



- **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

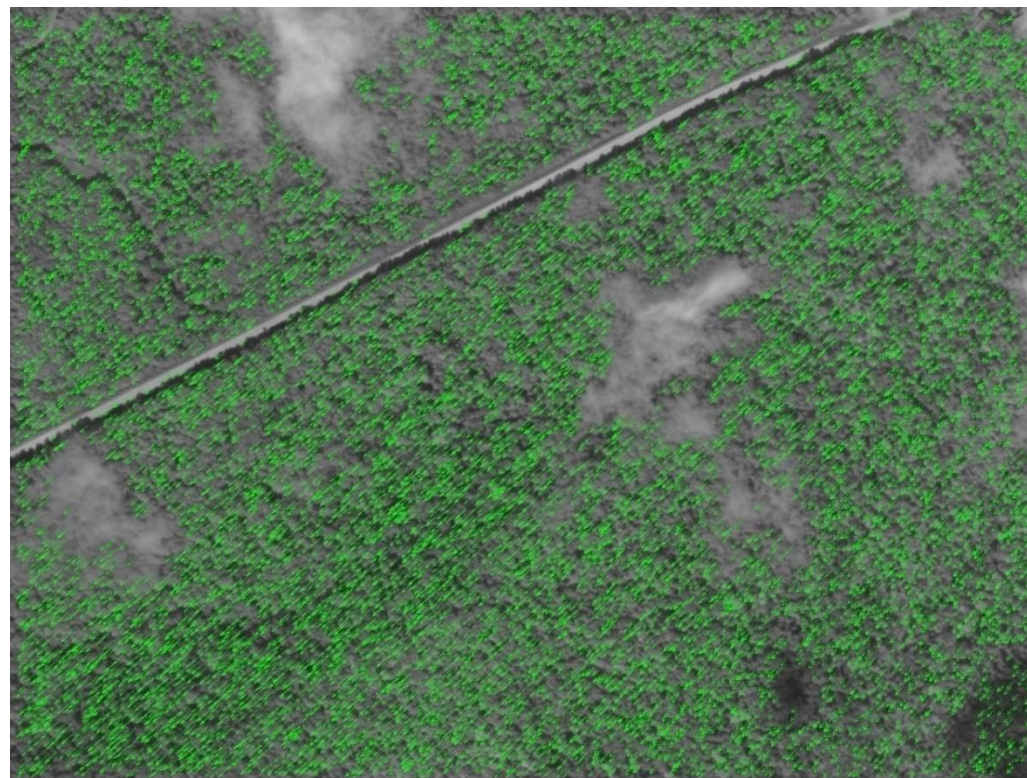
Принцип настройки алгоритма.

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**



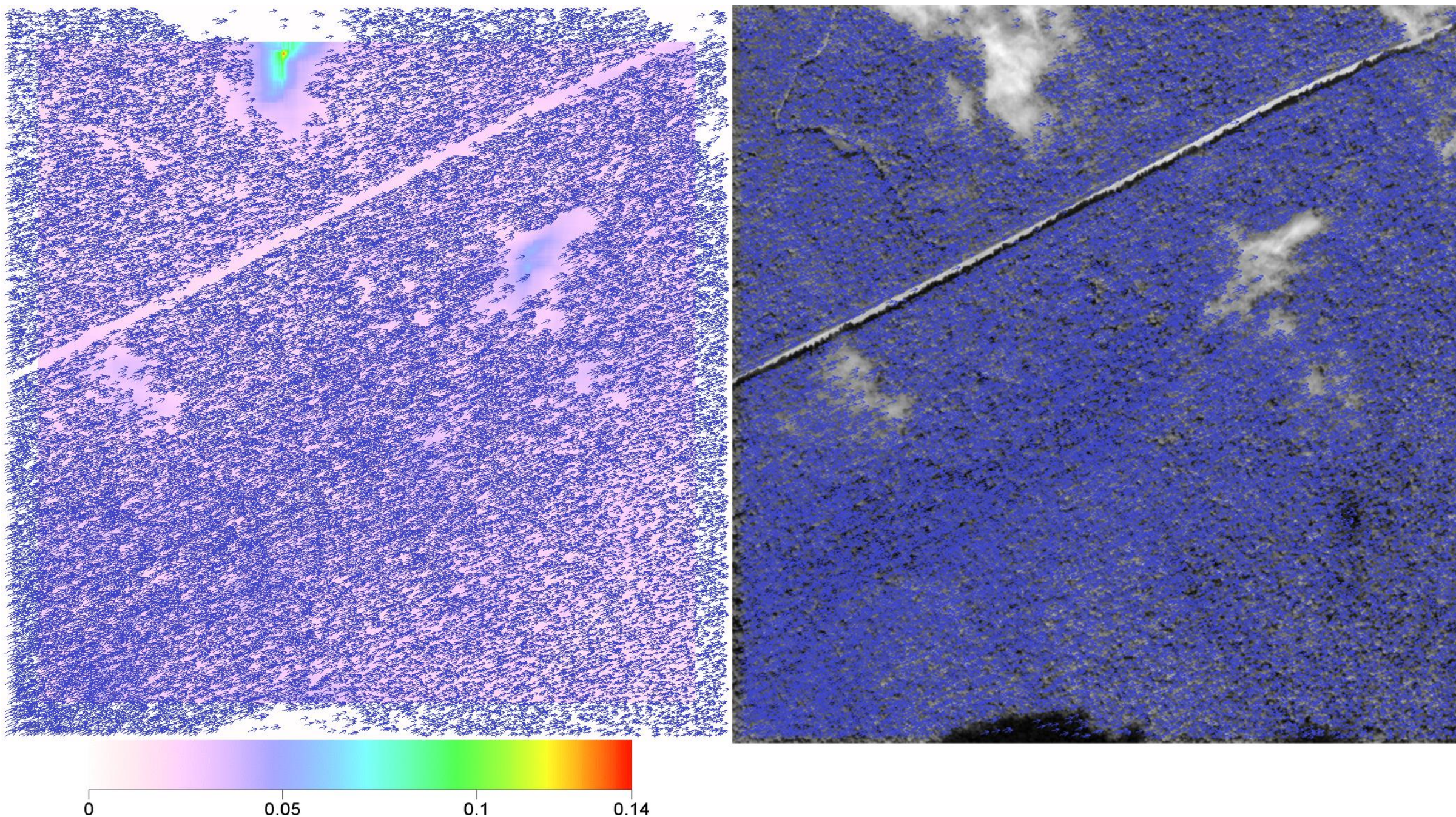
Характеристики исходных изображений:

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).



