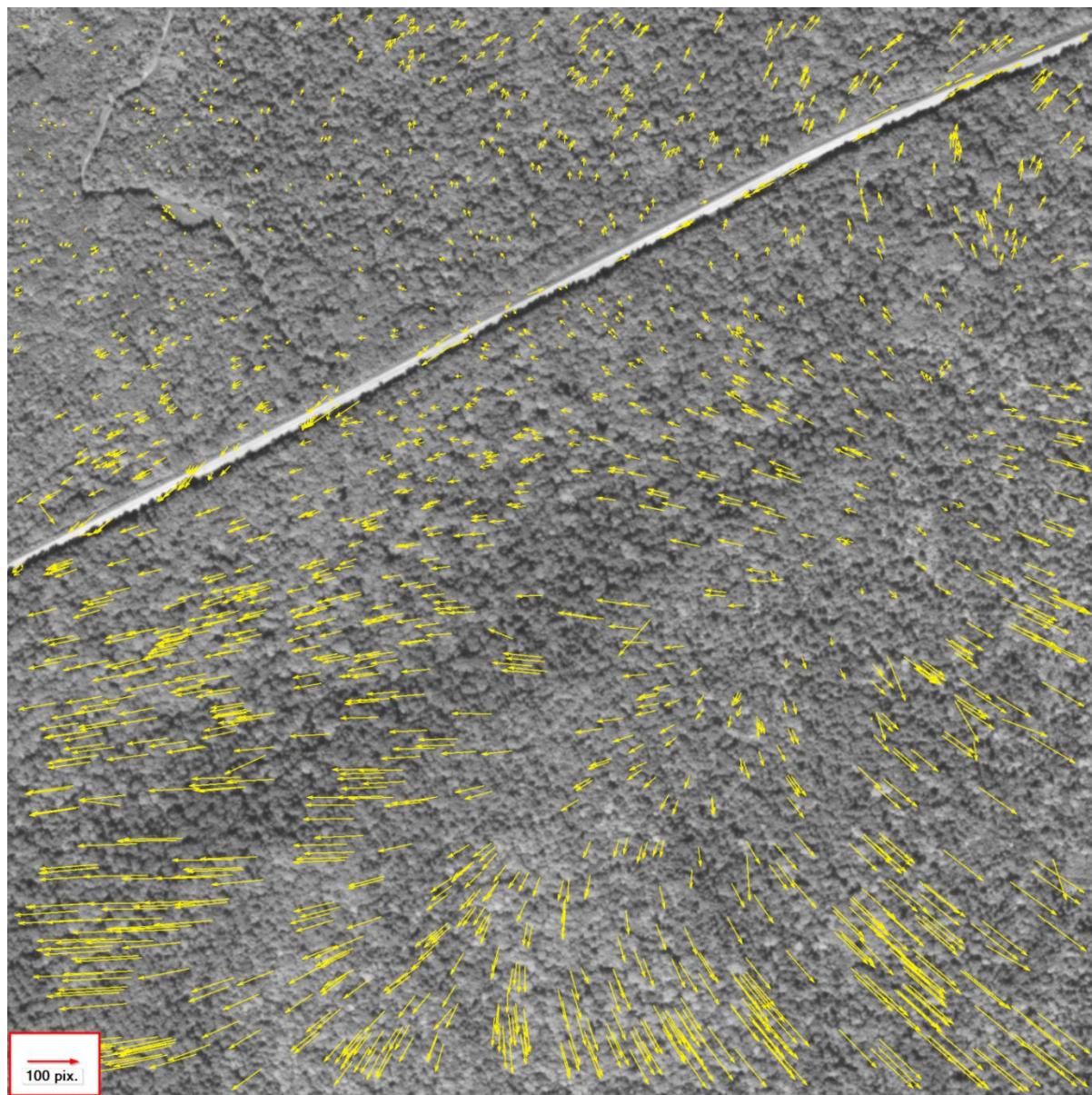
Карта точности совмещения



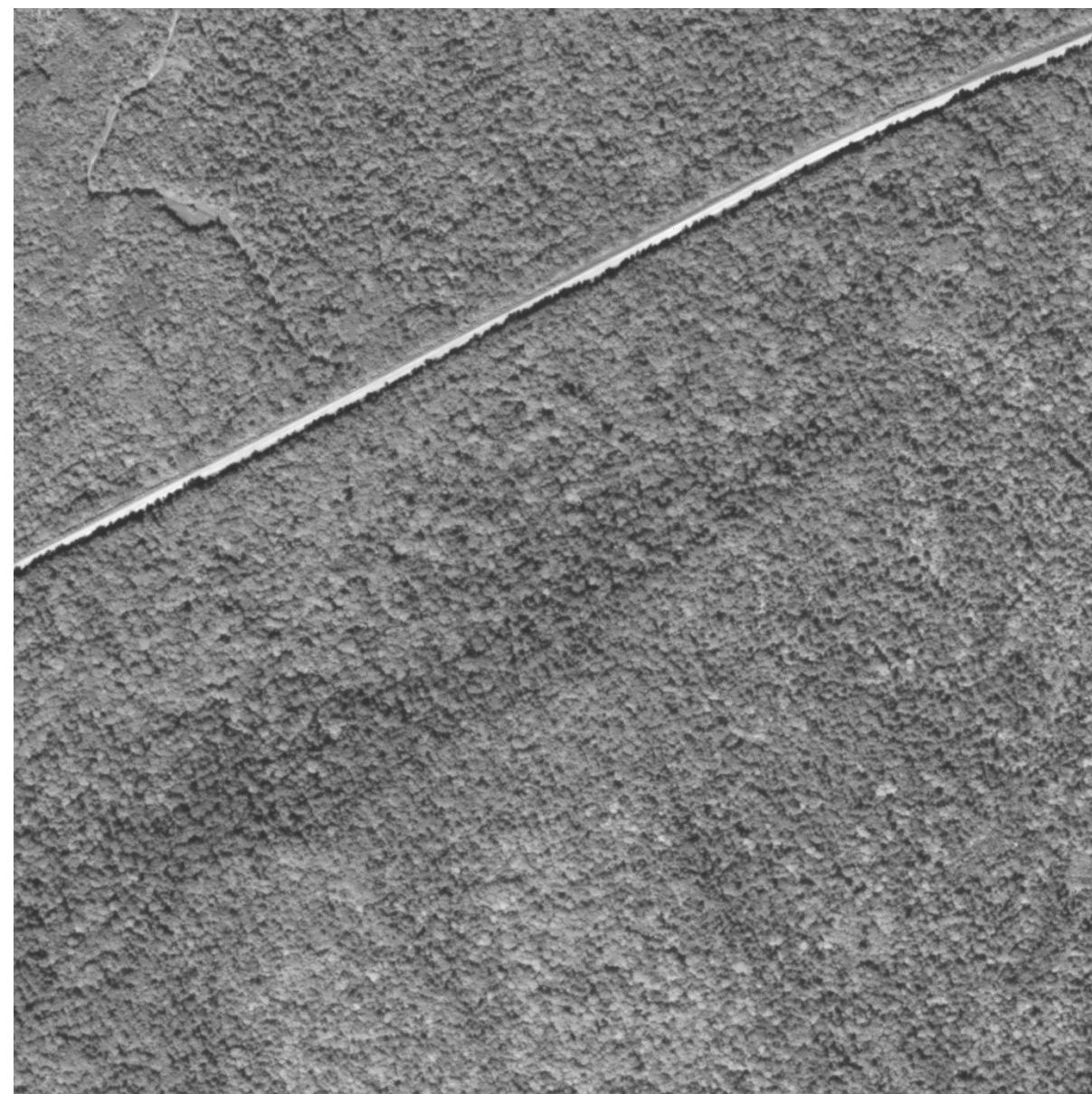
Слева – вектора смещений после фильтрации и карта точности расчета векторов смещений (в пикселях). Изображения сформированы при съемках с близкими углами. Справа – те же вектора на исходном изображении.



Совмещение изображений без построения ортофотоплана



Изображение лесного полога за 14.09.2015, Геотон, ортофотоплан. Желтые вектора – смещения изображения за 10.08.2015, не прошедшего географическую привязку и построение ортофотоплана. Изображение снято под углом около 40° Сопки с перепадами высот до 250 метров.

