

# Разработка программных технологий обработки данных малого космического аппарата высокого разрешения на основе модельных данных

Марков А.Н., Васильев А.И.,

Крылов А.В., Ромайкин С.В., Скачков А.М.,

Воронков Н.В., Козырев Н.А.

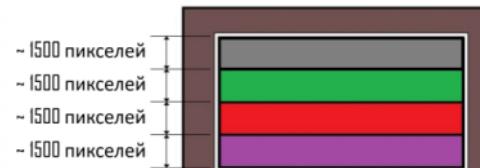
НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы» (Москва, РФ)



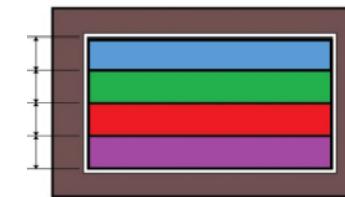
# Общие сведения о МКА-ВР

## Характеристики МКА-ВР

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| Высота орбиты, км                | 500  |
| Полоса захвата, км               | 12   |
| Проекция пикселя на местность, м | 0,53 |
| Максимальная длина маршрута, км  | 440  |



Расположение спектральных фильтров на ФПУ для варианта 1



Расположение спектральных фильтров на ФПУ для варианта 2

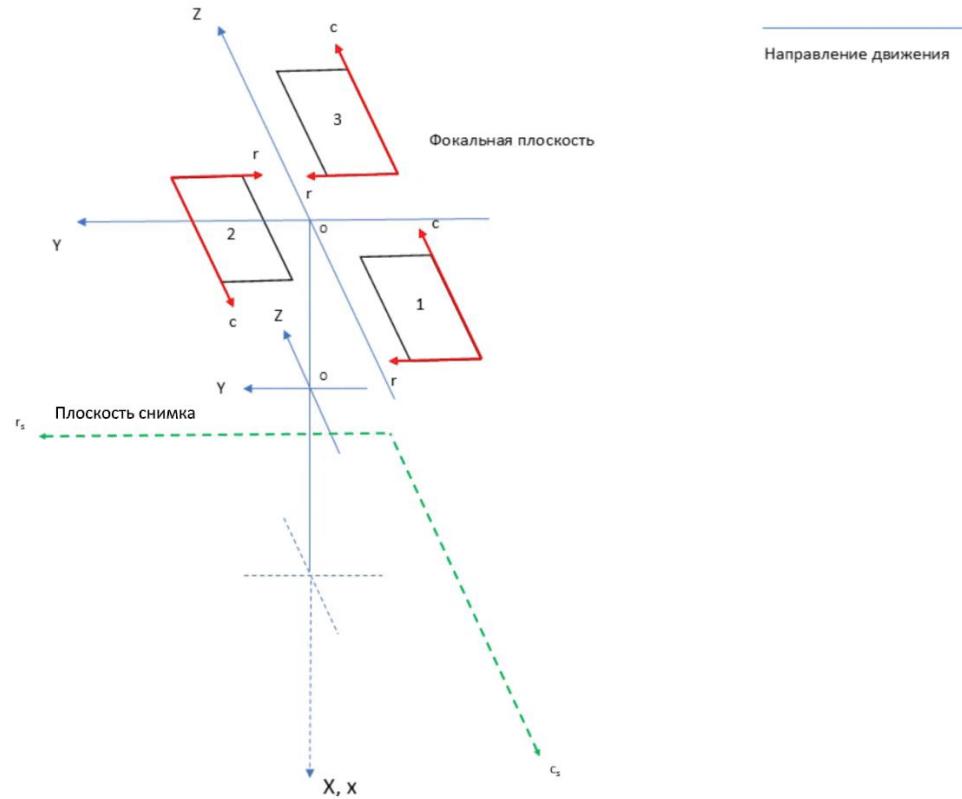
0.45-0.52 мкм  
0.52-0.60 мкм  
0.63-0.69 мкм  
0.77-0.89 мкм

## Характеристики съемочной системы МКА-ВР

|   |   |                          |            |
|---|---|--------------------------|------------|
| Число матриц                              | 3   | Разрешение матрицы, пикс | 8424x6032  |
| Число спектральных каналов                | 4   | Тип затвора              | Глобальный |
| Возможные комбинации спектральных каналов | <p><b>1:</b> 0.5-0.8 мкм (PAN),<br/>0.51-0.58 мкм (G),<br/>0.63-0.69 мкм (R),<br/>0.77-0.89 мкм (NIR)</p> <p><b>2:</b> 0.45-0.52 мкм (B),<br/>0.52-0.60 мкм (G),<br/>0.63-0.69 мкм (R),<br/>0.77-0.89 мкм (NIR)</p> | Размер пикселя, мкм      | 4,6x4,6    |
|   |   | Фокусное расстояние, мм  | 4300       |
| Режимы съемки                             | Объектовая,<br>маршрутная,<br>площадная, стерео   | Такт съемки, сек         | 0,1        |

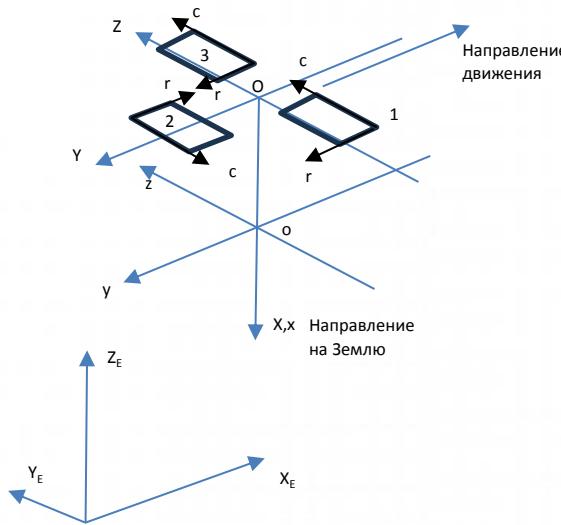
# Схема формирования изображений МКА-ВР

0.0

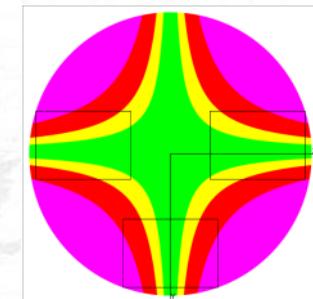
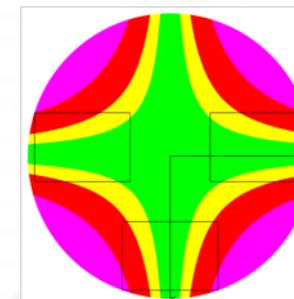
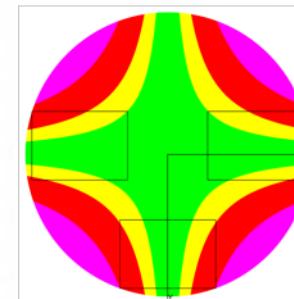
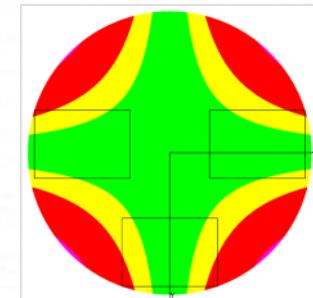
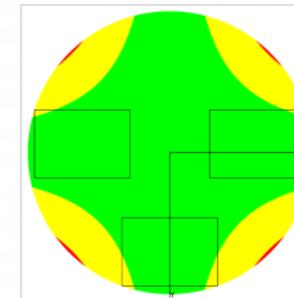
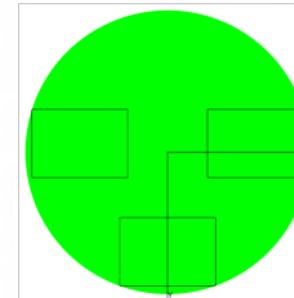