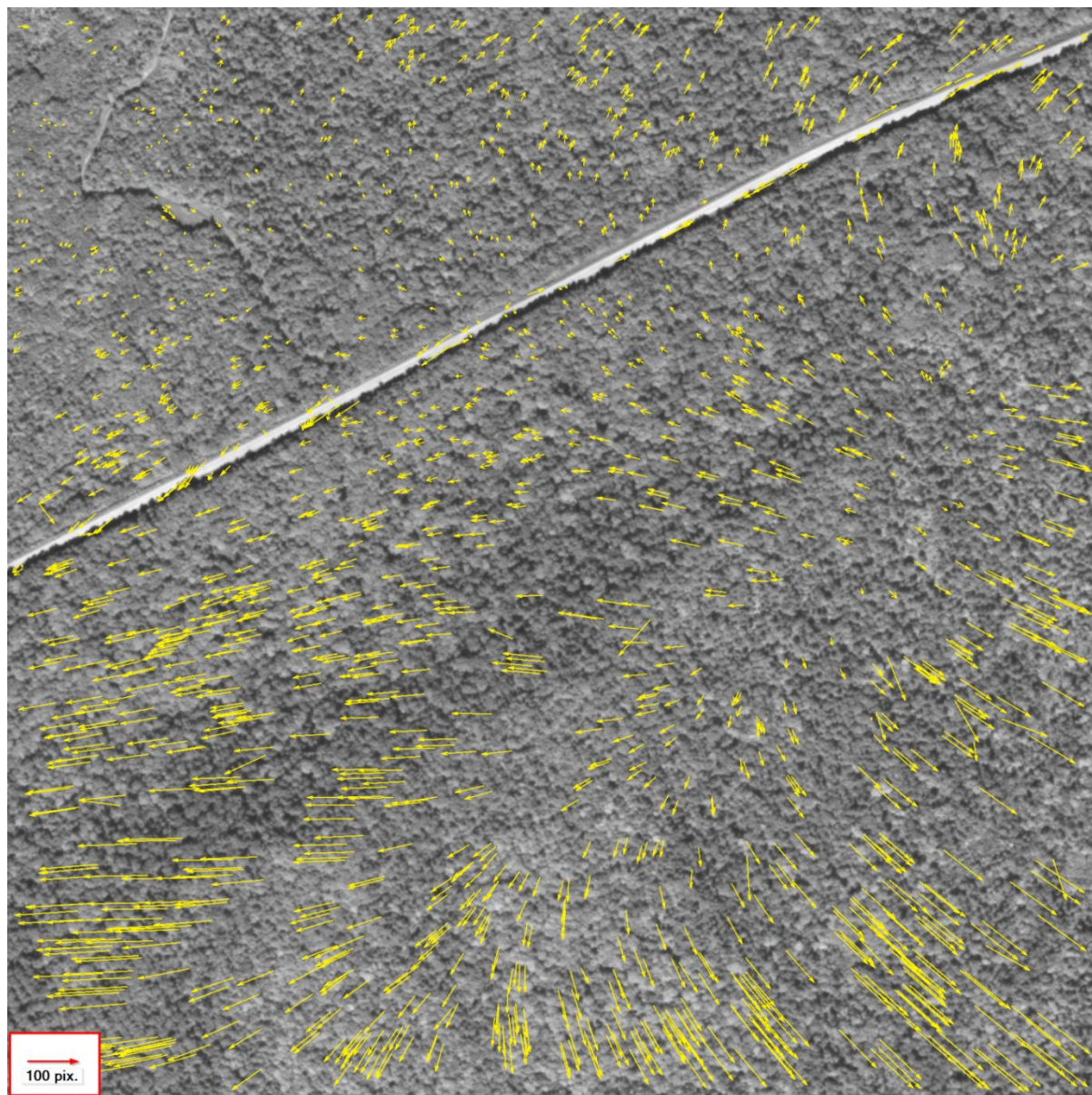
Карта точности совмещения



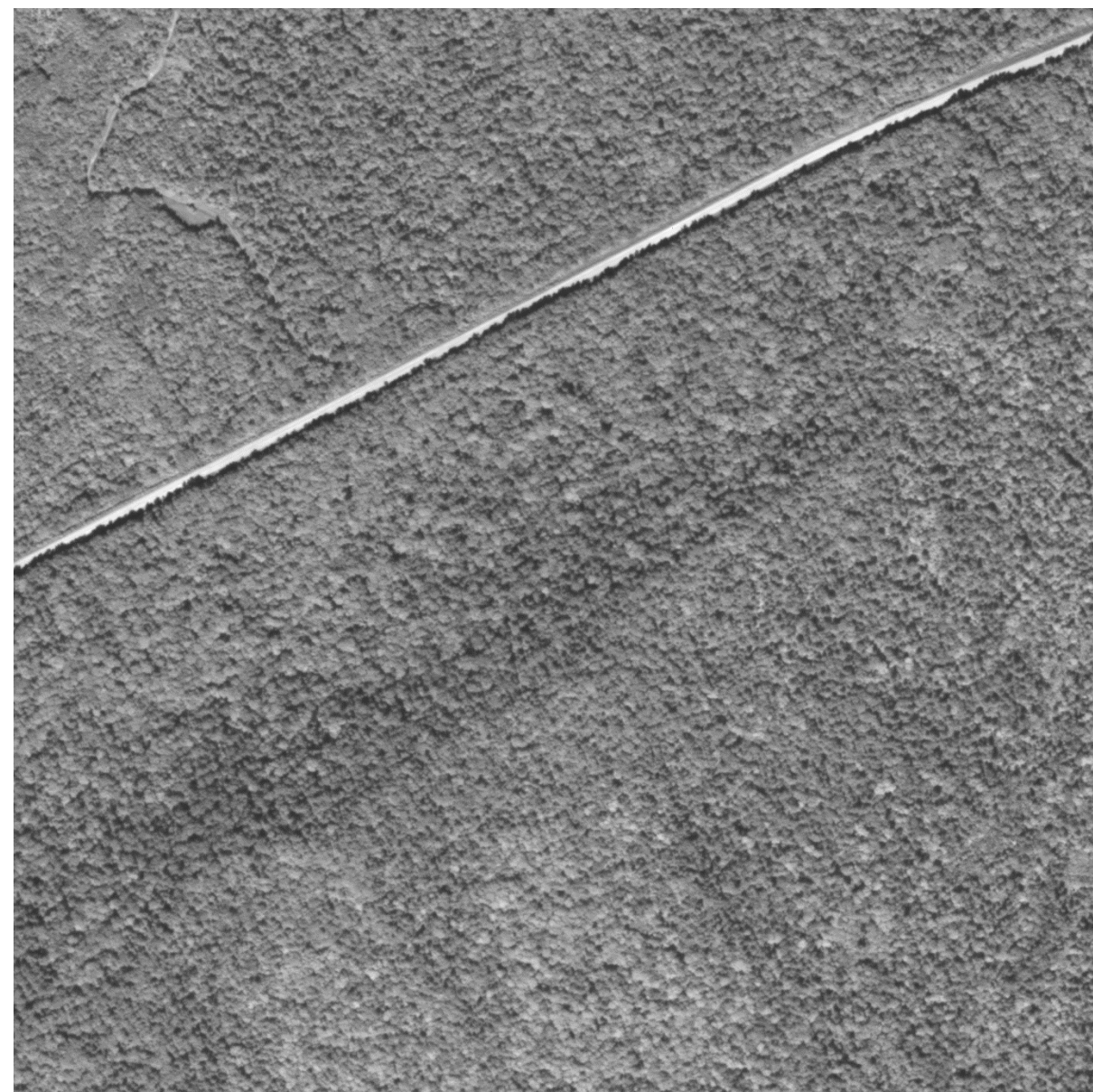
Слева – вектора смещений после фильтрации и карта точности расчета векторов смещений (в пикселях). Изображения сформированы при съемках с близкими углами. Справа – те же вектора на исходном изображении.



