

Анализ применимости снимков КС ДЗЗ «Канопус-В» для создания ЦММ

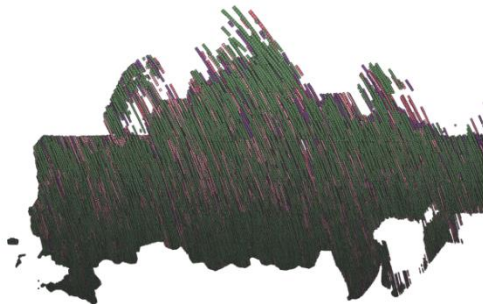
Ромайкин С.В.

Крылов А.В.

Васильев А.И.

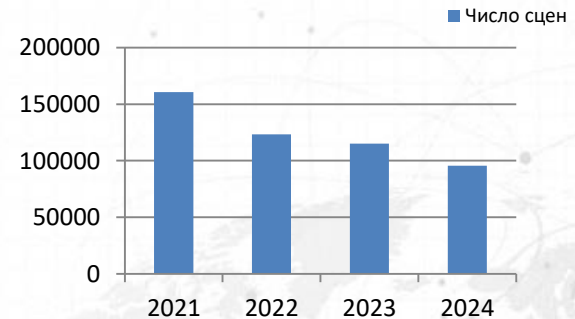
НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы» (Москва, РФ)

1. Существует ряд общедоступных цифровых моделей рельефа (ЦМР). Самыми известными из них являются – SRTM, ALOS и ASTER. На данный момент отсутствуют сведения об отечественной цифровой модели местности (ЦММ) или ЦМР федерального уровня.
2. Особенности устройства съёмочной системы КА «Канопус-В» теоретически обеспечивают возможность построения стерео-модели для микрокадров МСС разных спектральных каналов.
3. Группировка КС ДЗЗ «Канопус-В» за время эксплуатации смогла покрыть съёмкой всю территорию РФ, отдельные участки многократно*.



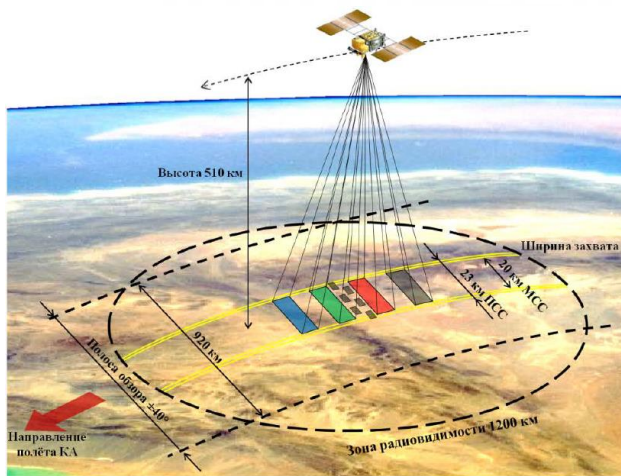
2021 – 2024 год






Распределение сцен по годам

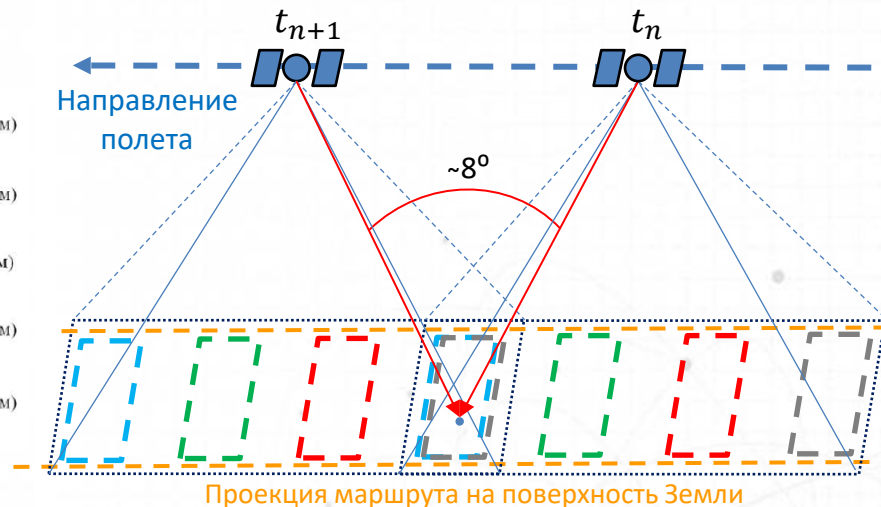


*Руководство пользователя данных ДЗЗ, получаемых космической системой «Канопус-В»

