



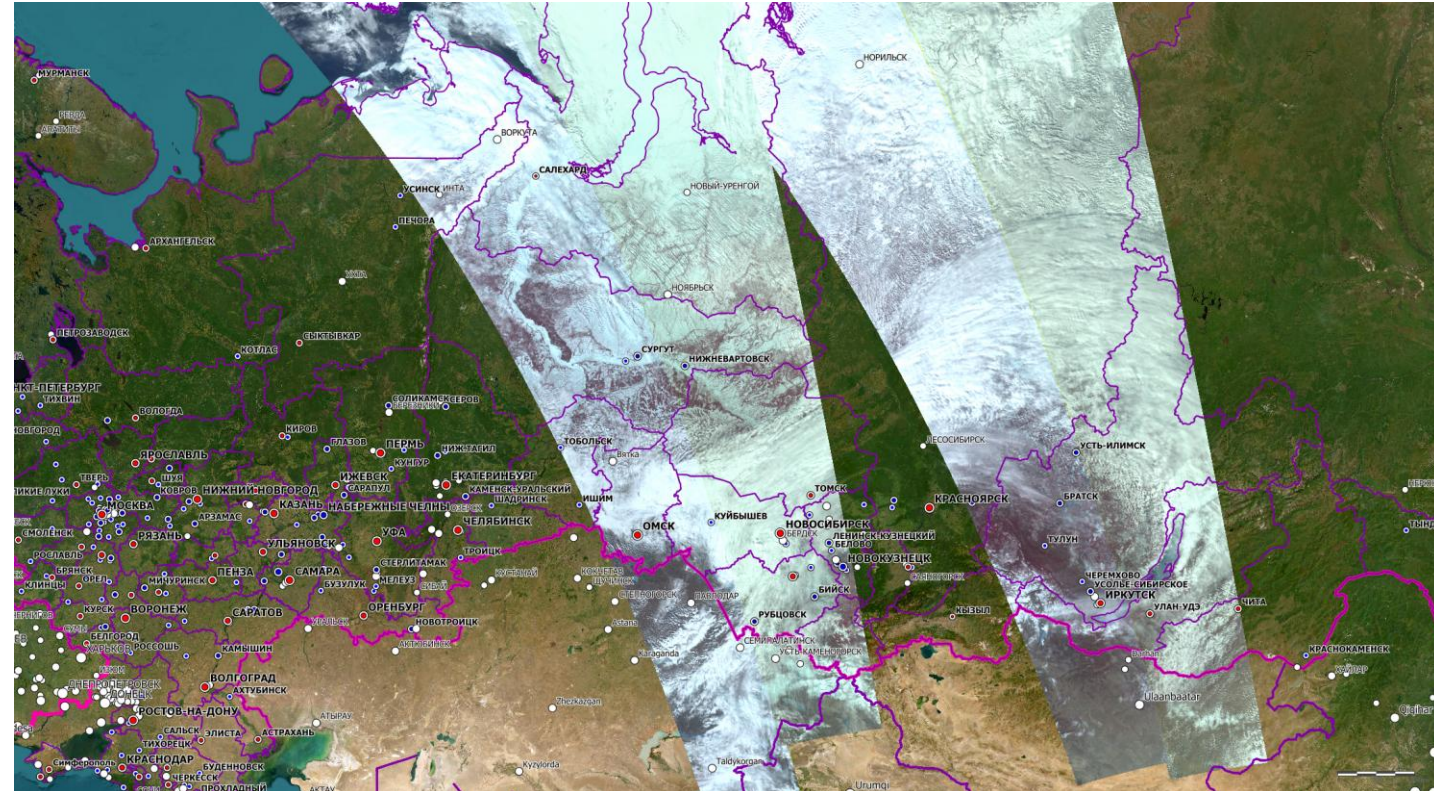
ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ И КОРРЕКЦИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ ДАННЫХ ПРИБОРА КМСС 2

Сибирский центр ФГБУ «НИЦ Планета»

Ромасько Виктор Юрьевич

ПРИБОР КМСС-2 НА СПУТНИКАХ СЕРИИ МЕТЕОР-М №2

- Имеет два полукомплекта.
- Снимает две полосы с перекрытием.
- Сплошная полоса захвата ~1000 км
- Покрытие территории за день на широте 56°с.ш. ~70%
- Разрешение на местности в надире 55 м
- Работает один аппарат № 2-4
- Аппарат № 2-5 планируется к запуску в 2027 г



Два витка данных КМСС-2 с КА Метеор-М №2-4 за 01.04.2025

ПРОБЛЕМА

Данные приборов КМСС, устанавливаемых на КА Метеор-М, с самого своего появления в 2009 г. имели и имеют ошибки географической привязки многократно превышающие размеры 1 пикселя (55 или 60 м), что требует обязательной трудоёмкой и длительной ручной коррекции привязки, значительно снижающей производительность, повышающей стоимость обработки и исключающей автоматическую обработку.

Современные исследования [*] демонстрируют возможность полной автоматизации задачи коррекции географической привязки данных КМСС с достаточной для практических целей точностью.