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.

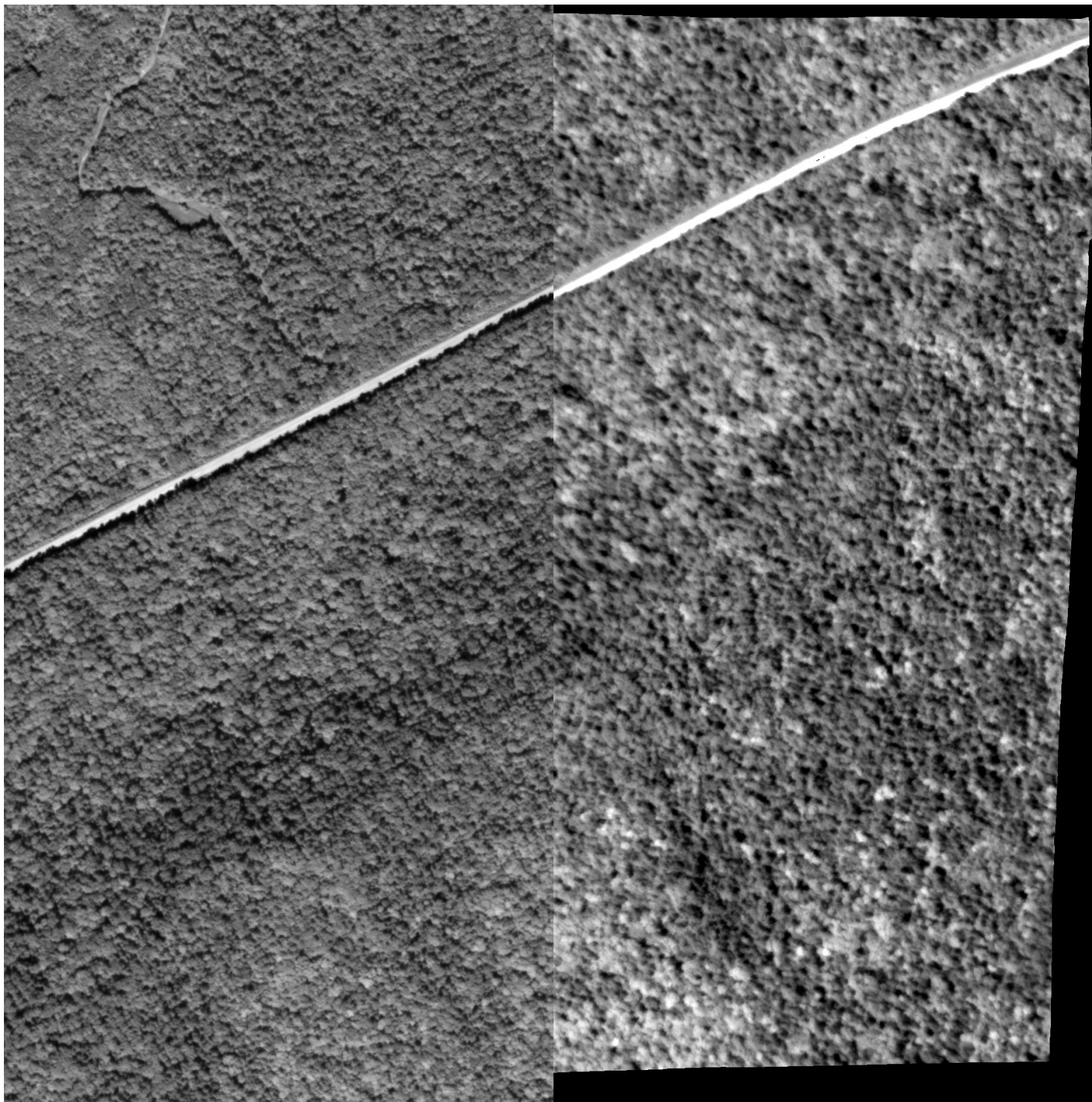


Последовательность из трех совмещенных изображений в динамике. Углы съемки у первых двух близки к надиру, третье изображение снято под углом около 40° . Первое и второе изображения приведены к ортофотоплану. Третье нет.