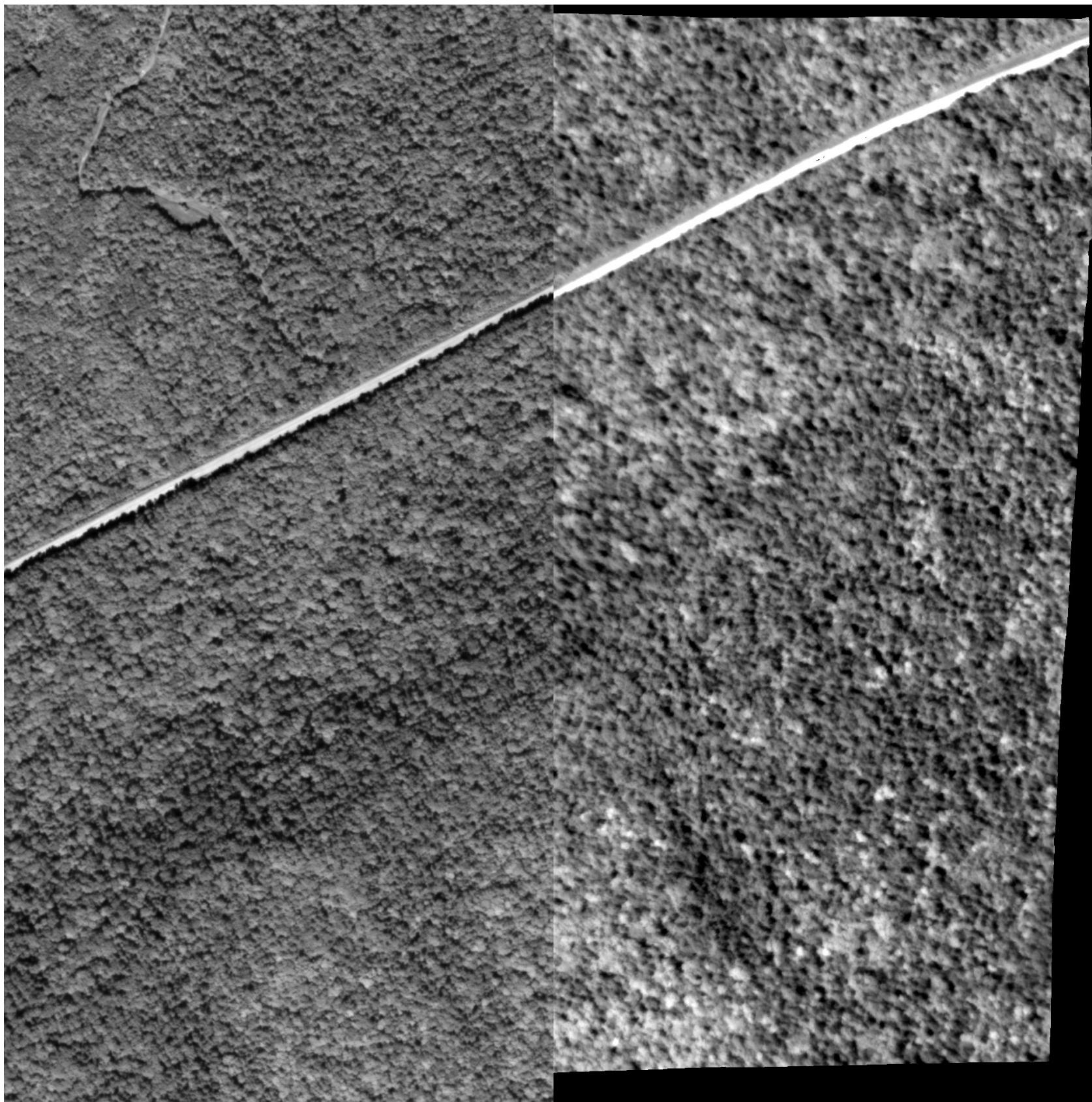


Последовательность из трех совмещенных изображений в динамике. Углы съемки у первых двух близки к надиру, третье изображение снято под углом около 40° . Первое и второе изображения приведены к ортофотоплану. Третье нет.

При хорошем совмещении лесного полога дороги не совмещаются из-за значительной высоты деревьев и большого разнице углов съемки.



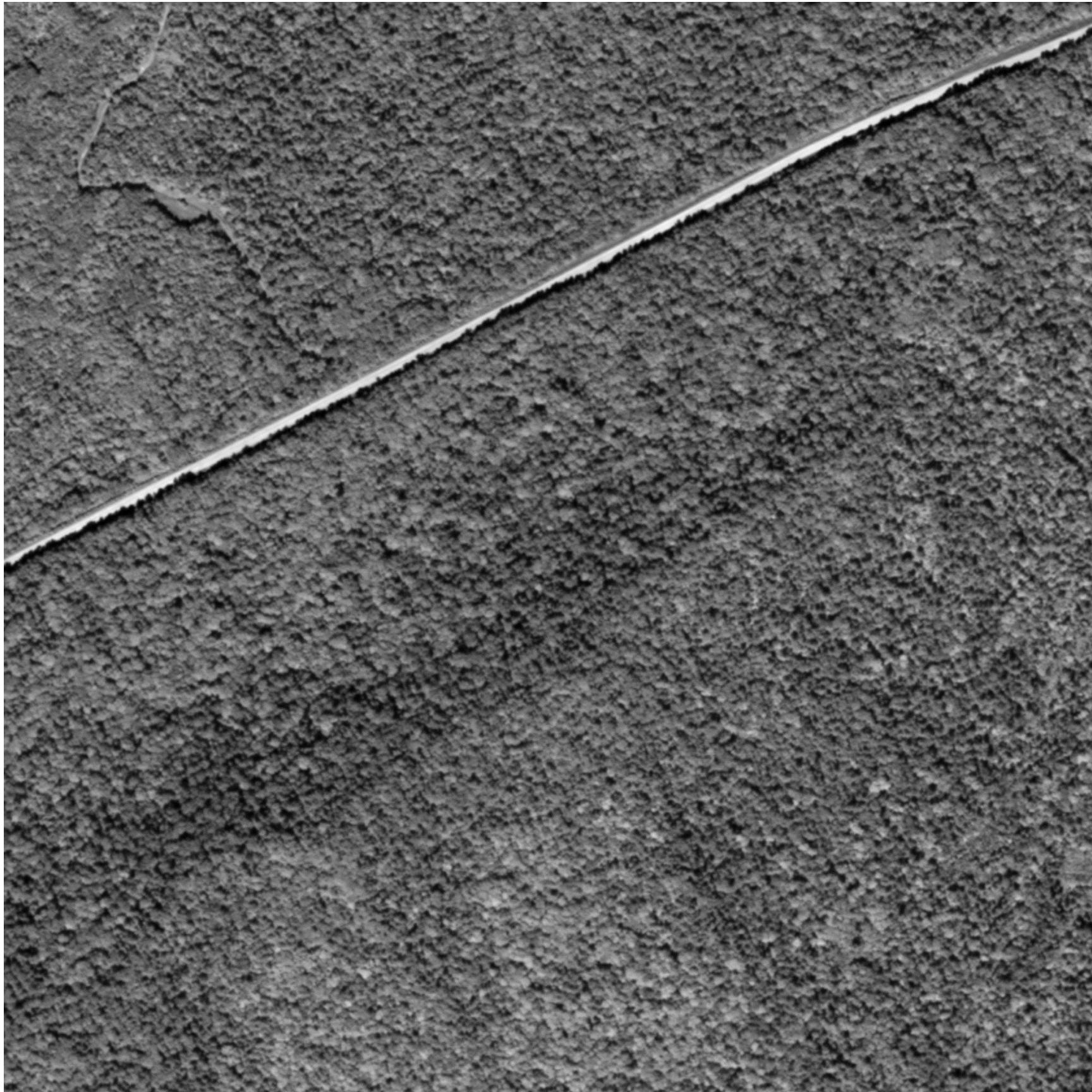
Оценка качества совмещения изображений



Композиция фрагментов двух изображений (первого и третьего)