# Исследование проблемных вопросов конструкции съемочной системы

В съемочной системе МКА-ВР для повышения времени экспозиции описана технология перемещения платформы матрицы по оси Y в фокальной плоскости. При этом заявленные параметры и характер дисторсии объектива допускают смаз по полю фокальной плоскости.



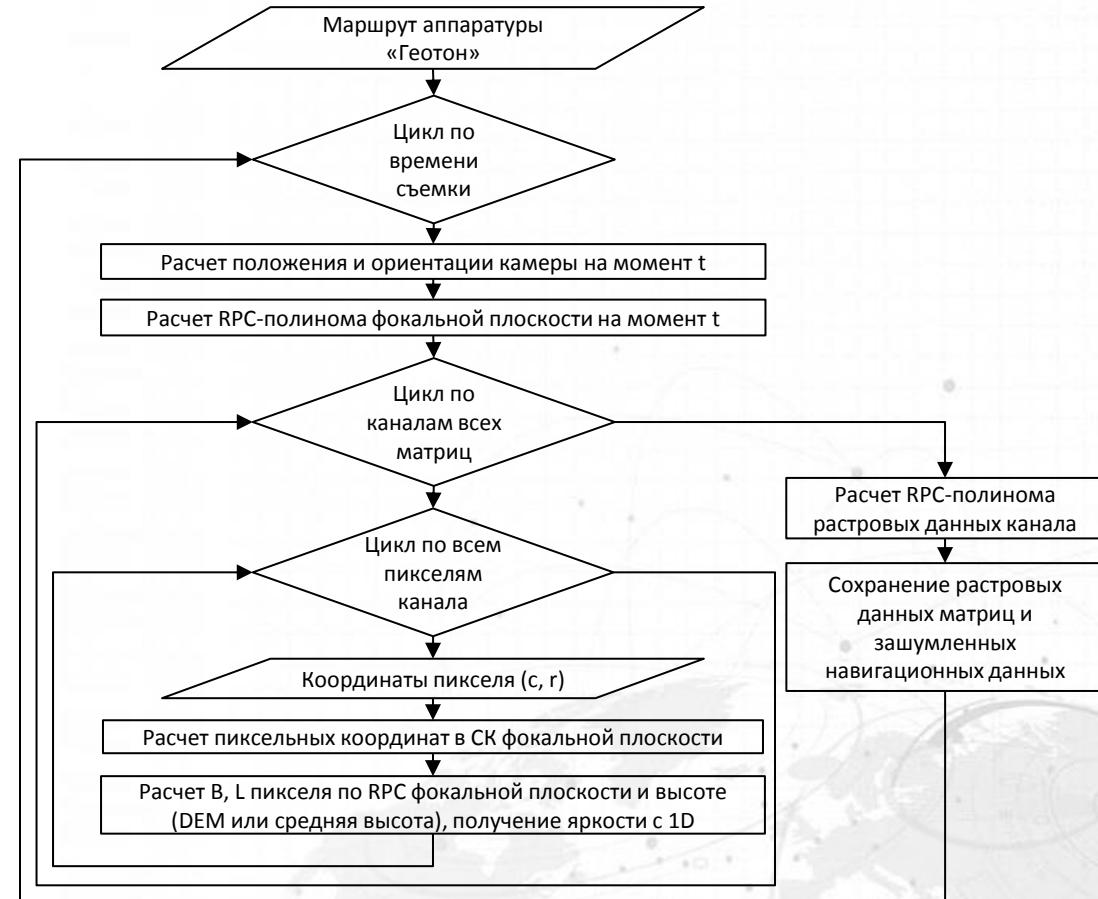
| Диапазон смещения в пикселях | Цвет      |
|------------------------------|-----------|
| От 0 до 0.5                  | Зеленый   |
| От 0.5 до 1.0                | Желтый    |
| От 1.0 до 2.0                | Красный   |
| Более 2.0                    | Малиновый |



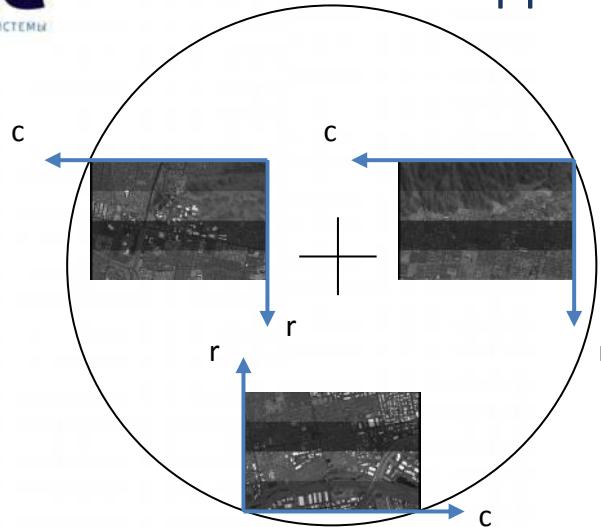
# Алгоритм моделирования данных съемки

Исходные данные:

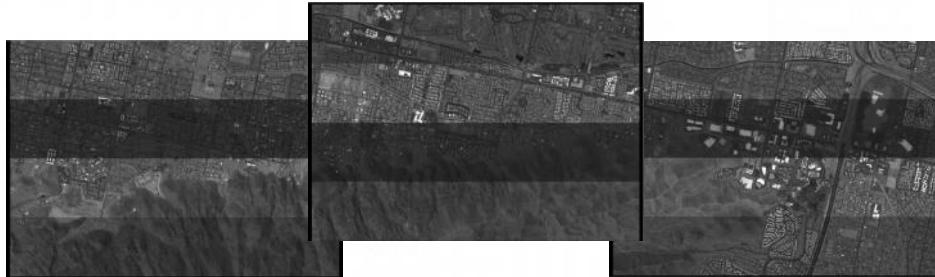
1. такт работы камеры в секундах;
2. начальное время;
3. конечное время;
4. модель линейного движения;
5. модель углового движения;
6. растровые данные с аппаратуры «Геотон», каналов PAN, R, G, B, NIR;
7. ЦМР или средняя высота территории интереса.