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



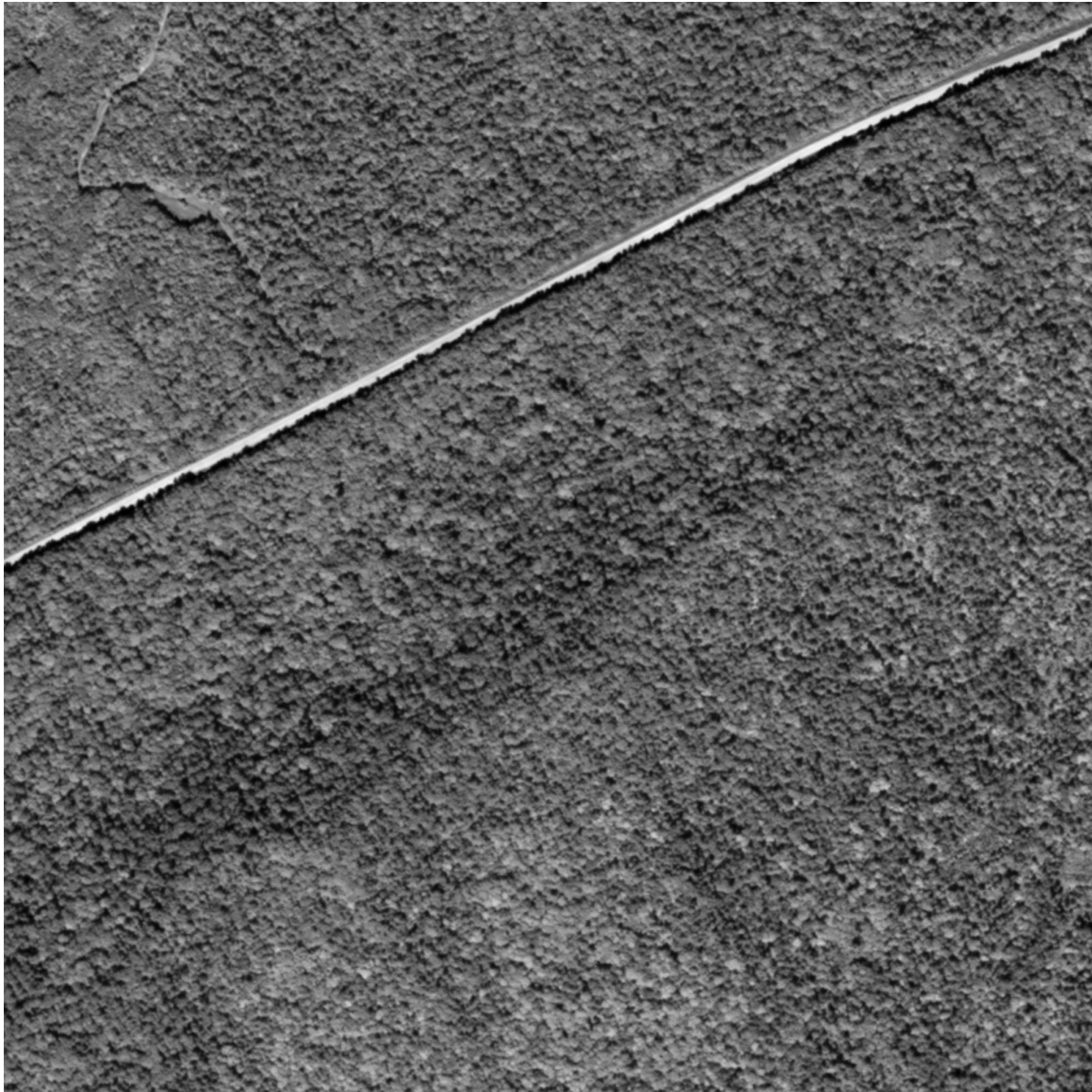
Оценка качества совмещения изображений



Композиция фрагментов двух изображений (первого и третьего)