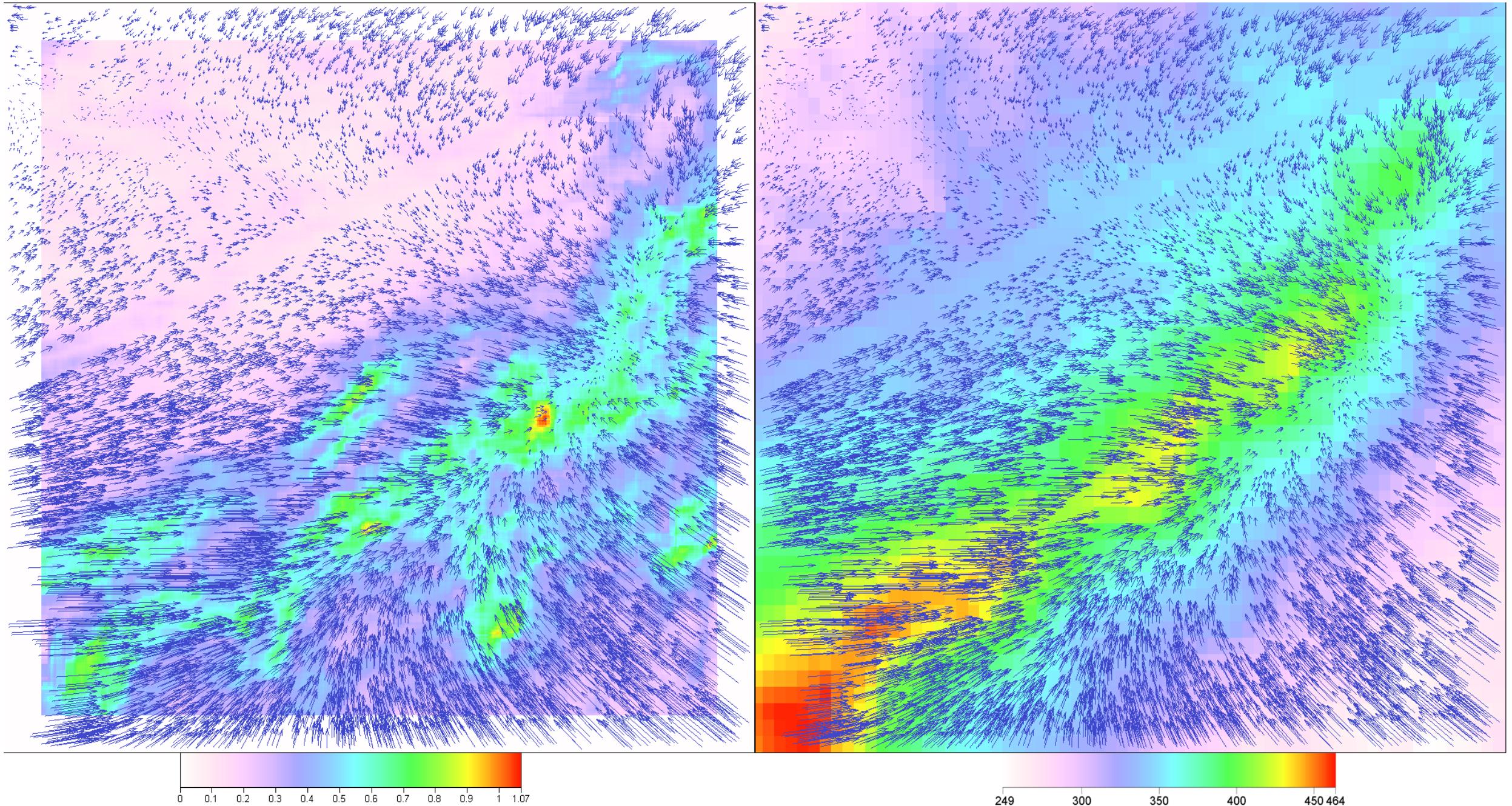


Оценка качества совмещения изображений в динамике





Точность совмещения изображений

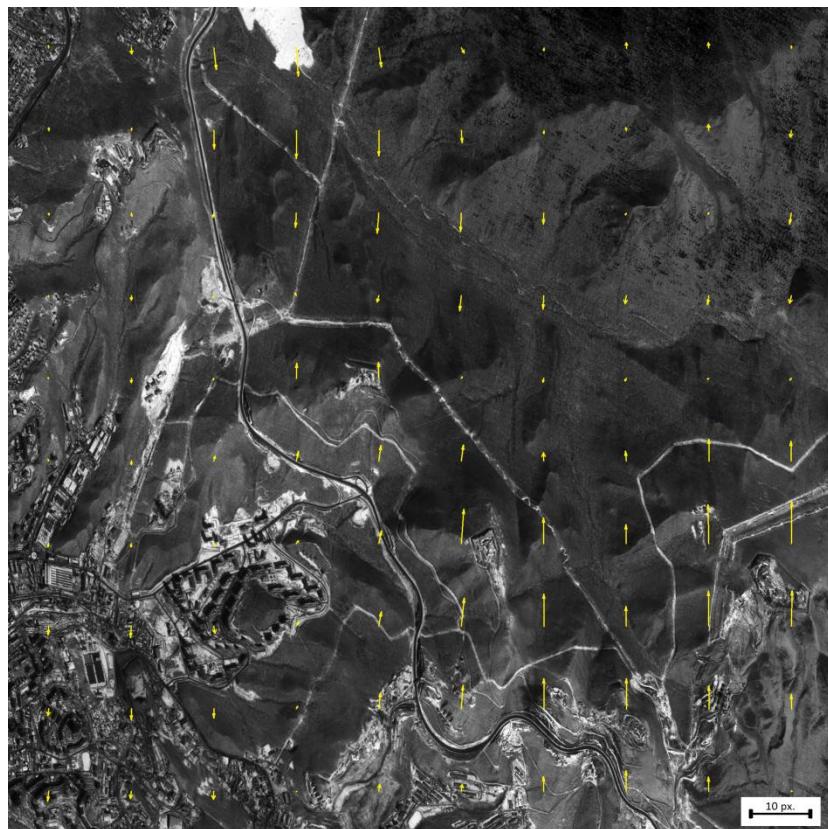


Слева – вектора смещений после фильтрации на основе аффинного преобразования с точностью расчета вектора смещения в пикселях. Справа – те же вектора на карте рельефа местности (в метрах).