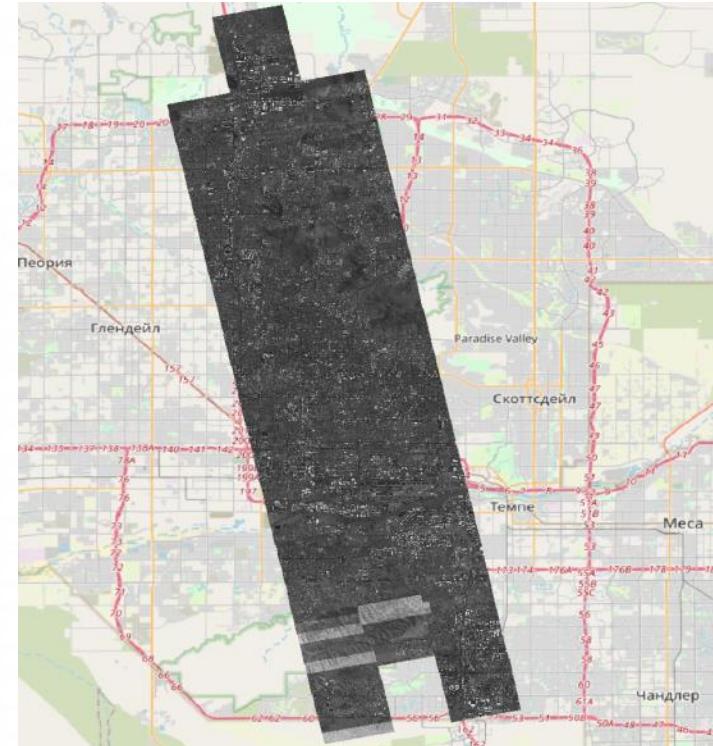
## Моделирование данных съемки



## Пример одного включения (Уровень L0)

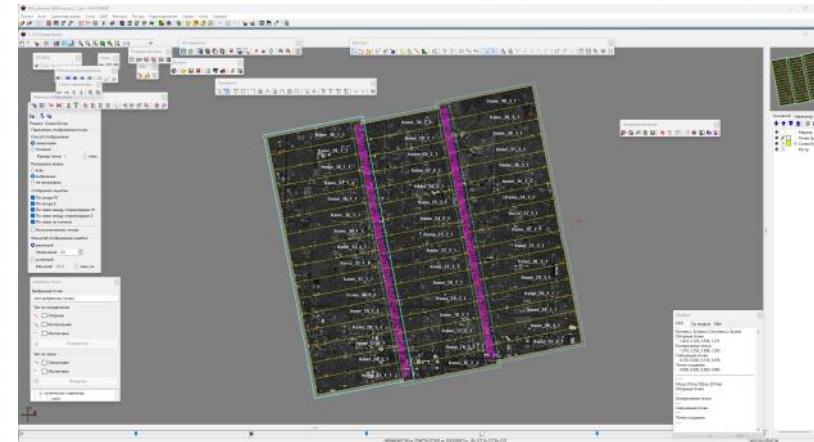
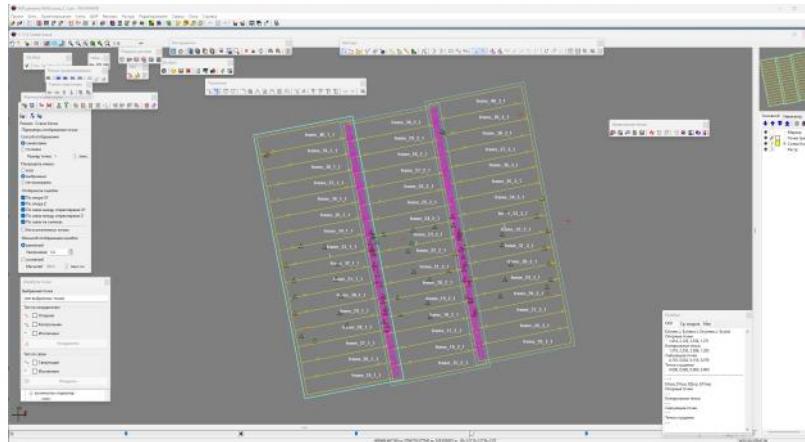


## Пример полосы из матриц 1, 2, 3 (Уровень L0)



## Пример маршрута (Уровень L1B)

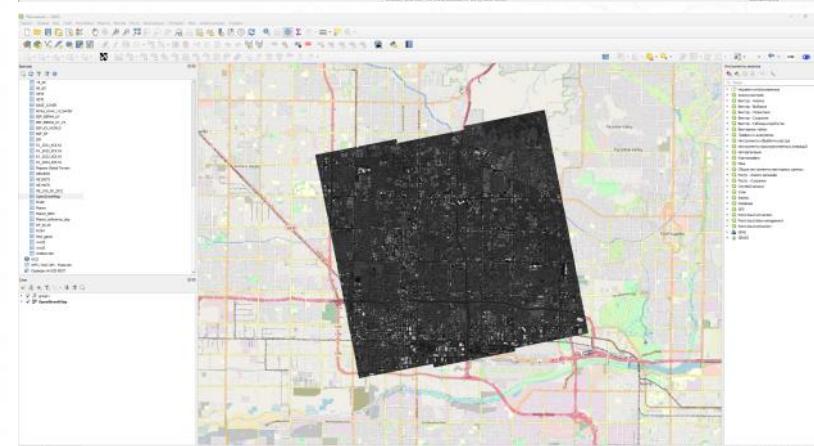
# Выбор подхода к фотограмметрической обработке