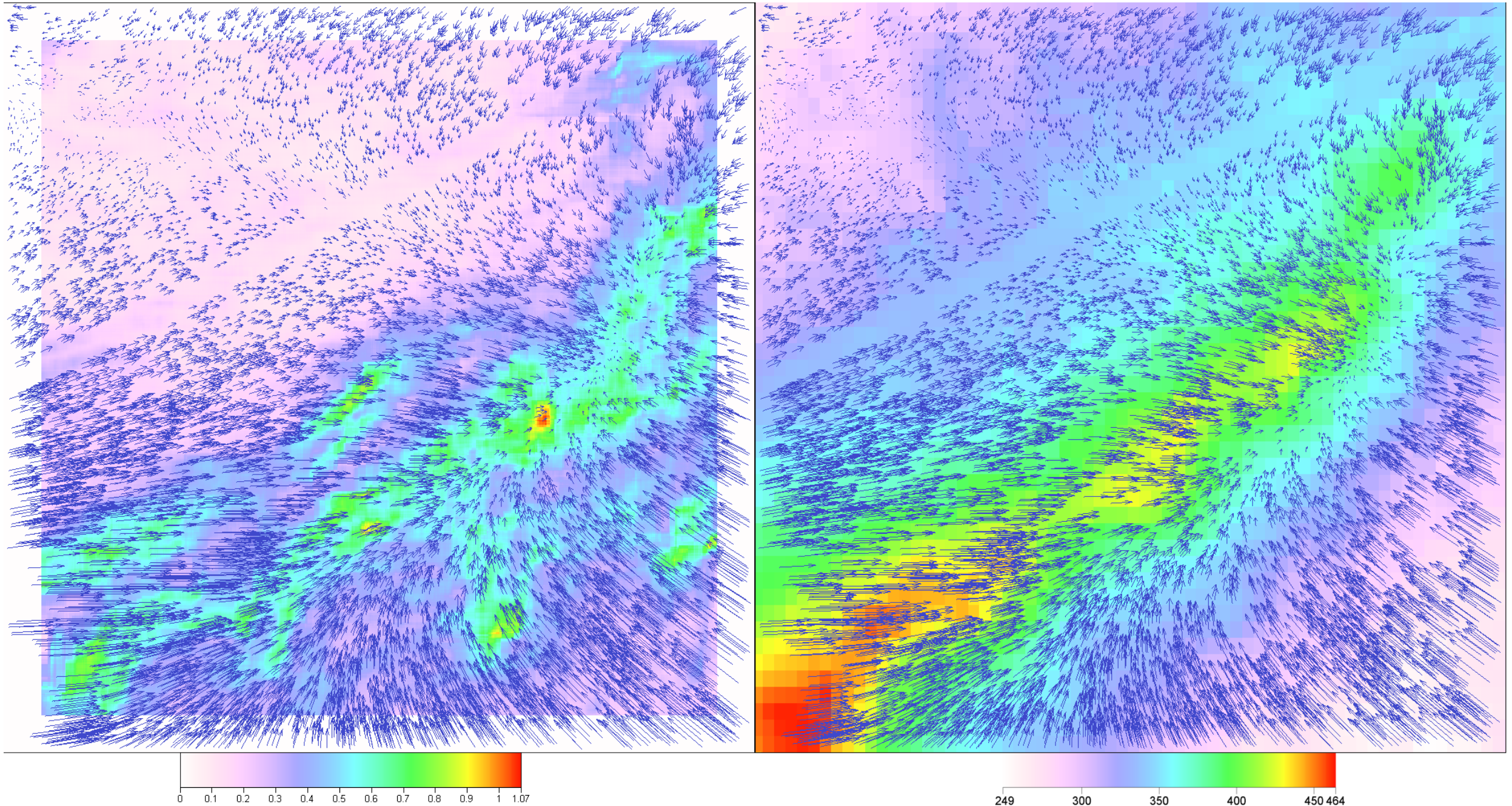


Оценка качества совмещения изображений в динамике





Точность совмещения изображений

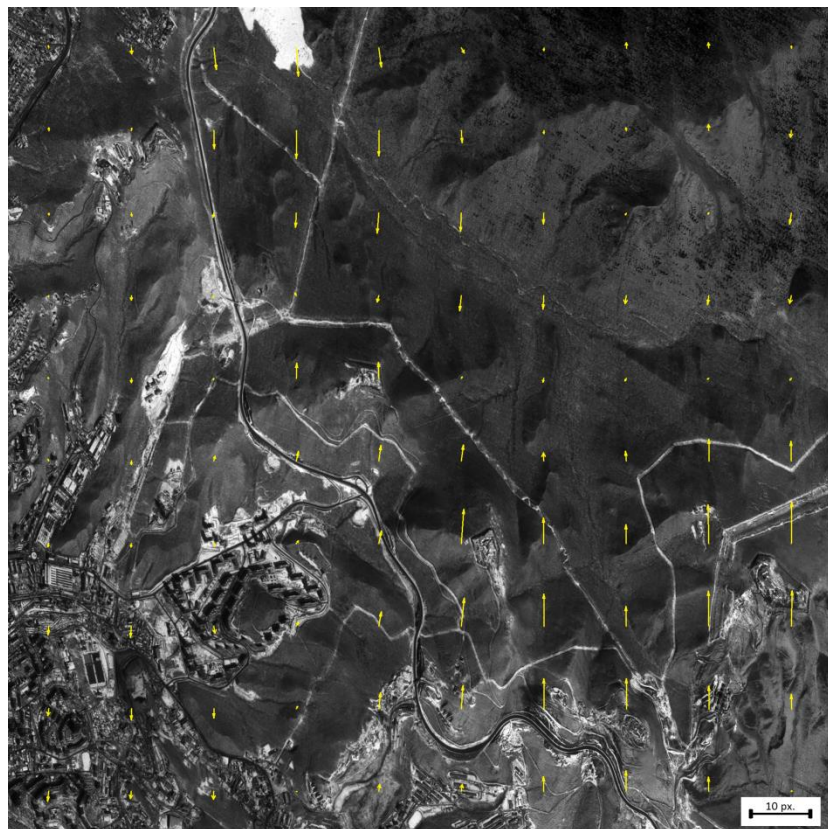


Слева – вектора смещений после фильтрации на основе аффинного преобразования с точностью расчета вектора смещения в пикселях. Справа – те же вектора на карте рельефа местности (в метрах).