* Plotnikov D E, Kolbudaev P A, Loupian E A. An automatic method for subpixel registration of KMSS-M imagery based on coarse-resolution actualized reference. Computer Optics 2022; 46(5): 818–827. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1098.

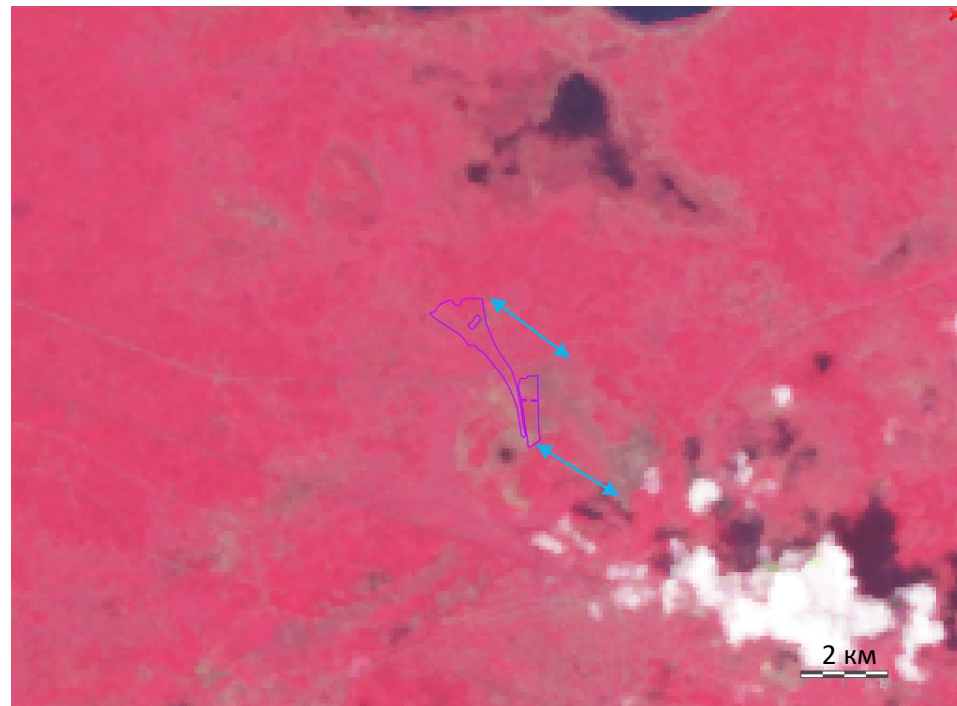
ОШИБКИ ПРИВЯЗКИ

ПРИМЕР ОШИБОК, НАБЛЮДАВШИХСЯ У МЕТЕОР-М №2-2 В 2024 Г

Новосибирское вдхр.
15 июня 2024. Ошибка ~2 км



Поле мониторинга агроклимата
15 июня 2024. Ошибка ~2 км



ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ ДЛЯ ПРИВЯЗКИ

Метки времени в данных имеют дискретность представления 25 мкс:

- Дискретность расчёта траектории КА порядка 200 м

Положение и скорость КА определяются по данным GNSS.

Ориентация КА определяется по двум звёздным датчикам БОКЗ-М2:

- Ошибка 3" по осям, в плоскости кадра
- Ошибка 30" по оптической оси.

Ошибка привязки КМСС-2 из-за ошибки ориентации (с высоты орбиты ~820,7 км):

- 11 м в надире
- 110 м в надире.

БОКЗ-М2



<http://ofo.ikiweb.ru/razrabotki/bokz-m.html>

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработать программное обеспечение (ПО), реализующее методику автоматической коррекции географической привязки данных КМСС-2 на основе оперативной базы тайловых покрытий СЦ.

Исходными данными для ПО должны служить изображения КМСС-2 всего сеанса съёмки, представленные в полном разрешении в одной из стандартных картографических проекций в формате GeoTIFF *.

ПО должно работать полностью автоматически и обеспечивать создание тайловых покрытий как с скорректированной, так и с исходной привязкой (на случай невозможности коррекции) в поточном, оперативном режиме.

* — определяются штатным ПО «Meteor-Planeta» для предварительной обработки данных КМСС-2.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДИКИ

Существует ряд работ отечественных авторов по проблеме автоматической коррекции приборов КМСС. Однако:

1. Они относятся к предыдущим моделям приборов, или уже не функционирующих, или существенно отличающихся от рассматриваемого по качеству изображения.
2. Они предназначены (разрабатывались) для применения в определённых условиях — или на ограниченной территории, или для безоблачных данных, или в период сезона вегетации и т. п.
3. Они реализованы внутри или входят в состав определённых вычислительных систем предприятий (часто одновременно с методиками накопления сплошных покрытий) и недоступны для применения вне этих систем.
4. Они предназначены для совмещения с опорными покрытиями низкого разрешения, хотя при этом достигается субпиксельная (для низкого разрешения) точность привязки.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

1. Поиск сдвигов (ошибок) ведётся для тайлов в тайловых покрытиях (из-за большого объёма данных).
2. Поиск ведётся для каждого тайла по глобальному максимуму коэффициента корреляции Пирсона небольшой центральной части тайла в ограниченном диапазоне сдвигов (для сокращения вычислительных затрат).
3. В качестве опорного покрытия используется сплошное покрытие безоблачных данных Sentinel-2 [<https://s2maps.eu/>] за 2020 г.
4. Учитываются только такие сдвиги, которые наблюдаются неоднократно в связной области соседних тайлов (группе, кластере — то есть неслучайные).
5. Процедура проводится поэтапно до достижения минимально необходимого числа оценок для регрессии (например, для полиному 2 степени — больше 6), с постепенным расширением области поиска (рассчитывая наиболее часто получать результат с минимальными затратами).