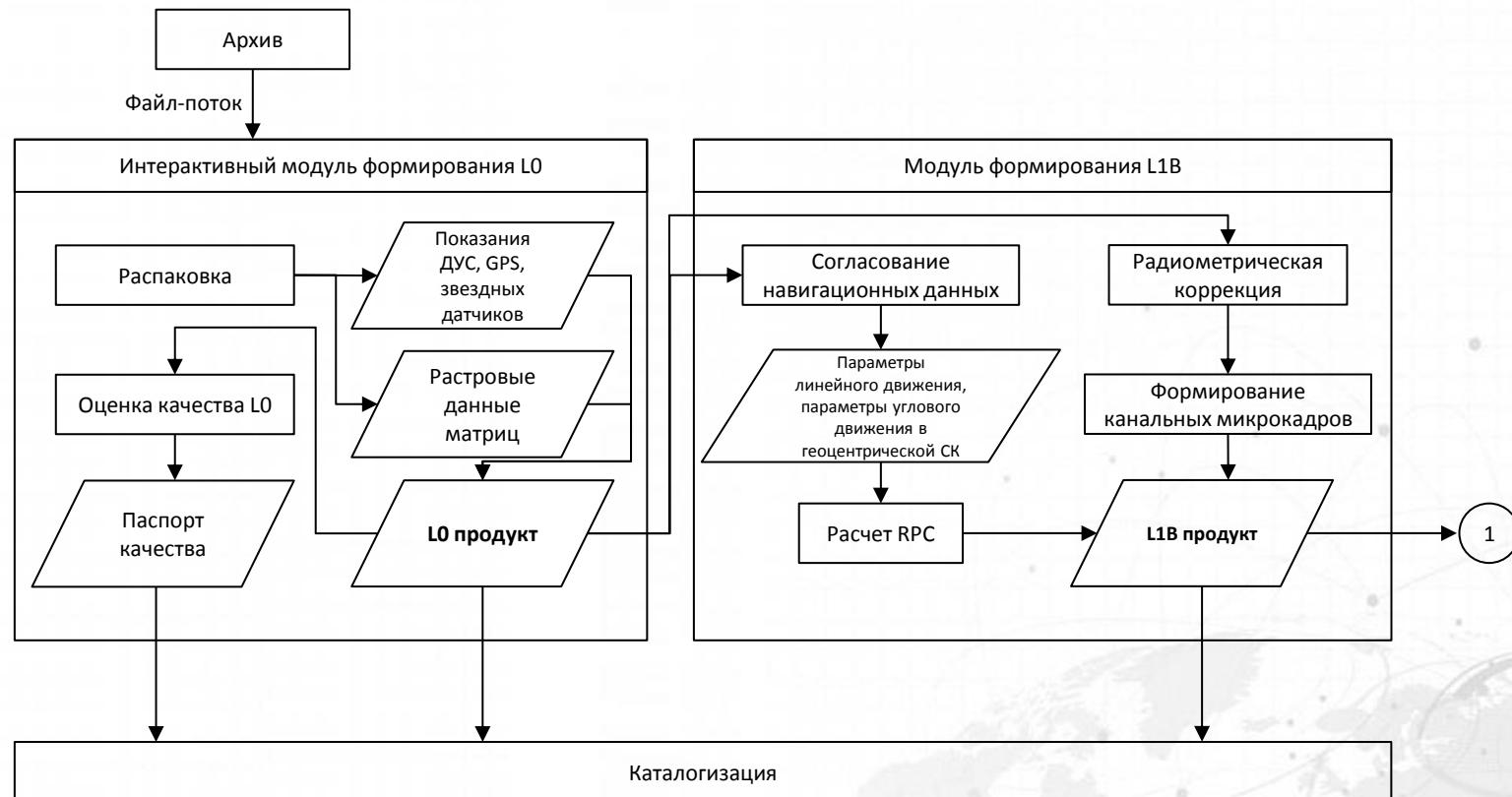
Метод уравнивания RPC + сдвиг (ПО Photomod 7)

|                         |      |
|-------------------------|------|
| Число опорных точек     | 5    |
| Число контрольных точек | 78   |
| Число связующих точек   | 1590 |

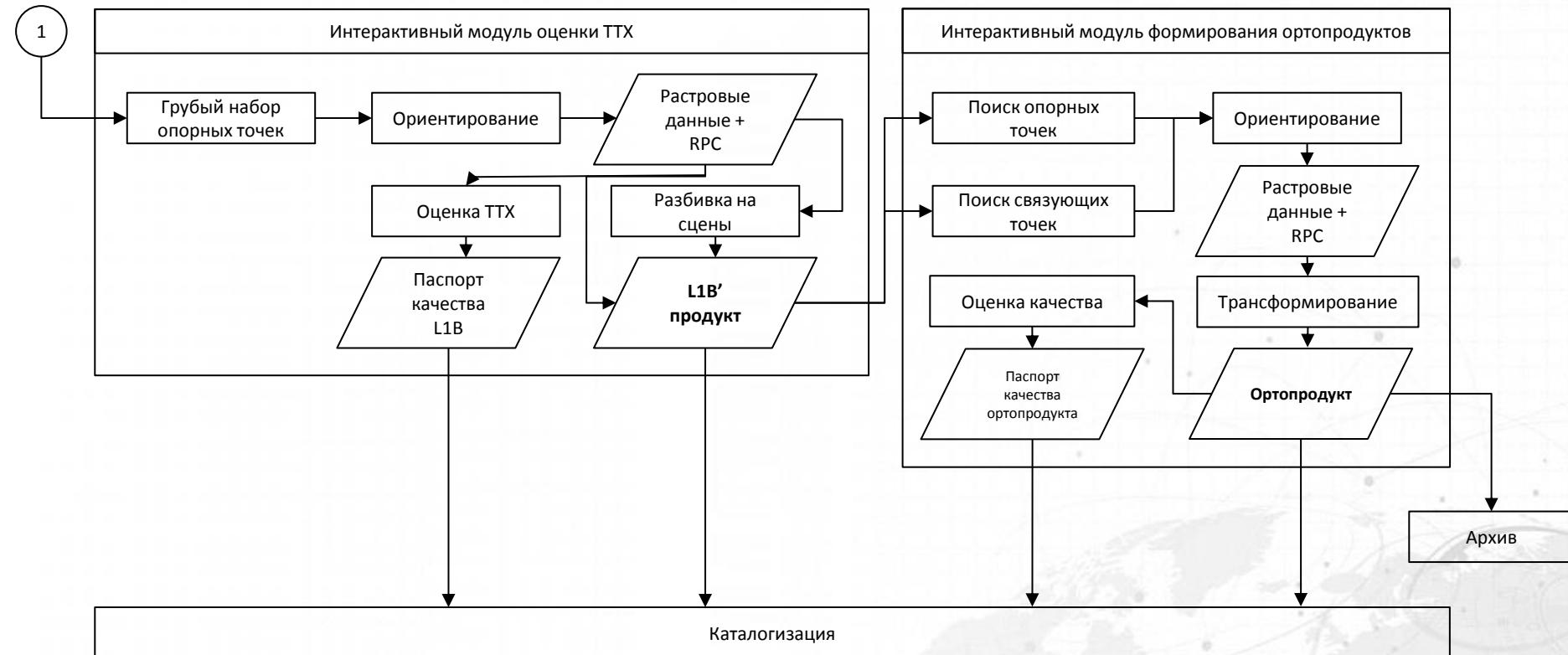
| Результаты уравнивания       | x, пикс | y, пикс | xy, пикс | xy, м |
|------------------------------|---------|---------|----------|-------|
| Ошибка на опорных точках     | 1,414   | 2,129   | 2,556    | 1,271 |
| Ошибка на контрольных точках | 1,319   | 2,250   | 2,586    | 1,283 |
| Ошибка на связующих точках   | 0,155   | 0,002   | 0,155    | 0,076 |