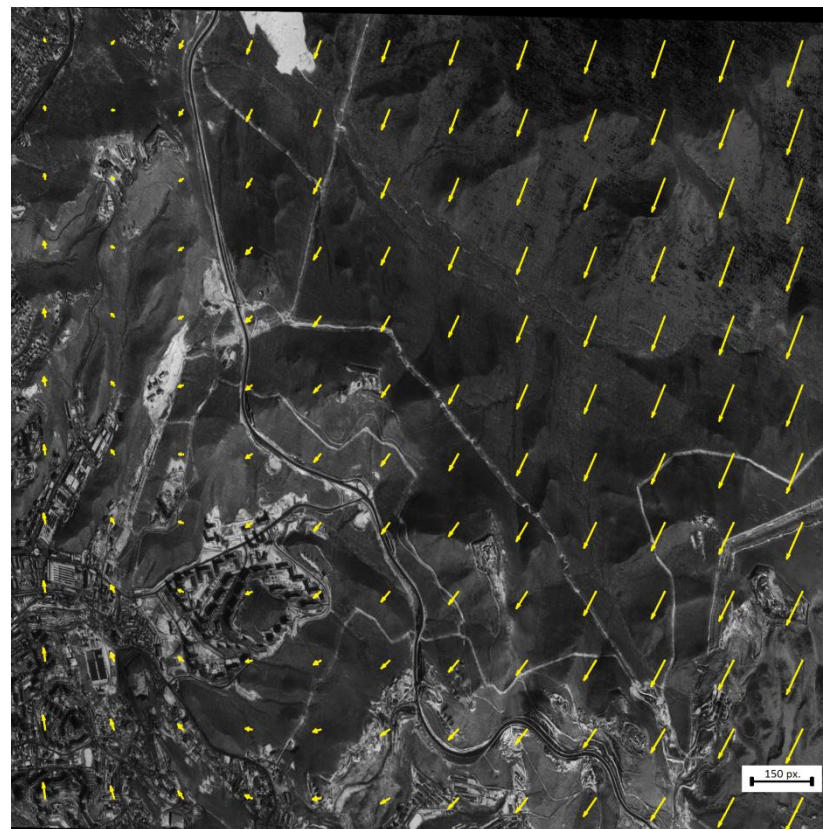


Точность совмещения изображений разных каналов.

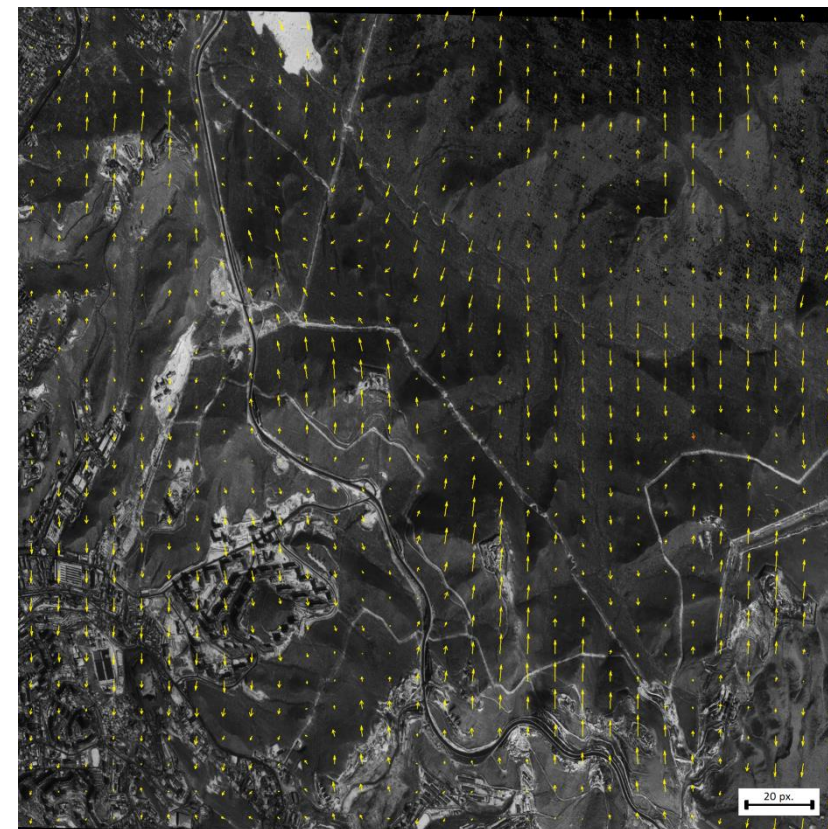
Уровень обработки 1, Ресурс-П №1, Геотон, многоспектральная съемка



а



б



в

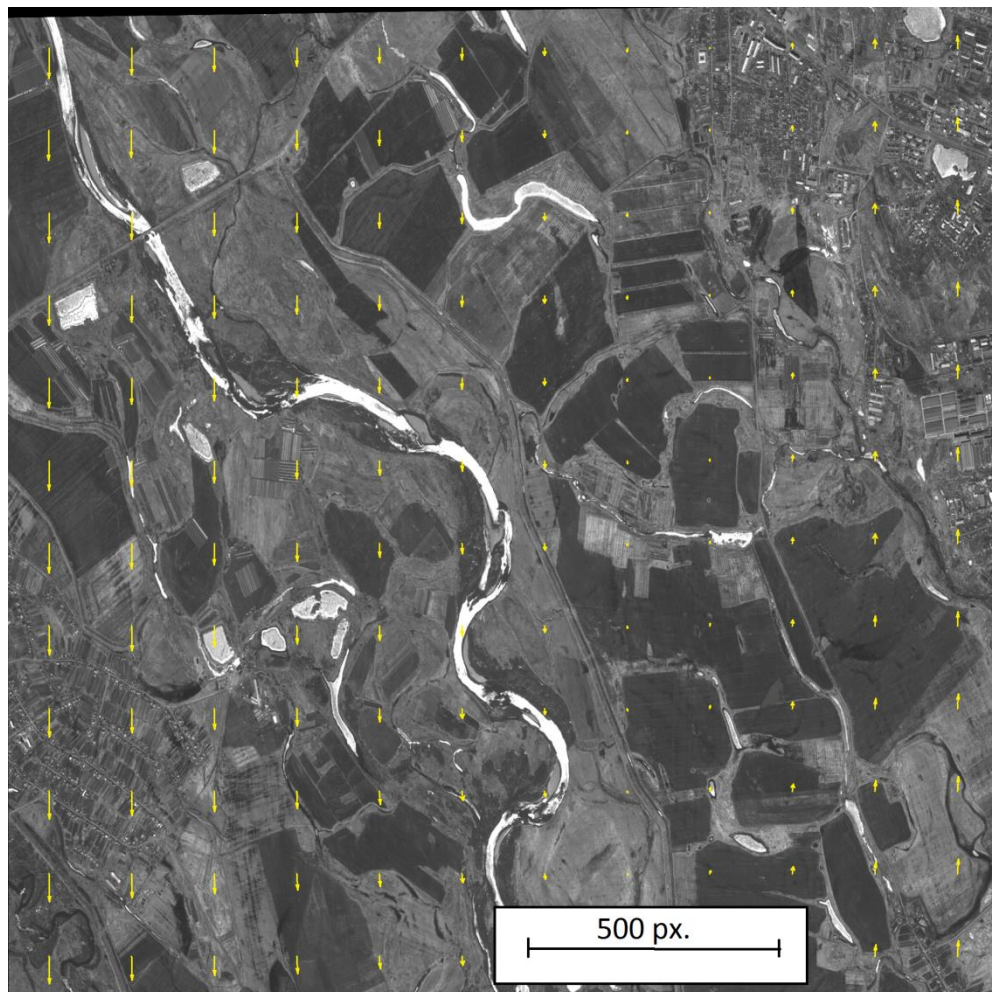
Панхроматическое изображение г. Владивосток за 17/03/2018. Желтые вектора – смещения : а – синего канала относительно красного; б - вектора трансформации (сдвиг, поворот и масштабирование) изображения красного канала к панхроматическому; в – вектора остаточных смещений упомянутых каналов, прошедших трансформацию.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