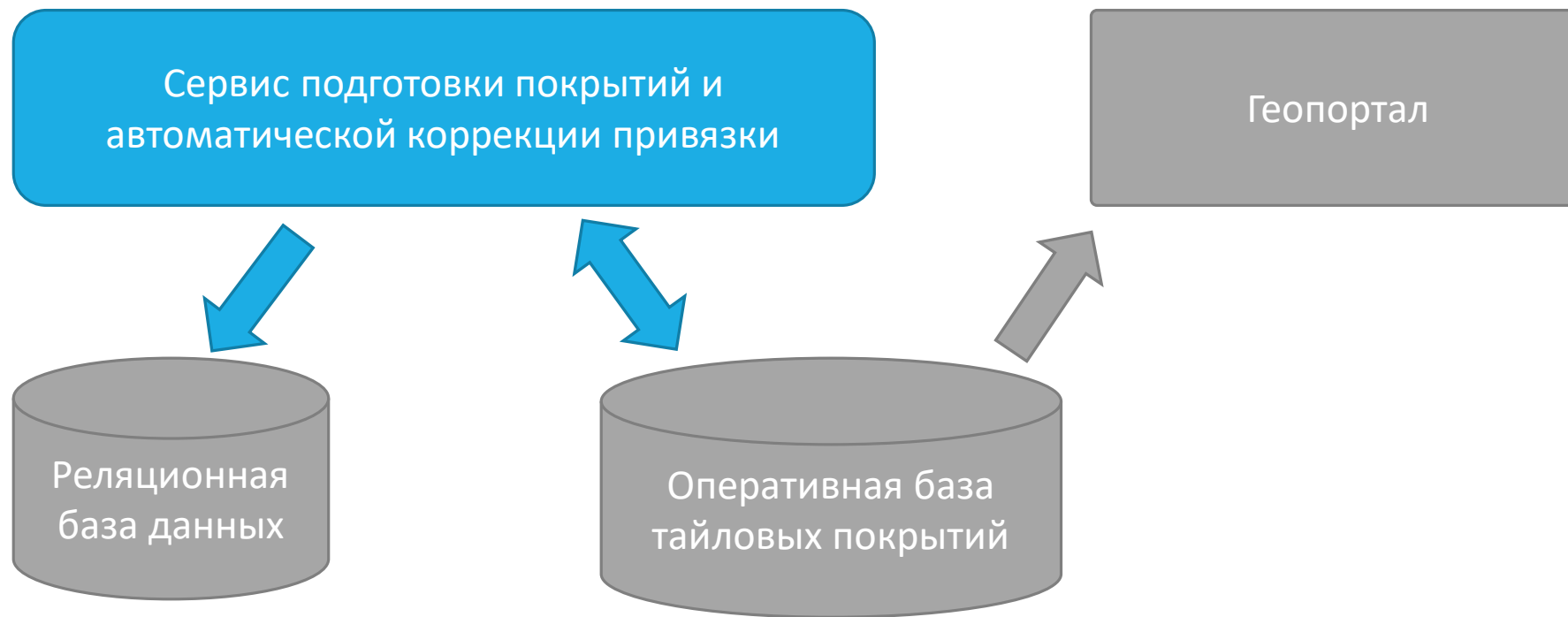
ОСНОВНОЙ АЛГОРИТМ

Обработка ведётся в формате тайловых покрытий в следующей последовательности:

1. Нарезка исходных данных на тайлы.
2. Поиск сдвигов тайлов относительно опорного покрытия.
3. Построение статистической регрессионной полиномиальной модели сдвигов (коррекции) методом наименьших квадратов.
- 4.* Нарезка исходных данных на тайлы с учётом построенной модели коррекции привязки.

* Шаг 4 не выполняется, если шаги 2 и 3 неудачные из-за исходных данных.

ОБЩАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ

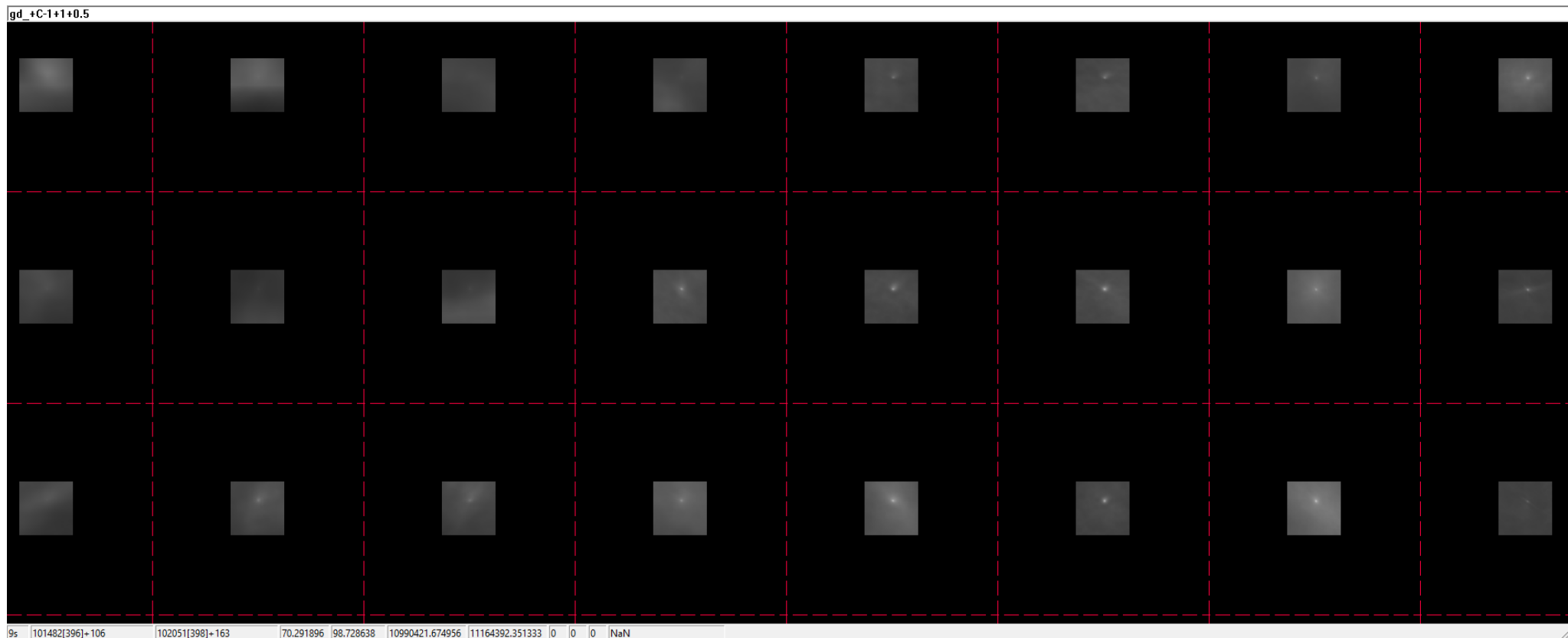


ГЕОПОРТАЛ КАК СРЕДСТВО КОНТРОЛЯ И НАБЛЮДЕНИЯ



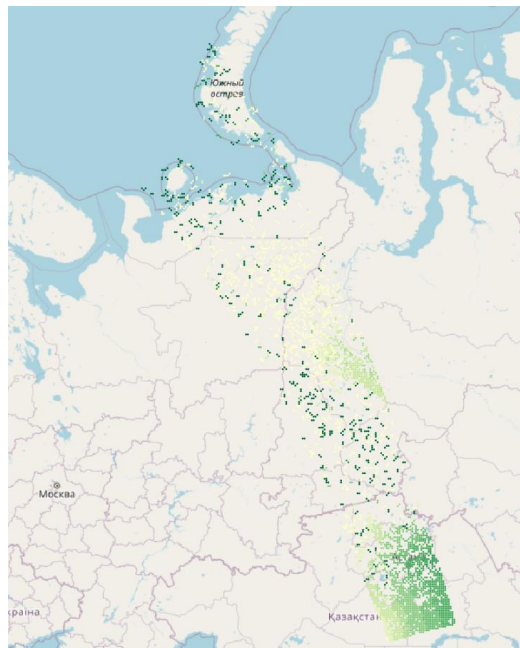
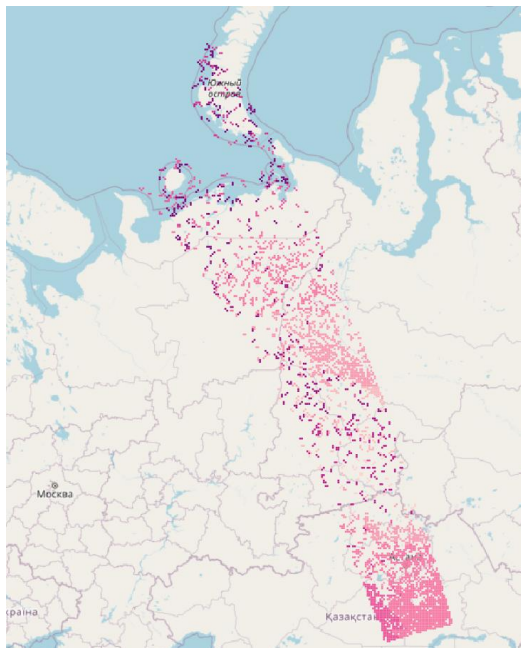
ПОИСК СДВИГОВ ПРИВЯЗКИ

Двумерные функции корреляции Пирсона в областях сдвига ± 32 пикселя по центру тайлов размером 256 пикселей.