# Схема технологии интерактивной обработки и оценки качества данных МКА-ВР

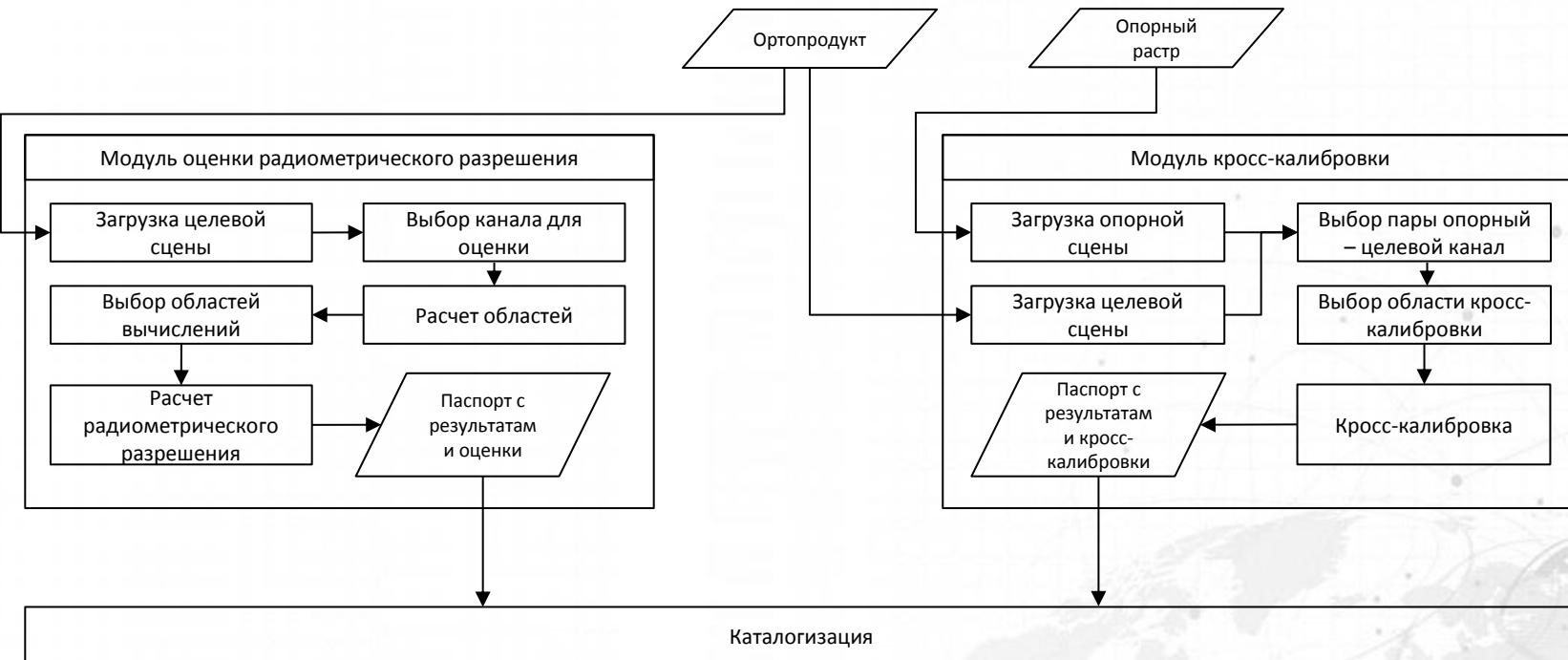


# Схема технологии интерактивной обработки и оценки качества данных МКА-ВР



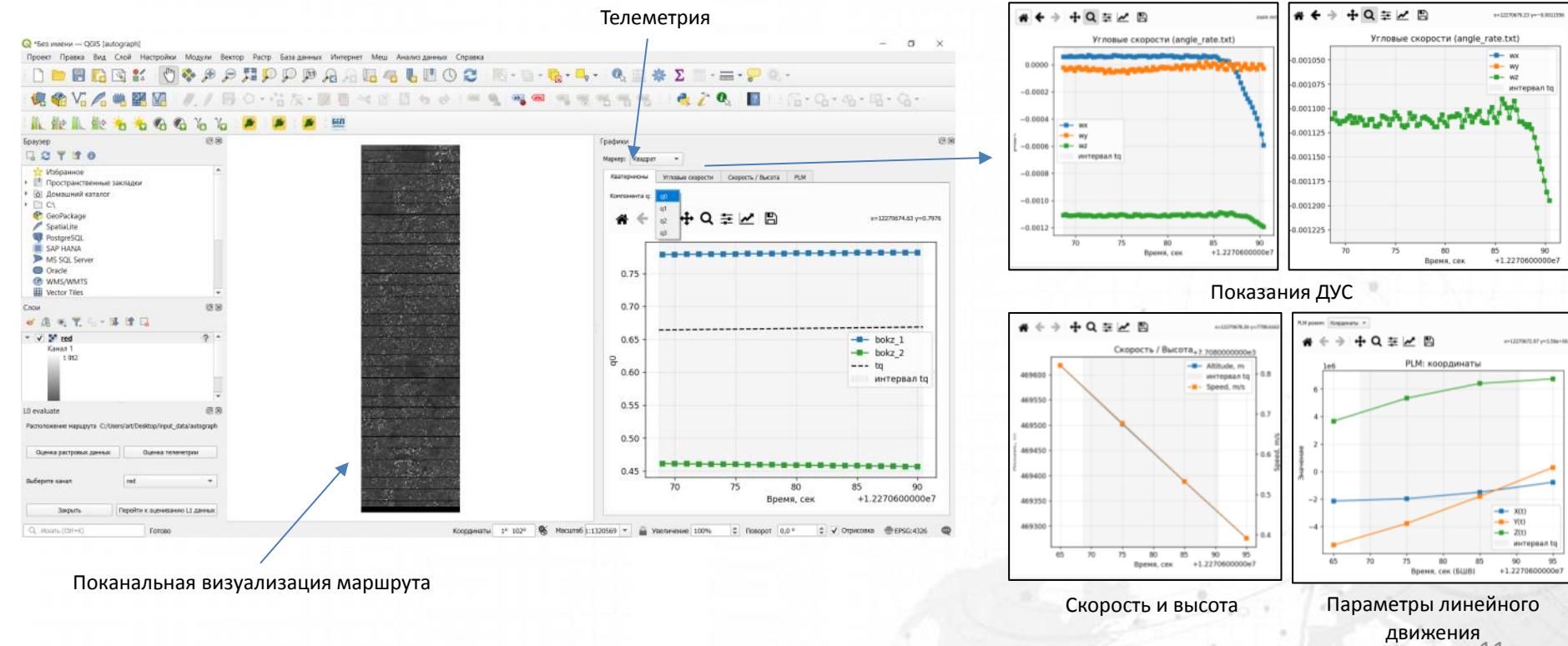
# Схема технологии интерактивной обработки и оценки качества данных МКА-ВР

Также в схему интерактивной обработки входят модули кросс-калибровки и оценки радиометрического разрешения. Данные модули используются не для каждой сцены, а с определенной периодичностью, поэтому рассматриваются отдельно.



# Модуль формирования и оценки LO

Все модули интерактивной схемы обработки данных МКА-ВР реализованы в виде плагинов ГИС QGIS. Данный модуль позволяет произвести распаковку, выполнить первичную оценку характеристик маршрута, а также визуализировать растровые данные.