Принцип формирования изображения аппаратурой МСС КА «Канопус-В»



	МСС (0,46...0,52 мкм)
	МСС (0,51...0,60 мкм)
	ПСС (0,54...0,86 мкм)
	МСС (0,63...0,69 мкм)
	МСС (0,75...0,84 мкм)



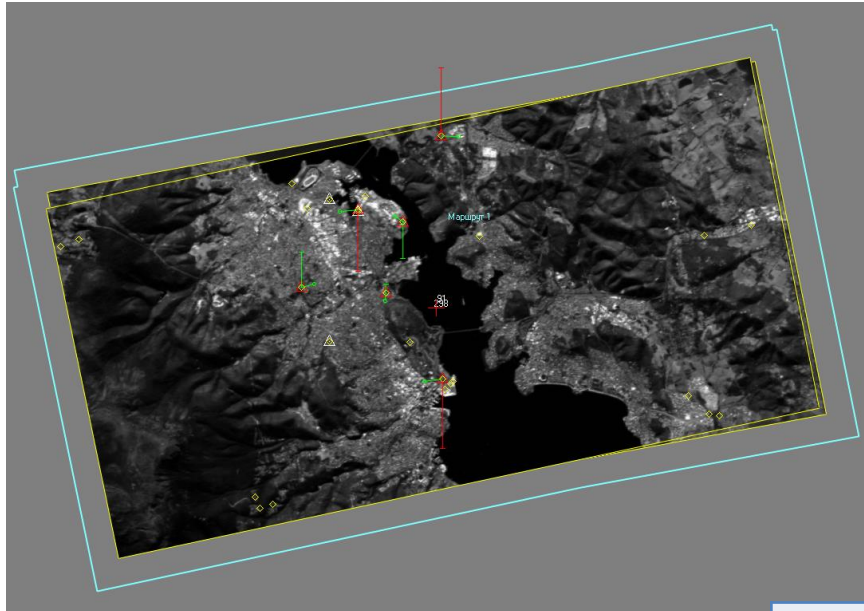
Проекции микрокадров ПСС и МСС на поверхность Земли*

Схема одномаршрутного получения стереопары

Возможность получения стереоэффекта возникает благодаря особенностям расположения спектральных каналов. Для теста были использованы 1 и 4 каналы МСС, обеспечивающие наибольший базис стереопары.

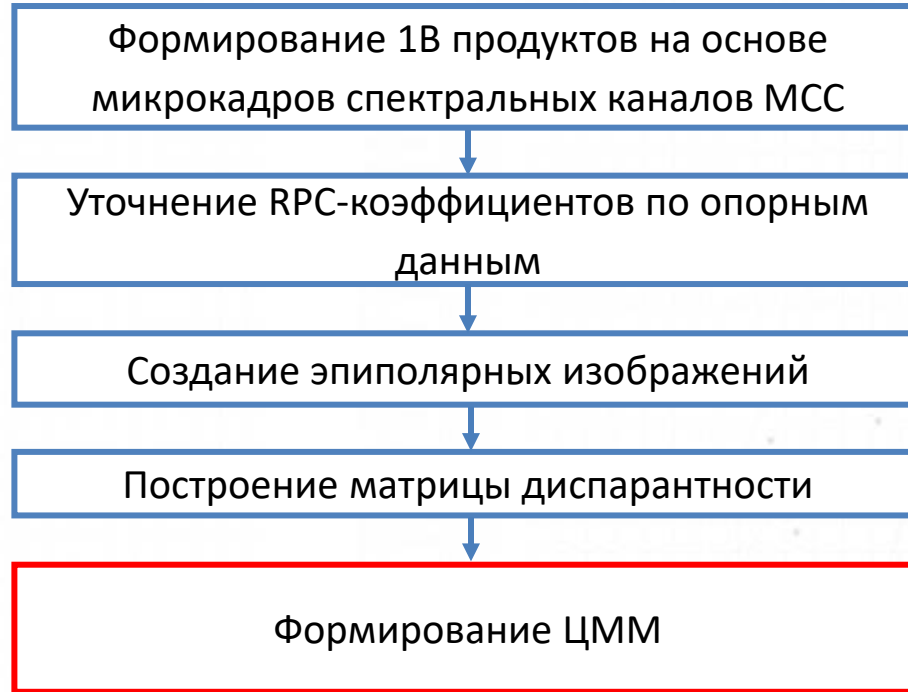
*Руководство пользователя данных ДЗЗ, получаемых космической системой «Канопус-В»