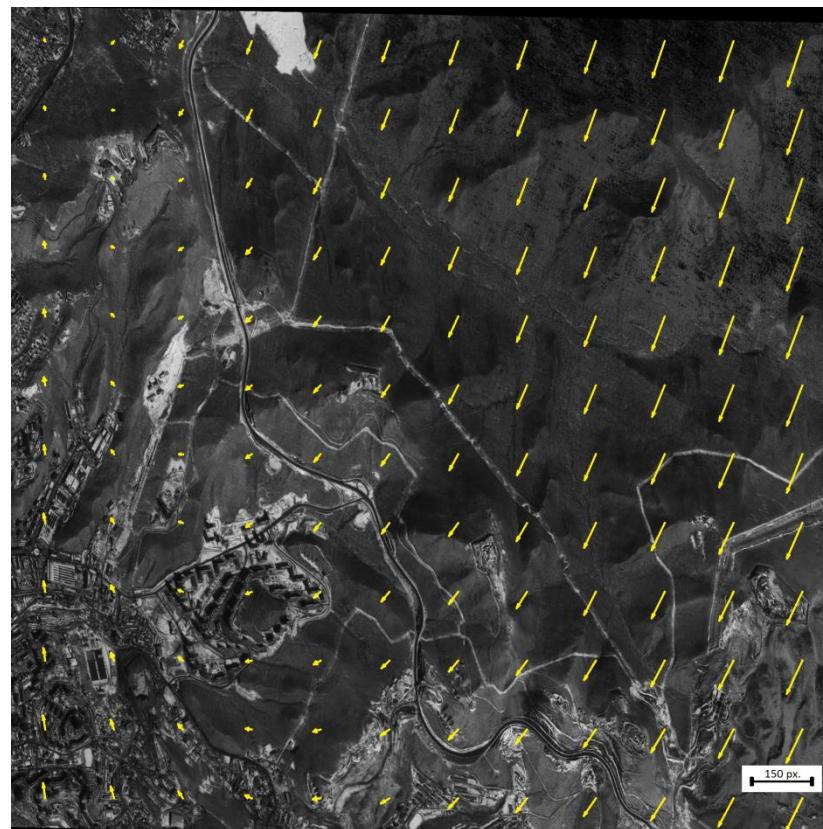


Точность совмещения изображений разных каналов.

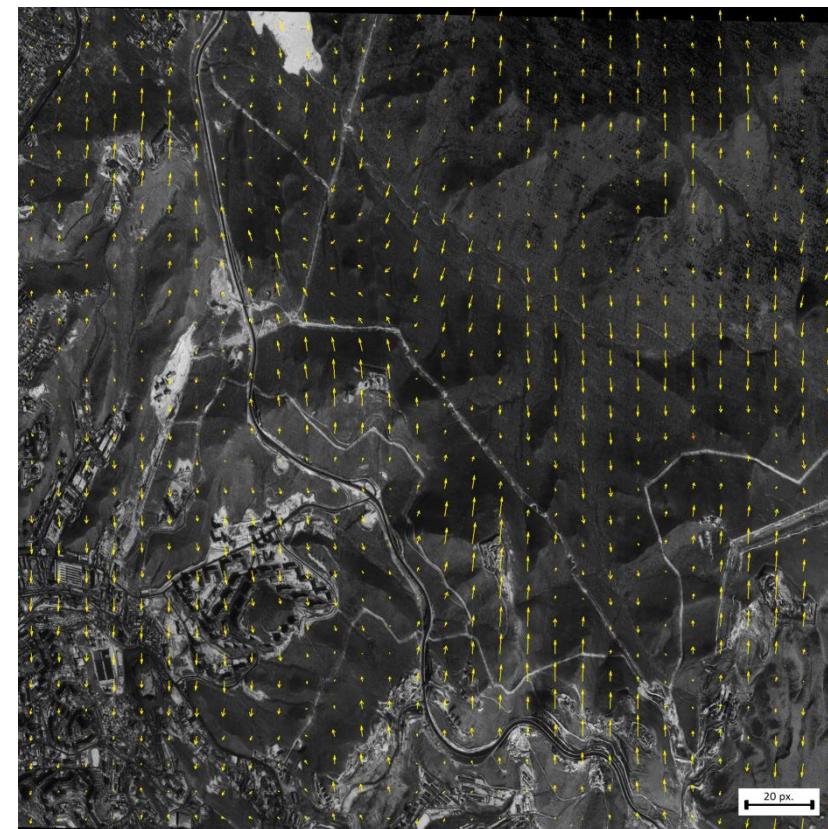
Уровень обработки 1, Ресурс-П №1, Геотон, многоспектральная съемка