# Модуль оценки качества L1B

Оценка GSD



Оценка габаритов маршрута

Оценка LRM

Полоса захвата: Прекрасный пиксель, LRM и SNR, Динамический диапазон

Выберите слой: blue

Значения GSD для файлов

0.550000  
0.540000  
0.530000  
0.520000  
0.510000

График LRM

Полоса захвата: Прекрасный пиксель, LRM и SNR, Динамический диапазон

Выберите слой: blue

Ширина: 1300.2541

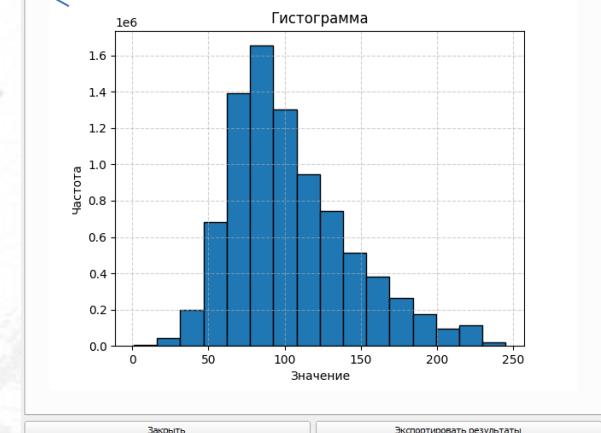
Высота: 2405.044

Полоса захвата: Прекрасный пиксель, LRM и SNR, Динамический диапазон

Выберите слой: blue

Оценить

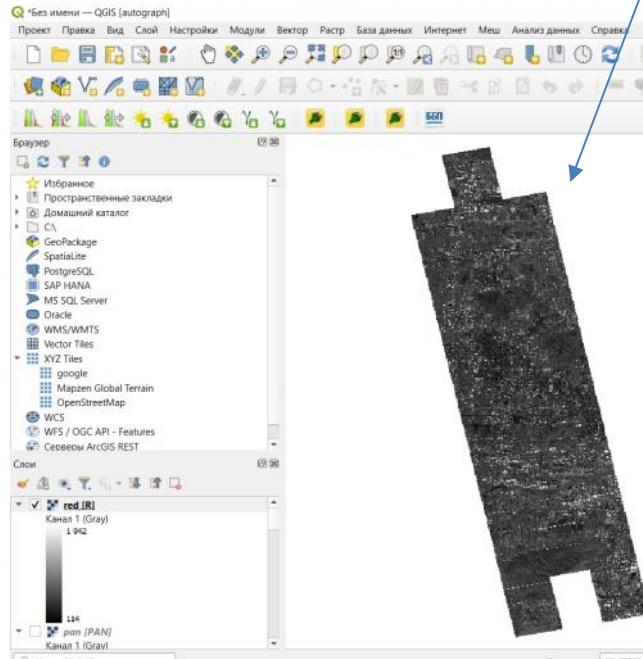
| микрокадр      | тип данных | динамический диапазон по мин./макс. | динамический диапазон по гистограммам по 35Т1 | Экспозиция |                    |
|----------------|------------|-------------------------------------|---|------------|--------------------|
| _1_28_2        | 8          | 8                                   | 7   | 7          | overexposed        |
| _1_26_2        | 8          | 8                                   | 7   | 7          | normal             |
| _2_28_2        | 8          | 8                                   | 7   | 8          | overexposed        |
| _0_26_2        | 8          | 8                                   | 8   | 8          | overexposed        |
| <b>_0_27_2</b> | <b>8</b>   | <b>8</b>                            | <b>8</b>                                      | <b>8</b>   | <b>overexposed</b> |
| _1_24_2        | 8          | 8                                   | 6   | 7          | normal             |
| _0_25_2        | 8          | 8                                   | 8   | 8          | overexposed        |
| _0_23_2        | 8          | 8                                   | 7   | 8          | overexposed        |