Оценка точности построения стереомодели



Данные: стереопара КА «Канопус-В»
 Аппаратура: МСС (микрокадры 91 и 298)
 Пространственное разрешение: 10 м
 Территория: г. Хобарт (Австралия)
 Опорные данные: каталог опорных точек
 (кафедра геоматики, Мельбурнский
 Университет)

№	dX, м	dY, м	dZ, м	dS, м
1	-4.432	0.217	17.050	4.437
2	4.532	0.393	15.357	4.549
3	2.151	-1.475	9.228	2.609
4	-3.272	-0.885	-8.809	3.389
5	0.129	1.995	-2.207	1.999
6	4.689	0.540	17.428	4.720
СКО	3.594	1.113	12.896	3.763
Ср. модуль	3.201	0.918	11.680	3.617
Макс.	4.689	1.995	17.428	4.720

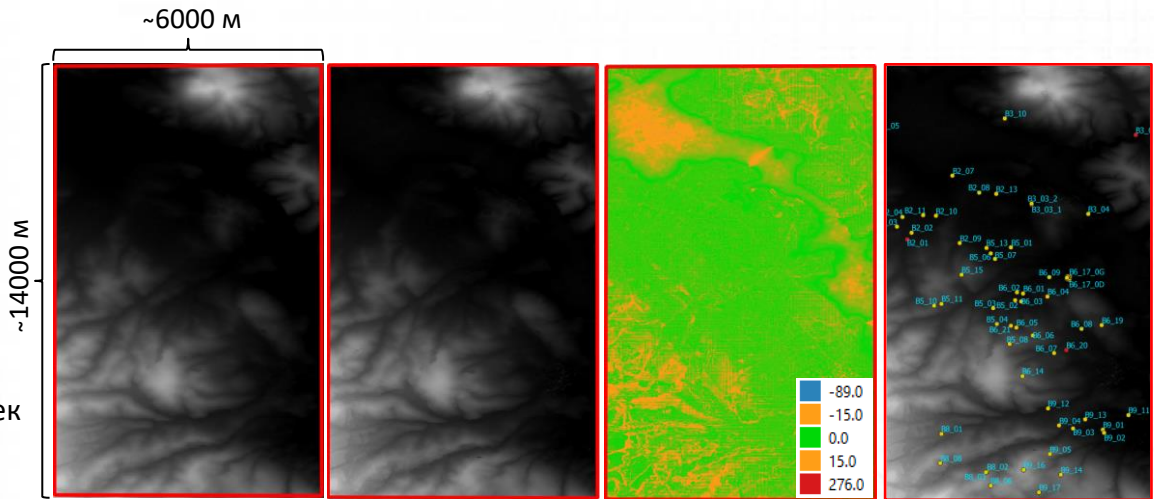


СПО ЦММ

С целью формирования и последующей оценки качества ЦММ было разработано специальное программное обеспечение (СПО), позволяющее решать следующие задачи:

- Построение эпиполярных изображений;
- Расчет матрицы диспаратности;
- Создание плотной ЦММ.

Созданное СПО было верифицировано по данным GeoEye-1, описанному выше каталогу опорных точек и эталонной ЦМР Copernicus DEM.

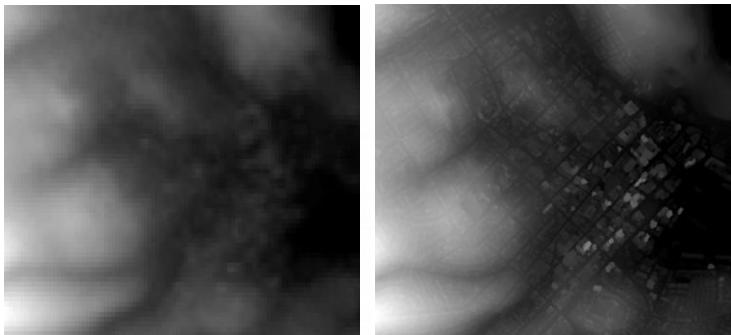


Эталонная ЦМР

Полученная ЦММ

Результирующая матрица (разность эталонной ЦМР и ЦММ)