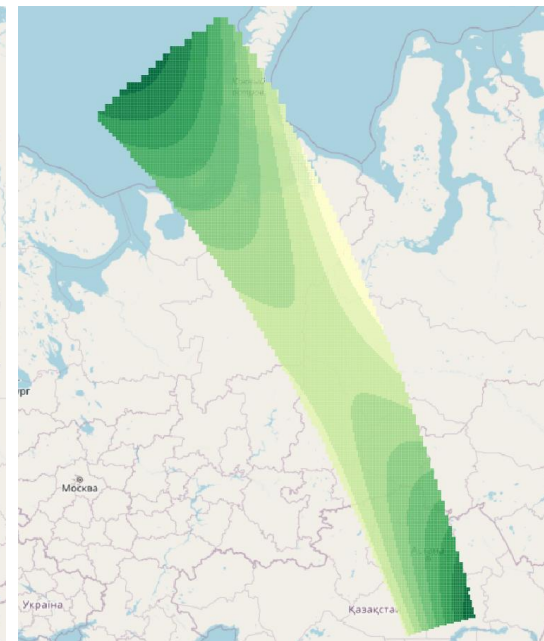
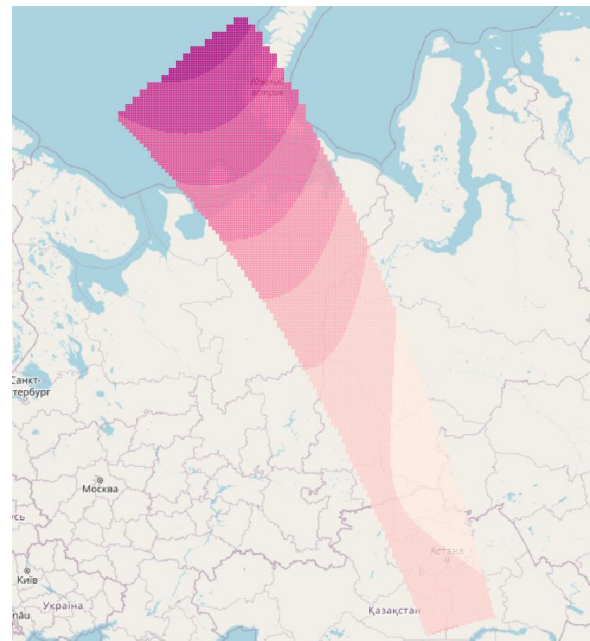


РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК ПРИВЯЗКИ

Измеренные смещения коррекции
привязки



Модельные значения смещений коррекции
привязки, полином 2 степени



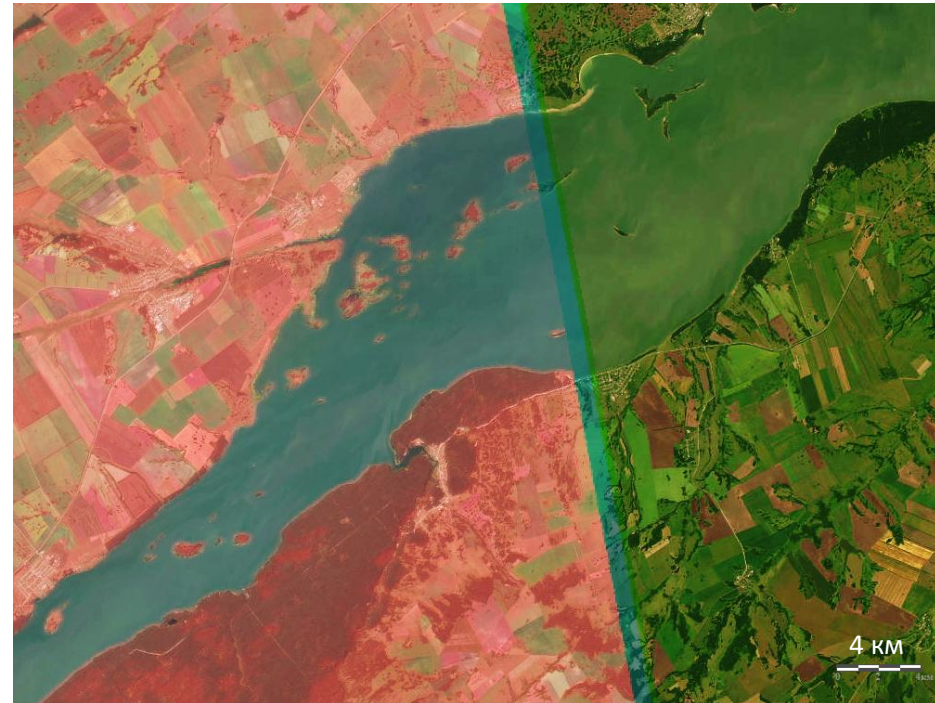
В паре слева — по долготе, справа — по широте.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ

Исходная привязка (ошибка ~2 км)
Новосибирское вдхр. 15 июня 2024

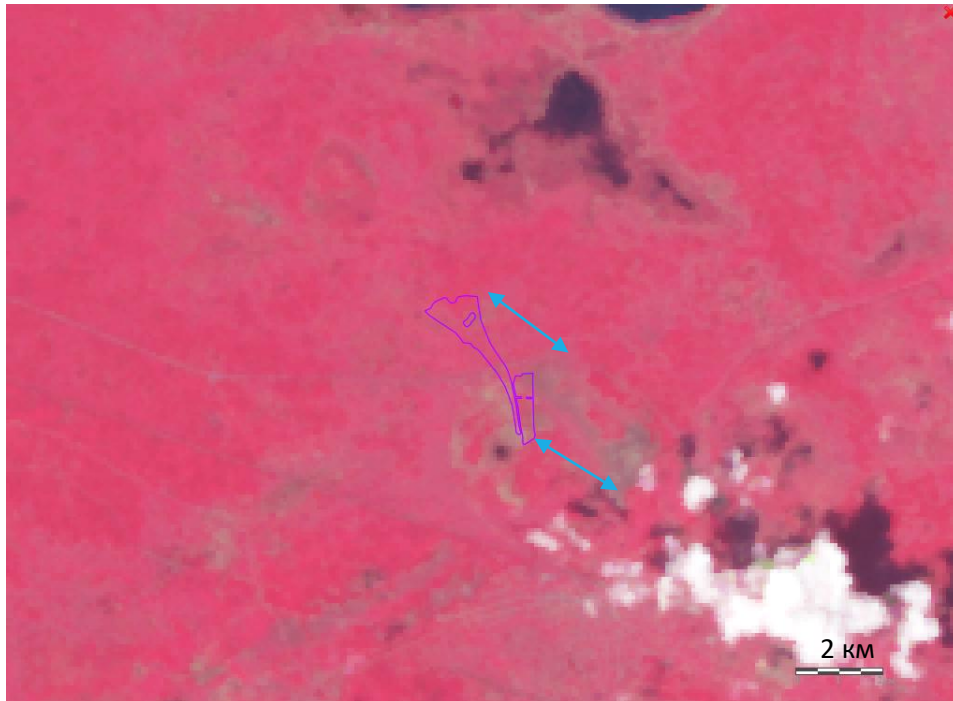


Автоматически скорректированная
привязка (остаточная ошибка ~60 м)