а



б



в

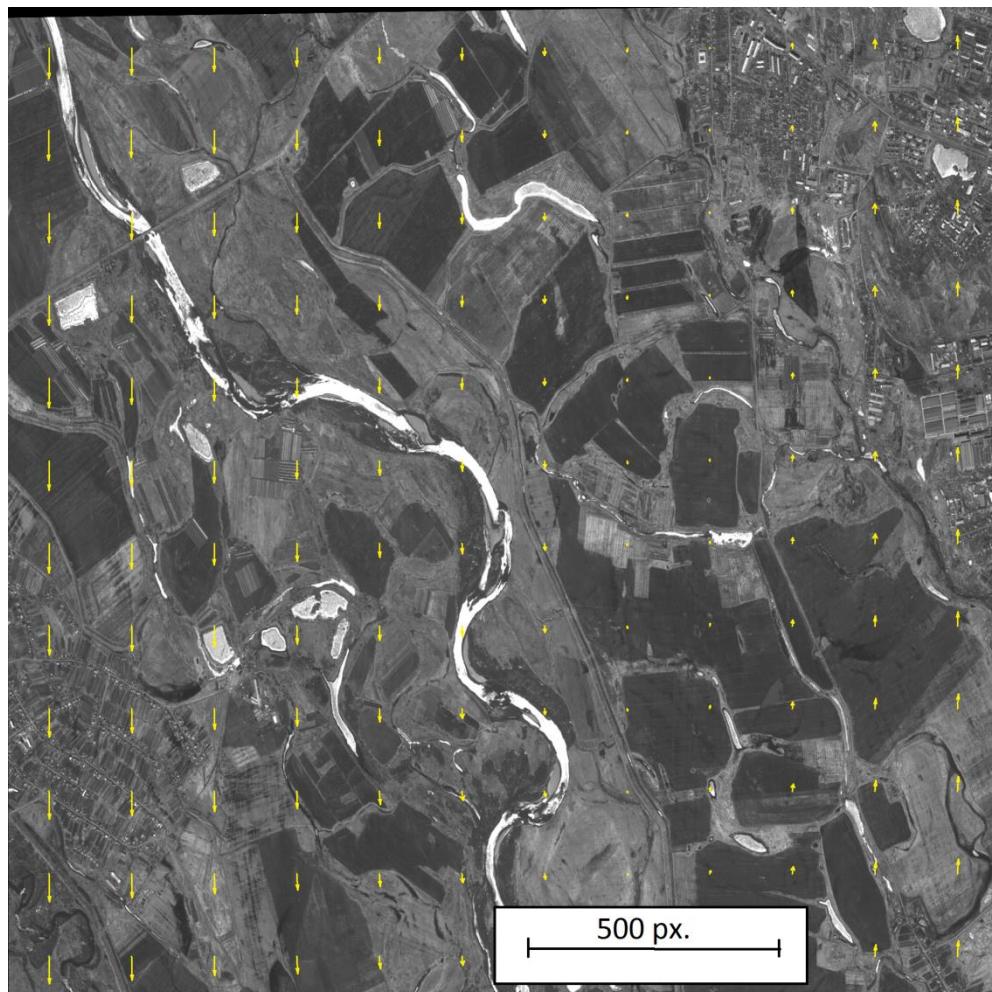
Панхроматическое изображение г. Владивосток за 17/03/2018. Желтые вектора – смещения : а – синего канала относительно красного; б - вектора трансформации (сдвиг, поворот и масштабирование) изображения красного канала к панхроматическому; в – вектора остаточных смещений упомянутых каналов, прошедших трансформацию. Точность расчета совмещений менее 1 пикселя.

Изображения 4-х мультиспектральных каналов хорошо совмещены за исключением синего канала. Для него ошибки совмещения могут достигать 6 пикселей (12м). Максимальные ошибки пространственного рассогласования расстояний между двумя точками могут достигать 12 пикселей (24м). Для совмещения мультиспектральных изображений с изображением панхроматической съемки проводилась трансформация, выполняемая аффинным преобразованием. Наблюдаются ошибки совмещения, достигающие 7 пикселей (около 5м).