Опорные точки (более 60)



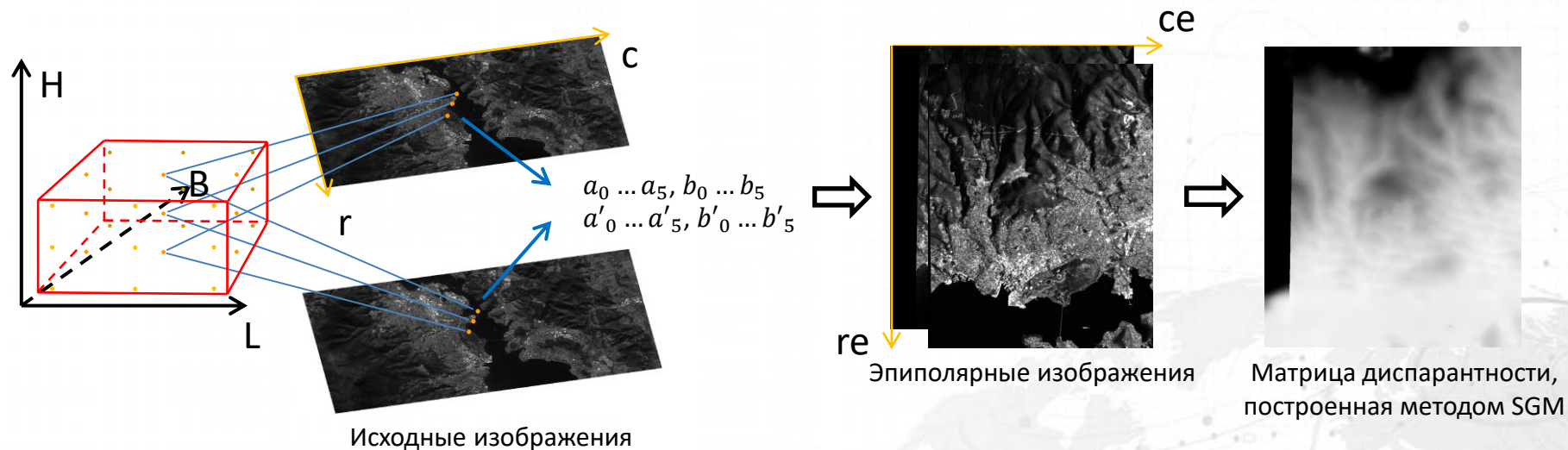
Наличие и отсутствие зданий на ЦММ и ЦМР влияющие на оценки

Характеристика	По эталонной ЦМР	По каталогу опорных точек
СКО	6.663 м	0.64 м
Ср. ошибка	2.985 м	-0.42 м
Макс.	117.853 м	0.56 м

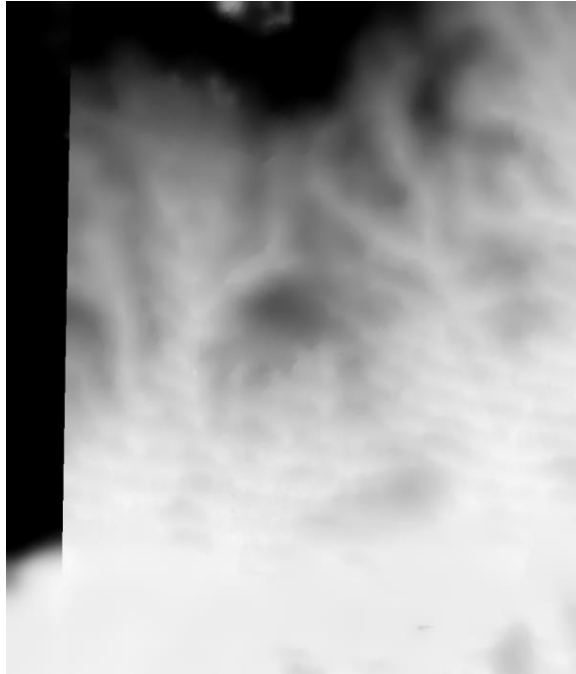
Формирование эпиполярных изображений и матрицы диспарантности