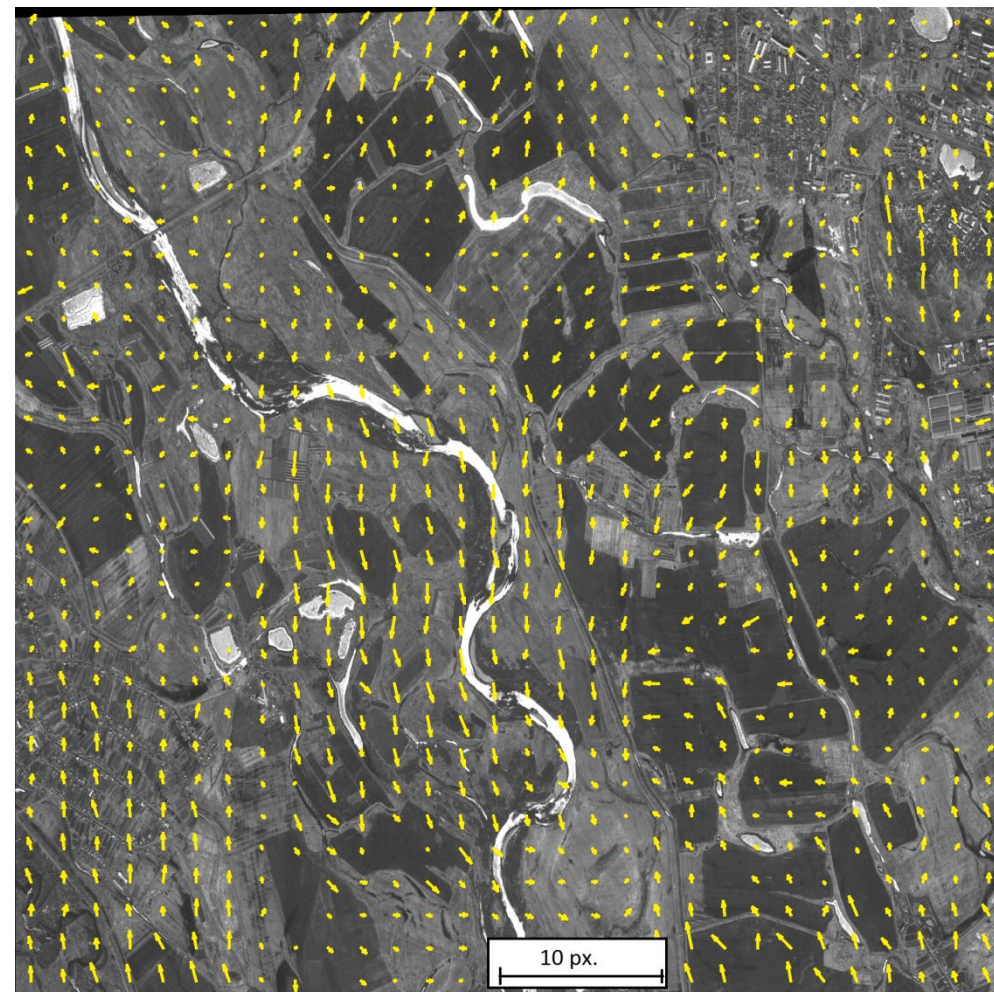


Точность совмещения изображений разных каналов.