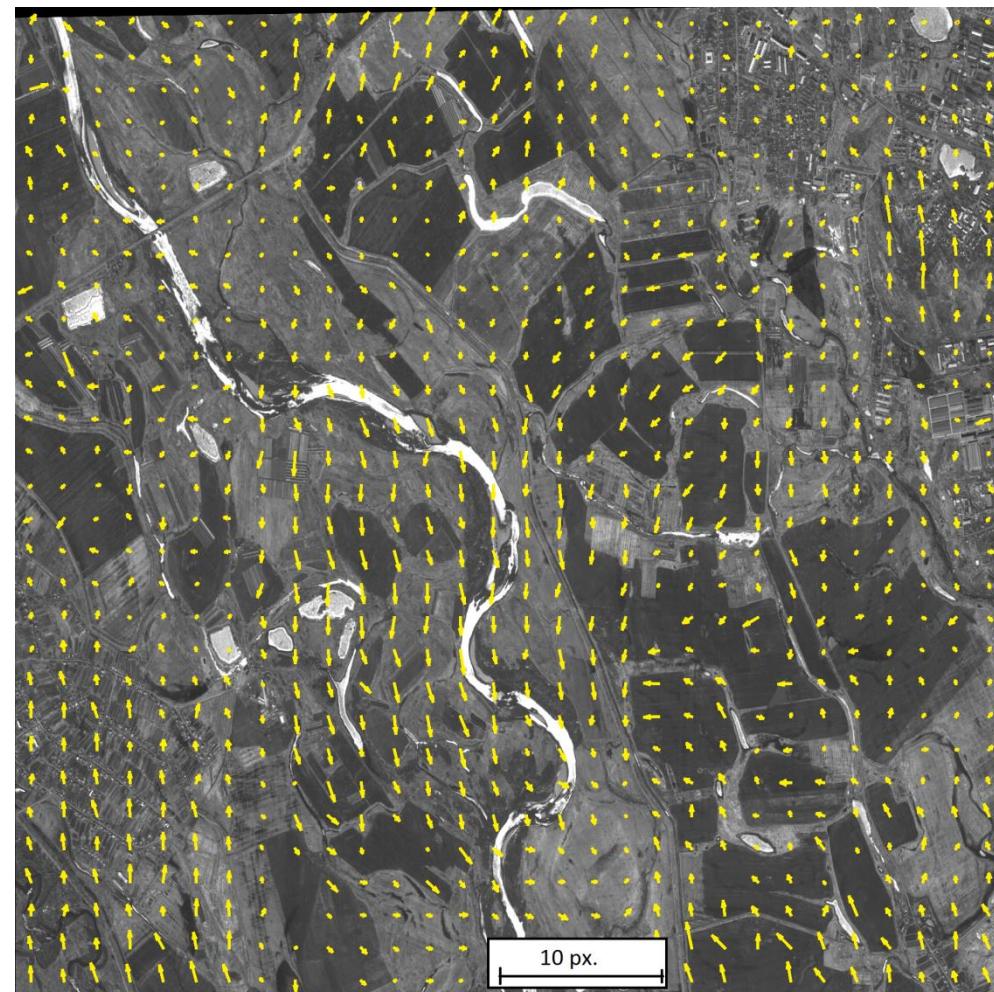


Точность совмещения изображений разных каналов.

Уровень обработки 1, Ресурс-П №2, Геотон, многоспектральная съемка



а



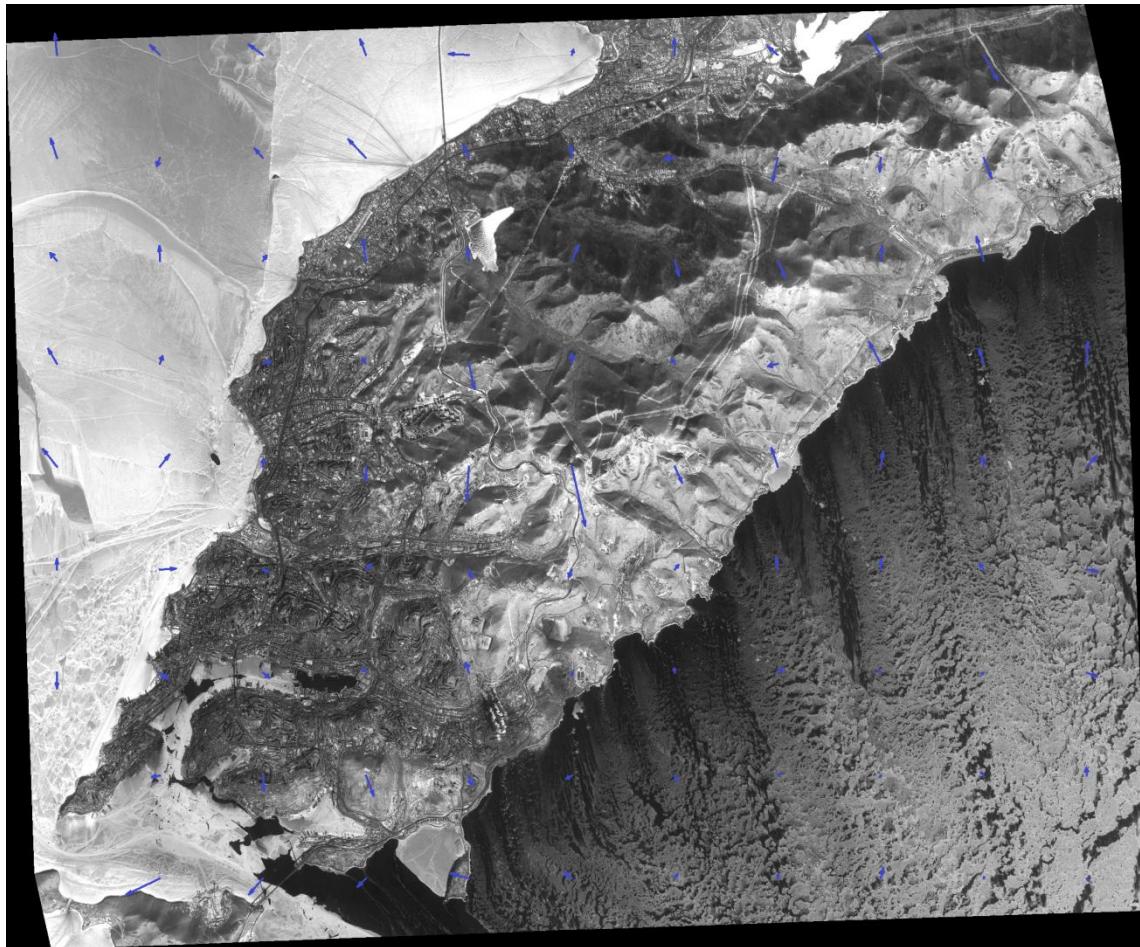
б

Панхроматическое изображение пригорода г. Уссурийск за 20/03/2016. Желтые вектора – смещения : а - вектора трансформации (сдвиг, поворот и масштабирование) изображения красного канала к панхроматическому; б – остаточные вектора смещений упомянутых каналов после трансформации. Точность совмещения менее 1 пикселя.