Связь растровых координат эпиполярного и исходного изображений

$$\begin{cases} c = \frac{a'_0 c_e + a'_1 r_e + a'_2}{a'_3 c_e + a'_4 r_e + a'_5} \\ r = \frac{b'_0 c_e + b'_1 r_e + b'_2}{b'_3 c_e + b'_4 r_e + b'_5} \end{cases} \quad \begin{cases} c_e = \frac{a_0 c + a_1 r + a_2}{a_3 c + a_4 r + a_5} \\ r_e = \frac{b_0 c + b_1 r + b_2}{b_3 c + b_4 r + b_5} \end{cases}$$



Формирование ЦММ из матрицы диспарантности



Матрица диспарантности

$c_{e_L}, r_{e_L}, c_{e_R}, r_{e_R}$ $\xrightarrow{\text{green arrow}}$ $a'_0 \dots a'_5, b'_0 \dots b'_5$
 для левого и правого изображения

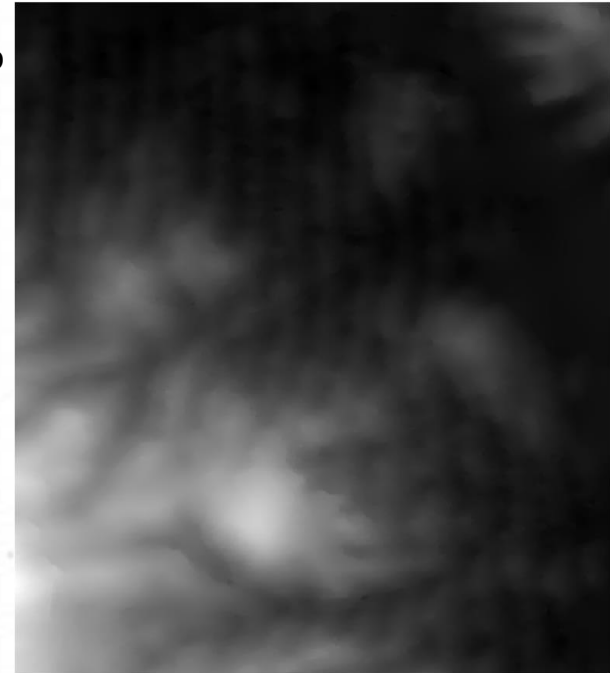
$c_{_L}, r_{_L}, c_{_R}, r_{_R}$



$$\begin{cases} \begin{bmatrix} c_{_L} \\ r_{_L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} RPC_{c_L}(L, B, H) \\ RPC_{r_L}(L, B, H) \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} c_{_R} \\ r_{_R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} RPC_{c_R}(L, B, H) \\ RPC_{r_R}(L, B, H) \end{bmatrix} \end{cases}$$