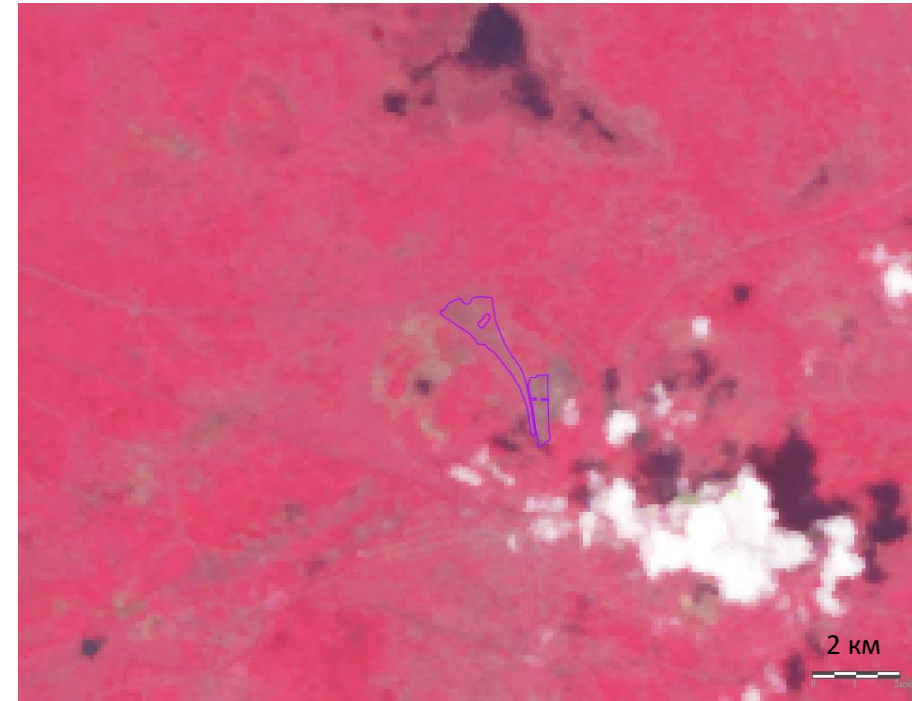


РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ

Исходная привязка (ошибка ~2,5 км)
Поле контроля агрометеоусловий.
15 июня 2024

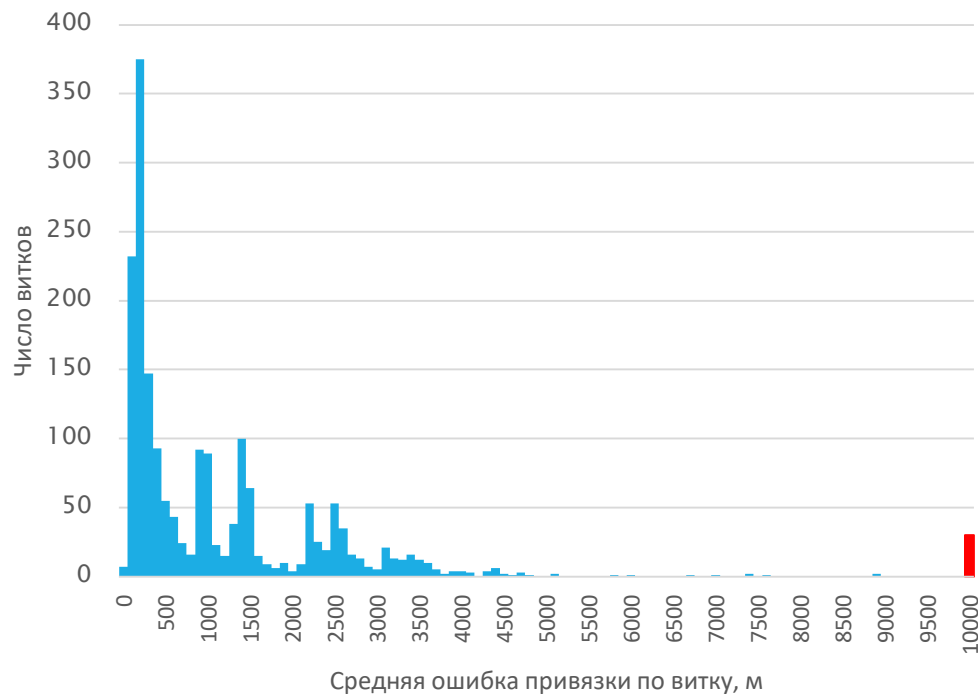


Автоматически скорректированная
привязка (остаточная ошибка ~60 м)



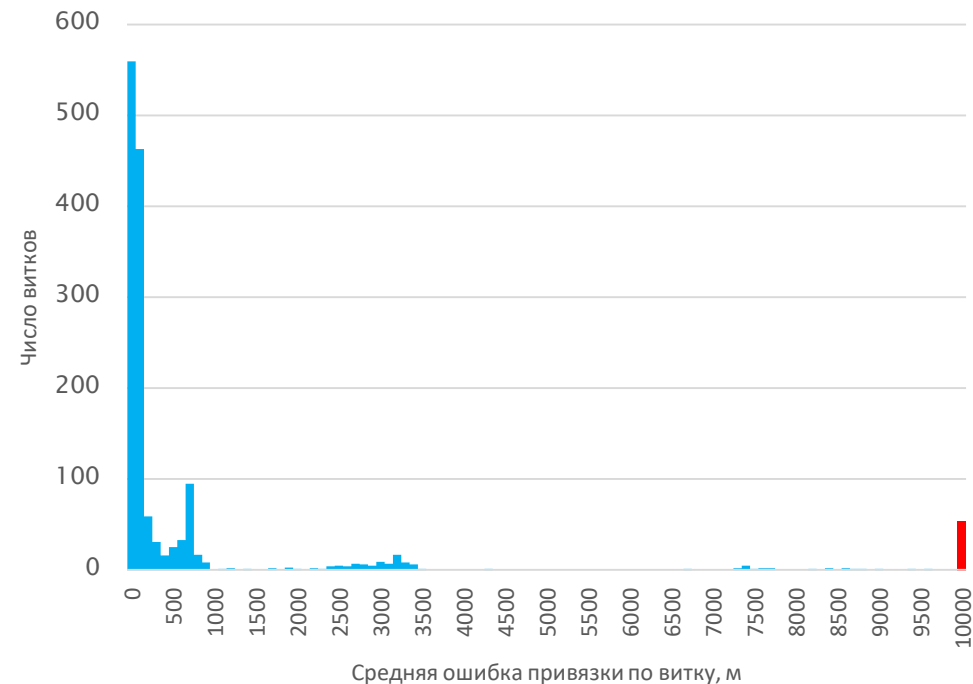
ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРИВЯЗКИ: СТАТИСТИКА ОШИБОК

Метеор-М №2-2, 2023-2024 гг.



Средняя — 1152 м, вероятная — 250 м, макс. ~40 000 м.
Для 3% оценить ошибку не удалось.

Метеор-М №2-4, 2024-2025 гг.