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



а



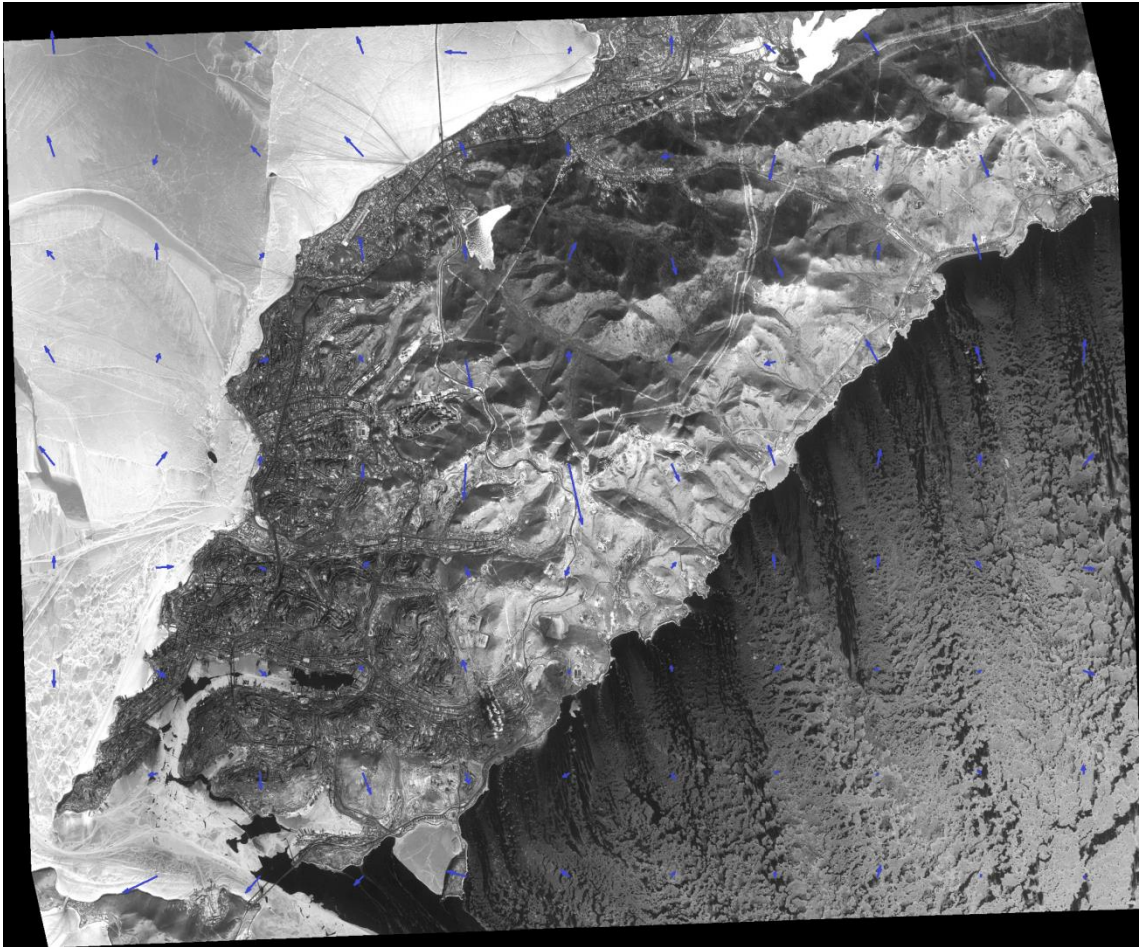
б

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.

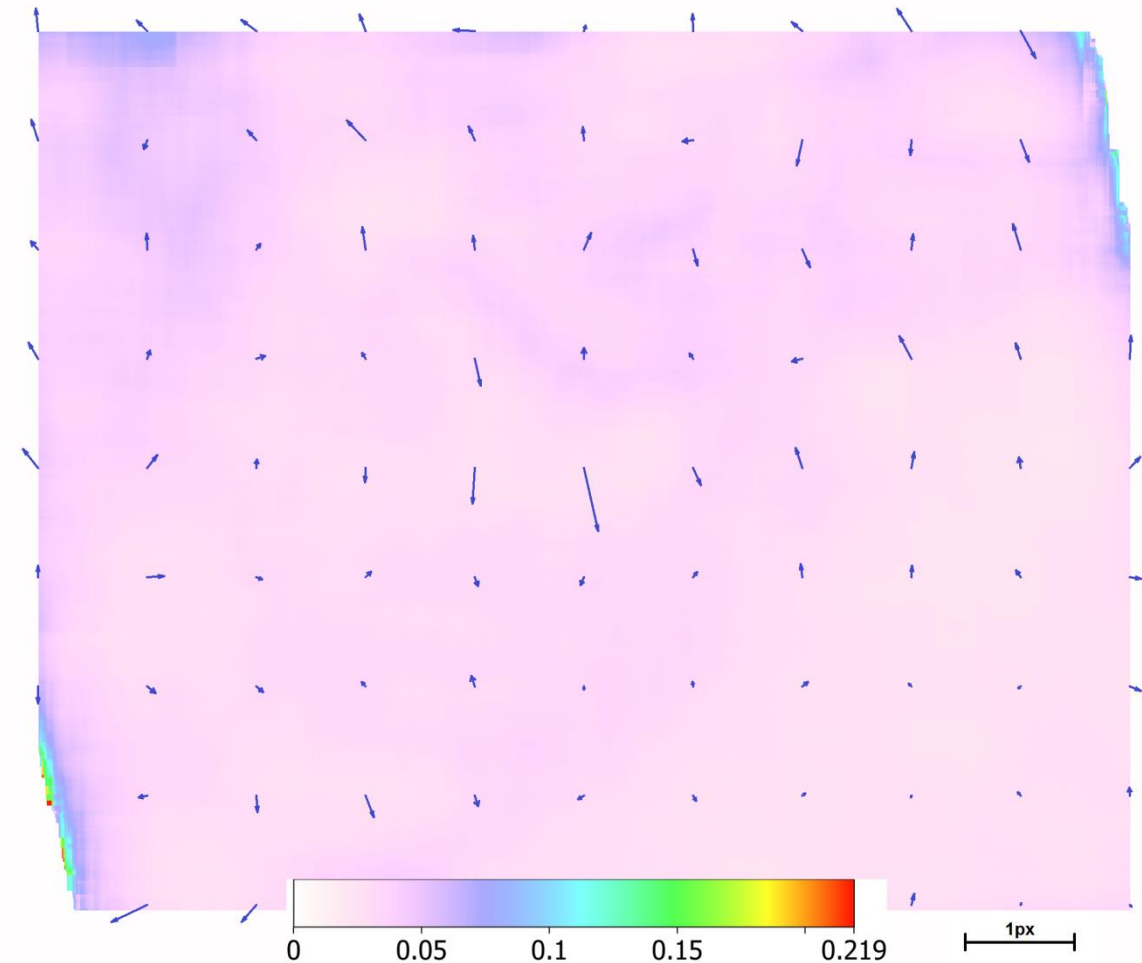
Изображения 4-х мультиспектральных каналов хорошо совмещены (пиксельная точность). Для совмещения мультиспектральных изображений с изображением панхроматической съемки проводилась трансформация, выполняемая аффинным преобразованием. Наблюдаются ошибки совмещения не более двух пикселей (около 1.4м). Максимальные 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!