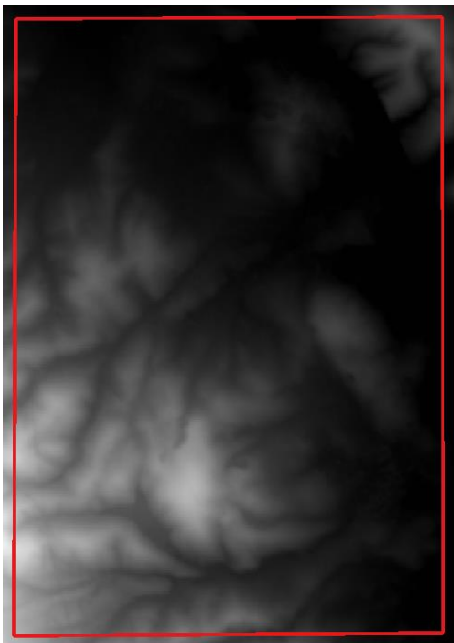


L, B, H $\xrightarrow{\text{green arrow}}$

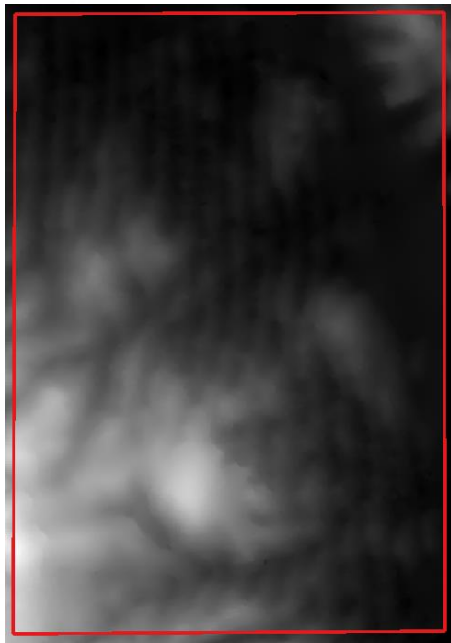


ЦММ

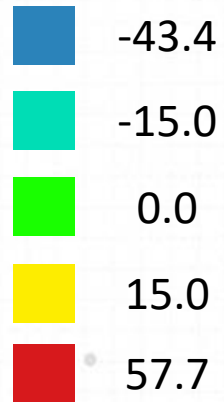
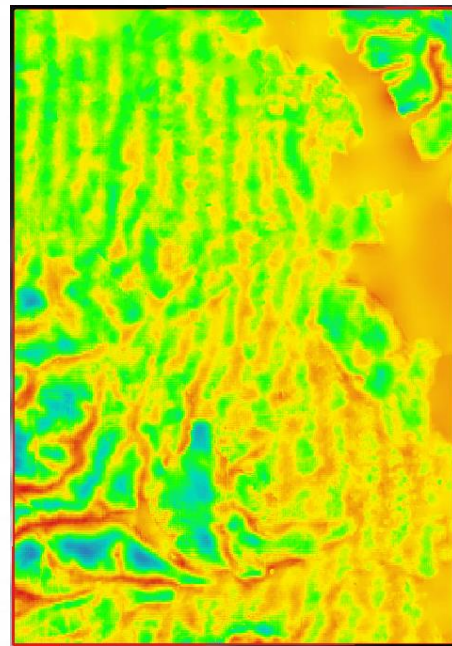
Оценка полученной ЦММ относительно SRTM



SRTM



ЦММ



Матрица разница

СКО	11.306
Ср. ошибка	12.784
Макс.	57.727

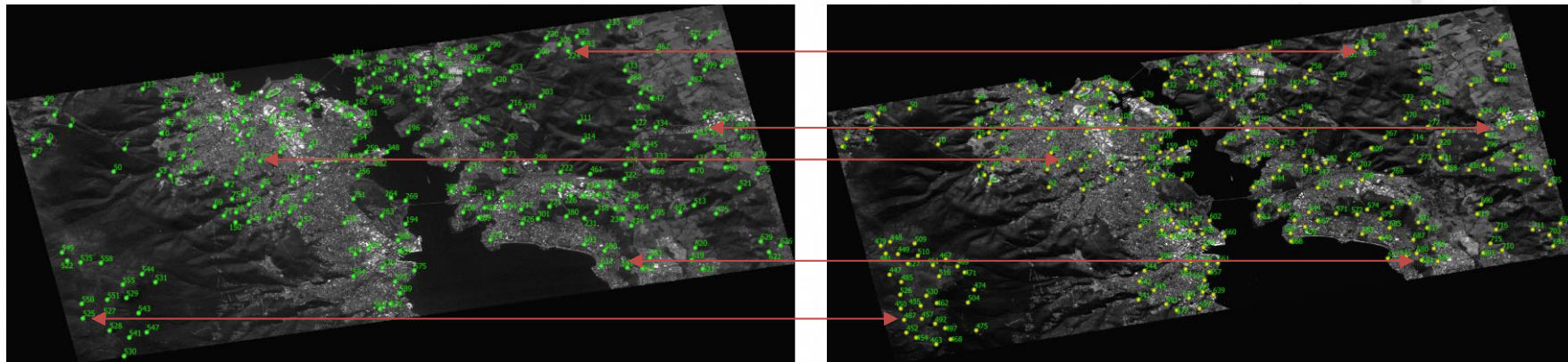
Уточнение RPC микрокадров по автоматически найденным опорным точкам

Проблемные вопросы уточнения RPC:

1. Для построения ЦММ требуются высокоточные опорные данные
2. Стандартная обработка данных КА «Канопус-В» предусматривает уточнение параметров геоуточнения на основе опорных покрытий зарубежных КА ДЗЗ
3. Разнообразие автоматически найденных опорных точек не обеспечивает согласование данных для стерео измерений после уточнения RPC