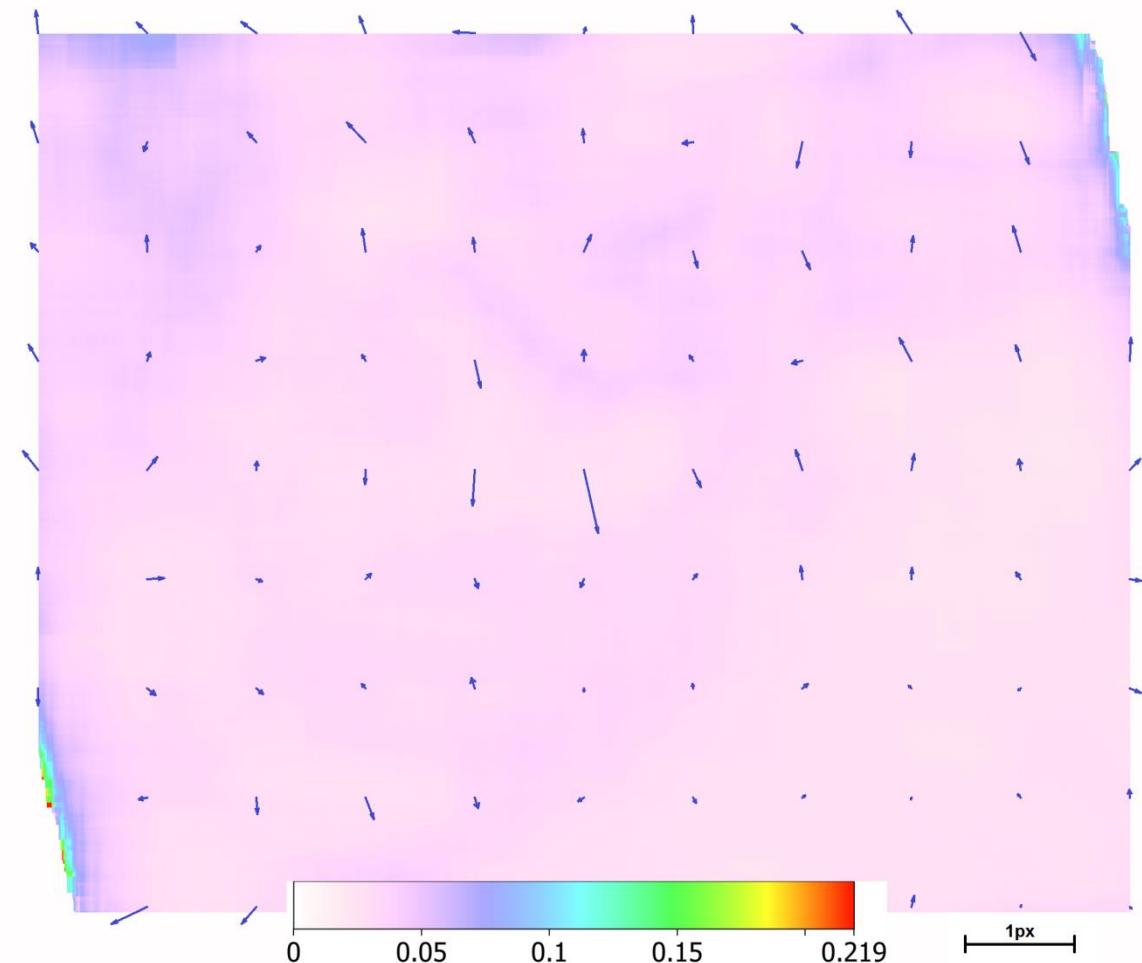
Изображения 4-х мультиспектральных каналов хорошо совмещены (пиксельная точность). Для совмещения мультиспектральных изображений с изображением панхроматической съемки проводилась трансформация, выполняемая аффинным преобразованием. Наблюдаются ошибки совмещения не более двух пикселей (около 1.4м). Максимальные ошибки пространственных рассогласований при съемке в надир – около 3-х пикселей (чуть более 2-х метров).



Точность совмещения изображений разных каналов. Уровень обработки 1, Канопус-В ИК



а



б

А - Изображение г. Владивосток за (синий канал) за 25.01.2018 и вектора смещений между этим изображением и отмасштабированным и трансформированным изображением ПСС. Б – те же вектора смещений на карте точности их расчета.

Изображения каналов МСС хорошо совмещены (рассогласования существенно менее пикселя). Для совмещения мультиспектральных изображений с изображением панхроматической съемки проводилась трансформация, выполняемая аффинным преобразованием. В данном примере сравнивались приведенные к 10-ти метровому разрешению изображения. На изображениях льда смещения не более 2-х метров (пиксель ПСС). На изображениях суши могут быть больше, что можно объяснить рассогласованием осей съемки приборами ПСС и МСС.



Выводы

- 1. Автоматическое совмещение изображений с пиксельной точностью на основе векторов, отобранных аффинным преобразованием, возможно даже при значительной изменчивости изображений местности и ее рельефа на таких сложных объектах, как лес и поле. С получающейся точностью совмещаются области, размер которых оптимально выбирается при осреднении векторов. В пределах этого размера полученная точность совмещения не гарантируется.**
- 2. Если есть изображение-эталон, то высокая точность совмещения получается без построения ортофотоплана и точной географической привязки.**
- 3. Поскольку метод автоматически находит значительное количество пар реперных точек фактически для произвольной местности, то обычно возможно разбиение изображений на участки, которые совмещаются с пиксельной точностью.**
- 4. Метод можно использовать для контроля сшивки и геометрической коррекции изображений, получаемых в различных спектральных каналах в течение сеанса съемки. При совмещении изображений различных каналов спутников Ресурса-П №1, №2 иногда наблюдаются рассогласования, которые можно объяснить некорректной сшивкой микрокадров (вектора рассогласований имеют структуру с характерным размером микрокадра). В силу различий осей съемки в разных спектральных каналах в общем случае пиксельная точность совмещения не гарантируется.**
- 5. Созданный метод никак не связан со спецификой спутниковых изображений и может использоваться для изображений с беспилотных летательных аппаратов и произвольных систем видеонаблюдений.**



Благодарю за внимание!