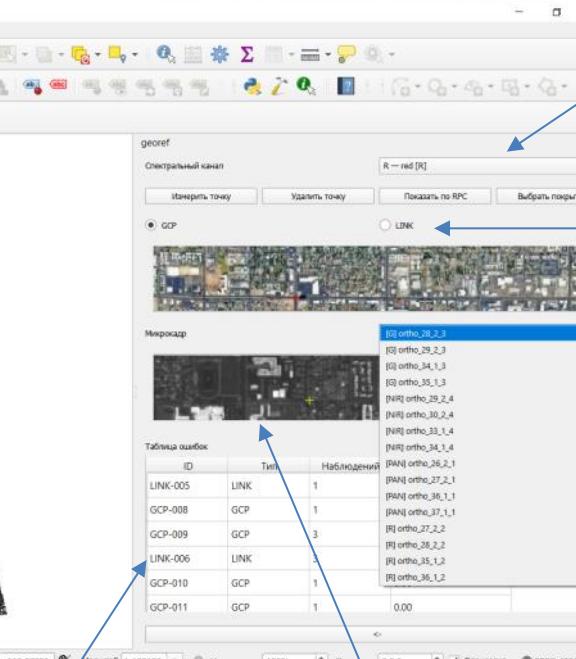
Оценка экспонометрии

# Модуль геодезического ориентирования

Предварительный монтаж маршрута



Выбор спектрального канала



Выбор опорного покрытия

Выбор типа измеряемой точки

Опорное покрытие

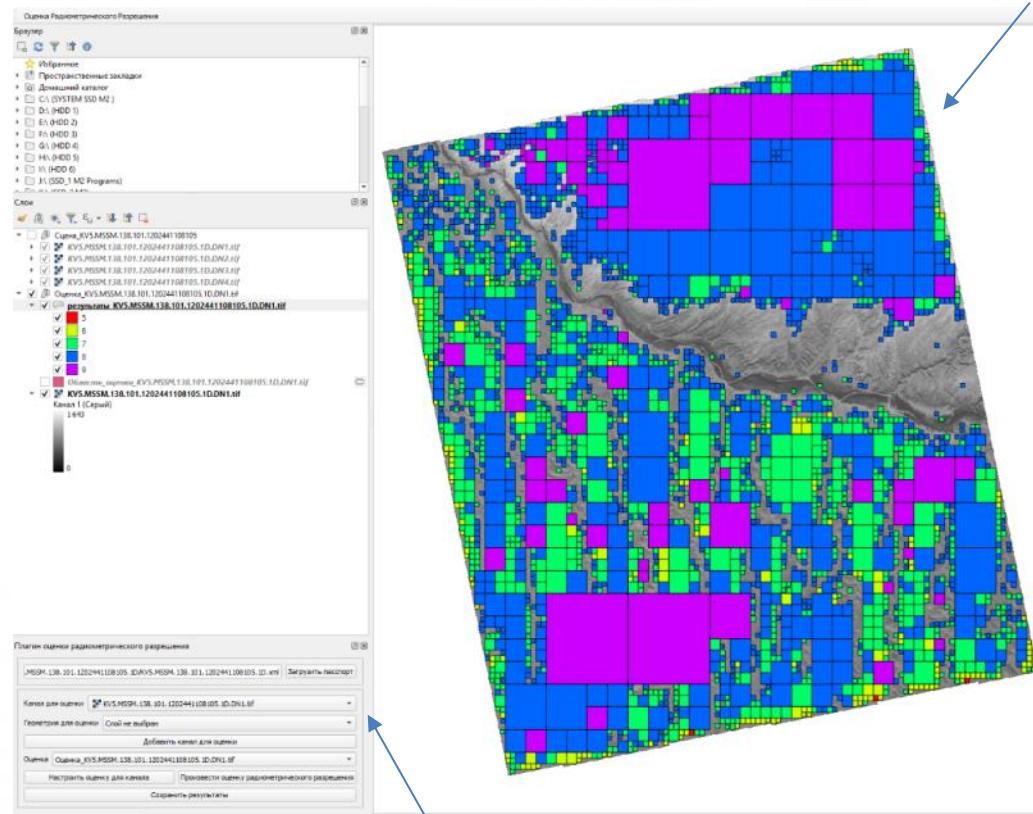
Выбор изображения для измерения

Таблица измерений точек

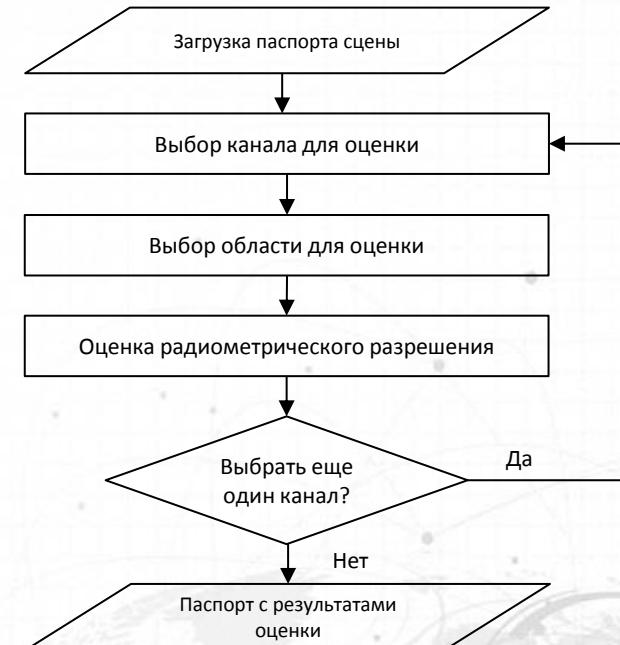
| ID       | Тип  | Наблюдения |
|----------|------|------------|
| LINK-005 | LINK | 1          |
| GCP-008  | GCP  | 1          |
| GCP-009  | GCP  | 3          |
| LINK-006 | LINK | 2          |
| GCP-010  | GCP  | 1          |
| GCP-011  | GCP  | 0.00       |