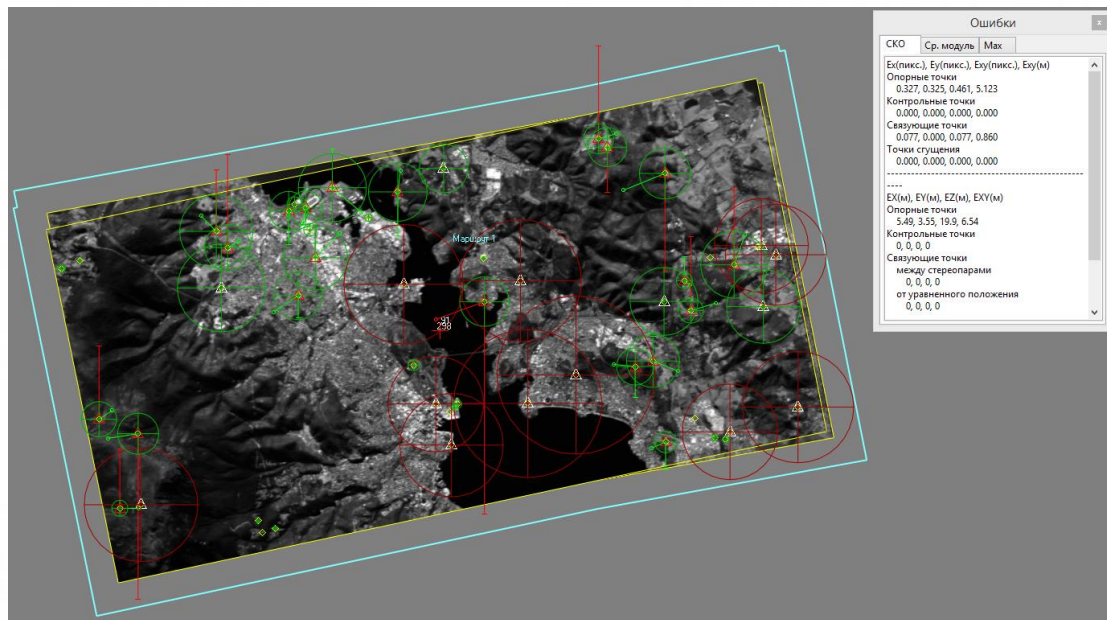
Алгоритм уточнения RPC микрокадров:

1. Сопоставление каждого микрокадра с опорным изображением
2. Измерение высоты для найденных опорных точек на основе SRTM
3. Уточнение RPC для каждого микрокадра на основе одноименных точек на микрокадрах



Пример отбора одноименных точек микрокадров

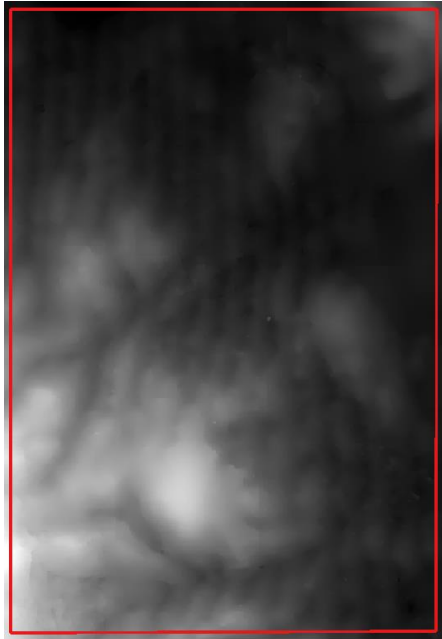
В данном случае число общих точек составило 36 из более 400 точек для двух микрокадров. Из них в обработку была взята 21 точка.



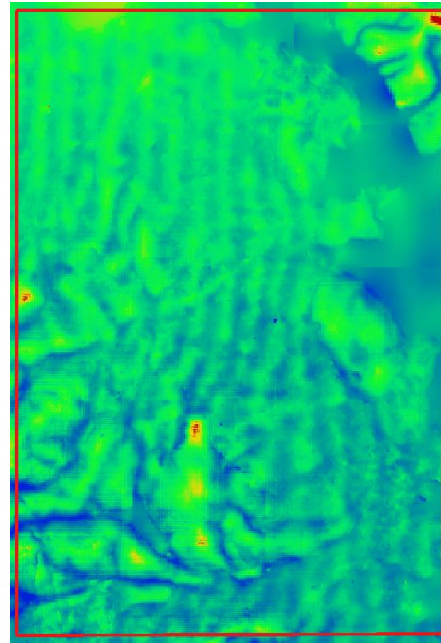
Точность ориентирования составила:

- СКО $x = 5.492$ м, $y = 3.554$ м, $z = 19.865$ м;
- Средний модуль $x = 4.541$ м, $y = 2.885$ м, $z = 15.668$ м;
- Макс. Ошибка $x = 12.017$ м, $y = 7.323$ м, $z = 52.824$ м;