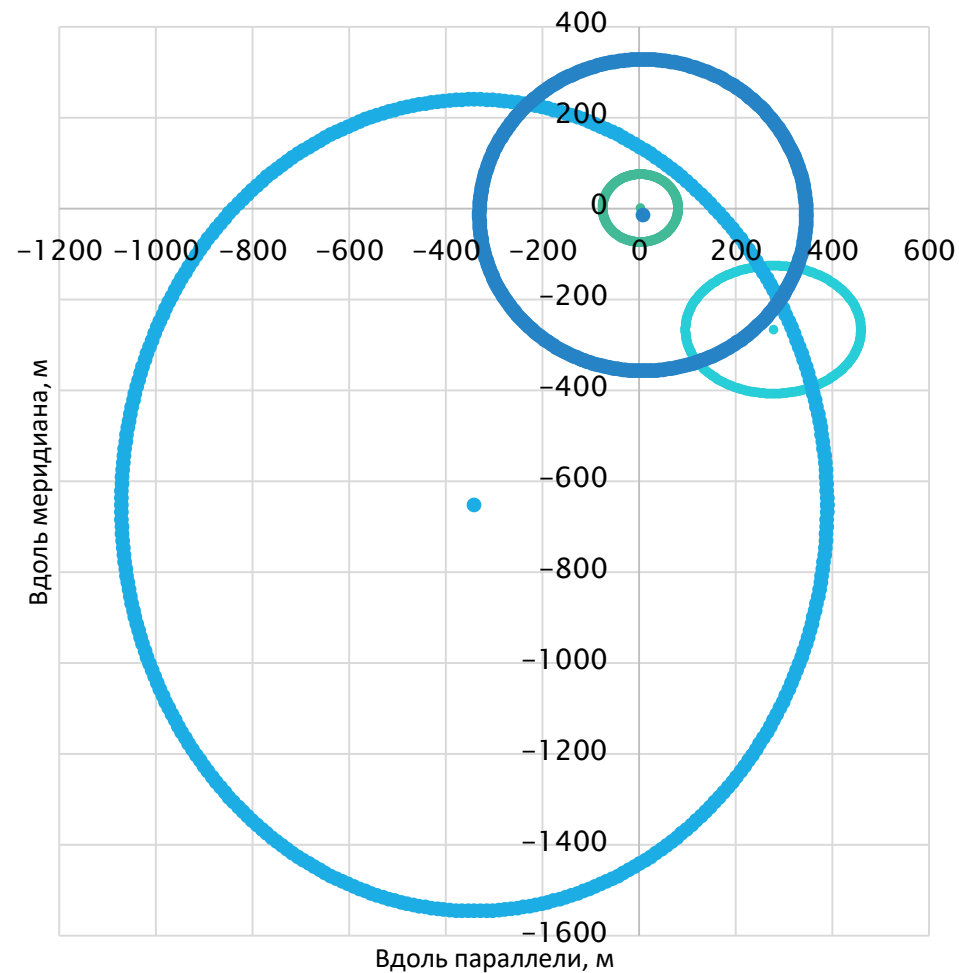


Средняя — 205 м, вероятная — 96 м, макс. ~21 000 м.
Для 3% оценить ошибку не удалось.

ЭФФЕКТ ОТ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК ПРИВЯЗКИ

Спутник	Направление	Ошибка до, м*	Ошибка после, м*
Метеор-М № 2-2	Вдоль параллели	-341 ± 730	$+7 \pm 338$
	Вдоль меридиана	-652 ± 893	-14 ± 332
Метеор-М № 2-4	Вдоль параллели	$+277 \pm 181$	$+2 \pm 78$
	Вдоль меридиана	-266 ± 141	$+1 \pm 75$

* средняя разность ± среднеквадратичное отклонение



- Исходная ошибка М2-4
- Остаточная ошибка М2-4
- Исходная ошибка М2-2
- Остаточная ошибка М2-2

СЛУЧАИ НЕПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДИКИ

1. Плотное покрытие всего изображения облачностью не даёт возможности найти достаточное для построения регрессионной модели число сдвигов относительно опорного покрытия.
2. Открытые области изображения имеют неудачную конфигурацию, что приводит к:
 - Невозможности построить статистически значимую регрессию — например, если измеренные сдвиги расположены вдоль одной линии, система уравнений становится близка к линейно зависимой.
 - Построенная модель коррекции пригодна лишь для малой области изображения, и приводит к огромным ошибкам вдали от этой области.

Избежать таких случаев или как-то видоизменить методику под них *невозможно*.

За период опытной эксплуатации с 13.03.2024 около 3% не были автоматически скорректированы.

ВЫВОДЫ

Разработана оригинальная методика автоматической коррекции ошибок привязки изображений радиометра КМСС-2 КА серии Метеор-М №2.

Методика позволяет уменьшить для кадра данных

- для КА Метеор-М № 2-2:
 - среднюю ошибку привязки с 737 м до 16 м и
 - среднеквадратичную ошибку с 1158 м до 343 м
- для КА Метеор-М № 2-4:
 - среднюю ошибку привязки с 384 м до 2 м и
 - среднеквадратичную ошибку с 161 м до 76 м

Методика применима, в среднем, к 97% снимков. Из-за случайного характера распределения облачности по изображению примерно в 3% случаев оценить ошибки привязки по данной методике не возможно.

Методика реализована в виде сервиса поточной обработки оперативной информации, который находится в непрерывной опытной эксплуатации в СЦ ФГБУ «НИЦ Планета» с марта 2024 г.