Активное изображение

## Модуль оценки радиометрического разрешения

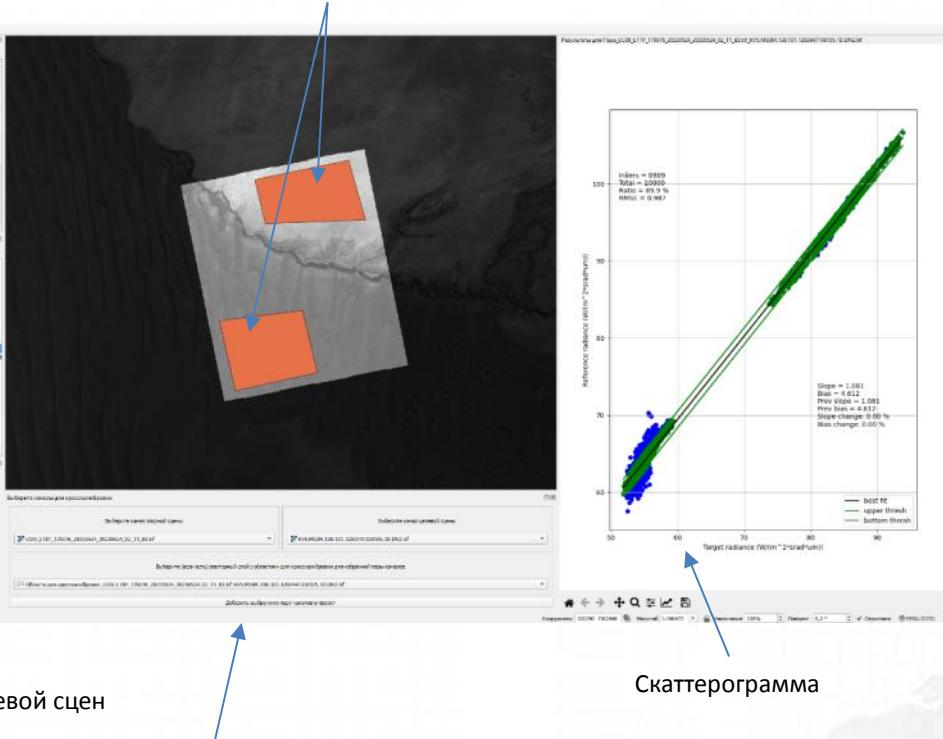


## Выбор канала и области оценки



# Модуль кросс-калибровки

## Области для кросс-калибровки



Выбор опорной и целевой сцен

Выбор каналов опорной и целевой сцен

Скаттерограмма

Загрузка паспорта опорной сцены

Загрузка паспорта целевой сцены

Выбор пары опорный – целевой канал

Выбор области для кросс-калибровки

Кросс-калибровка

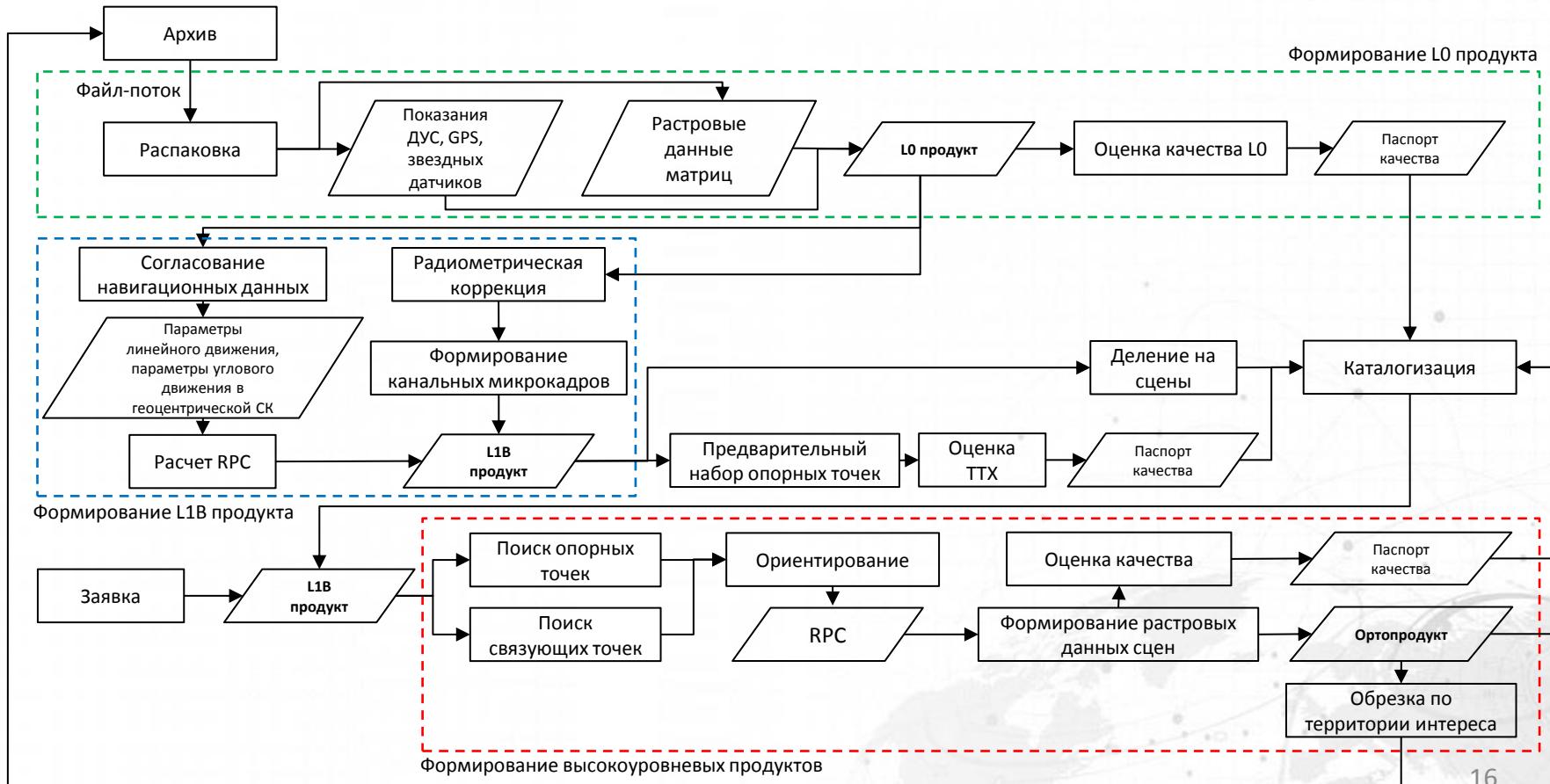
Выбрать еще одну пару?

Да

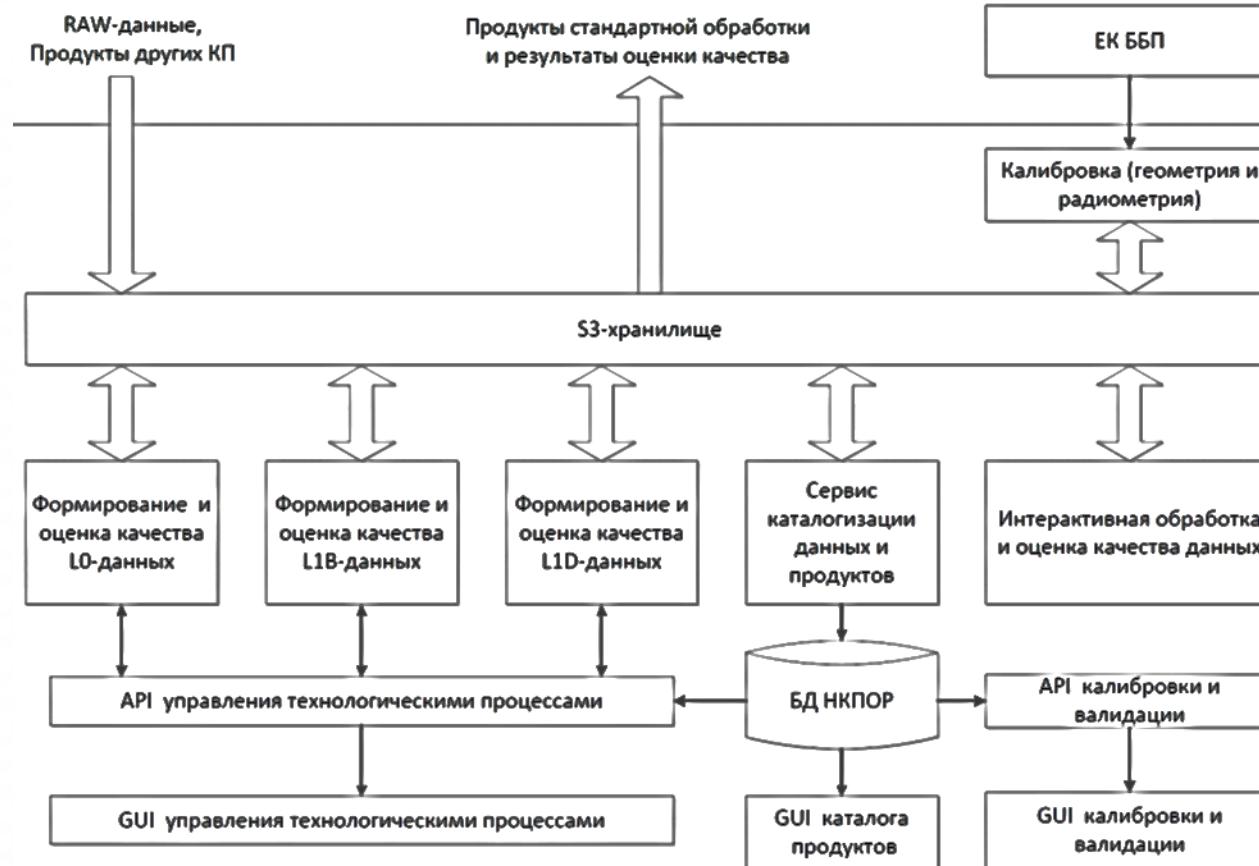
Нет

Паспорт с результатами кросс-калибровки

# Схема технологии потоковой обработки и оценки качества данных МКА-ВР



# Идеологическая схема портирования технологии на средства в КВР ЦОД



## Основные результаты

- Разработан подход моделирования данных МКА-ВР с учетом специфики съемочной системы аппарата на основе данных космического аппарата «Ресурс-П» съемочной аппаратуры «Геотон»;
- На основе предварительных данных и результатах моделирования выявлены возможные проблемы съемочной системы;
- Разработаны схемы технологий стандартной интерактивной и автоматической обработки данных МКА-ВР соответствующих уровням:
  1. Распаковка данных сброса, анализ качества навигационных и растровых данных (уровень L0);
  2. Формирование канальных микрокадров, радиометрическая коррекция, расчет RPC (уровень L1B);
  3. Формирование трансформированных в картографическую проекцию изображений сцен съемки на основе множества микрокадров маршрута с учетом высоты местности (средняя высота, ЦМР).
- Реализованы алгоритмы интерактивной и автоматической оценки качества различных уровней обработки.

Спасибо за внимание!