Автоматически построенная ЦММ

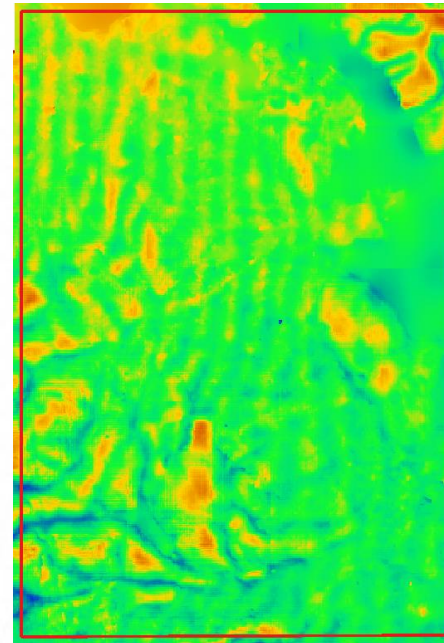
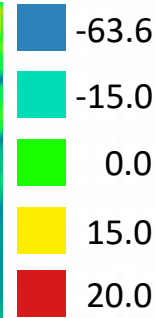


ЦММ



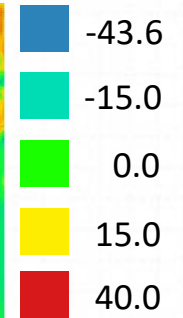
Матрица разница
(до устранения систематической ошибки)

СКО	11.316
Средн.	-21.482
Макс.	19.444



Матрица разница

СКО	11.316
Средн.	-1.482
Макс.	39.444



Сравнения использования различных опорных данных для автоматического построения ЦММ

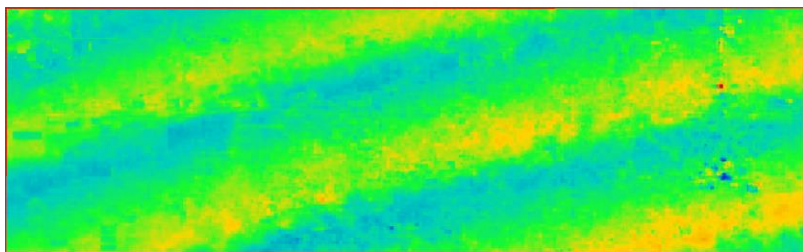
Такой же эксперимент был проведен для территории с равнинным рельефом – г. Финикс (США)



SRTM

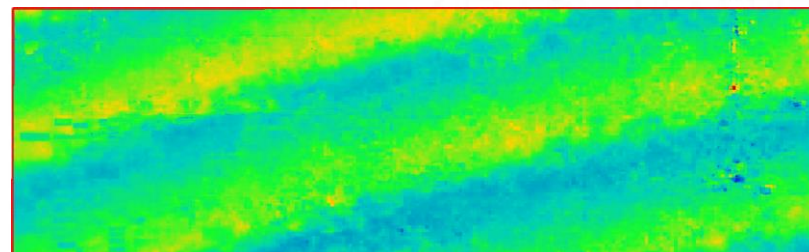
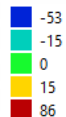


ЦММ



Матрица разница (опорные данные Google Earth)

СКО	9.443 м
Средн.	-1.912 м
Макс.	83.455 м



Матрица разница (опорные данные Planet)

СКО	9.743 м
Средн.	-5.202 м
Макс.	81.360 м

Заключение

В рамках эксперимента были построены ЦММ на основе стереопар одномаршрутных микрокадров 1 и 4 спектральных каналов МСС КА «Канопус-В» №3. На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- Получение информации о рельефе с использованием таких данных возможно;
- Оценка точности получения высоты по SRTM составляет 9 – 15 м (1-1.5 пикс.);
- Эксперименты по использованию опорных данных различной точности показали, что оценки ошибок высотного положения ячеек построенных ЦММ различались только в значениях систематической составляющей;
- На полученных ЦММ отчетливо видны волнообразные перепады высот в пределах 13-15 метров. Ранее похожие явления были отмечены в экспериментах Некрасова В.В.* Их генезис необходимо установить.

** Обработка данных КА «Канопус-В» в пакете Erdas Imagine // Конференция пользователей Hexagon Россия 2014 Москва, 30 апреля 2014 г. Некрасов В.В.*

Спасибо за внимание!

