

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ ДАННЫХ ПРИБОРА МСУ-МР КА «МЕТЕОР-М»

Е.Е. Волкова¹, М.А. Бурцев¹, А.И. Андреев², Е.А. Лупян¹, А.А. Мазуров¹, А.М. Матвеев¹, Е.И. Холодов²

(1) Институт космических исследований РАН

(2) Дальневосточный центр ФГБУ «НИЦ «Планета»

Прибор МСУ-МР

Каналов – 6;

Спектральный диапазон – 0,5-12,5 мкм;

Полоса захвата – 3000 км;

Пространственное разрешение – 1 км.

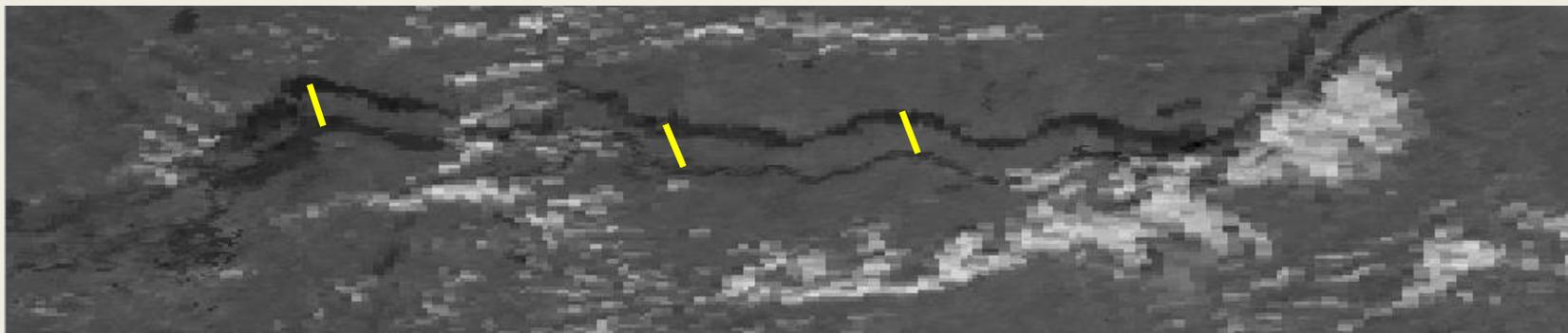


Рис. 1. Невязка снимка прибора МСУ-МР относительно композитного изображения прибора MODIS

Анализ качества привязки стандартных продуктов

Для оценки качества геопривязки было сформировано два набора дневных снимков МСУ-МР, полученных с КА «Метеор-М» №2-2 за август 2022 года и с КА «Метеор-М» №2-3 за май 2024 года. Данные были переведены в географическую проекцию EPSG:4326 и сопоставлены с безоблачными ежемесячными композитными изображениями прибора MODIS за соответствующие месяцы. Вычислялось среднее смещение наборов контрольных точек, автоматически полученных с помощью алгоритма AROSICS.



«Метеор-М» №2-2 (август 2022):
26 из 95 сцен имеют субпиксельную привязку (менее 30%)



«Метеор-М» №2-3 (май 2024):
6 из 101 сцены имеют субпиксельную привязку (менее 10%)

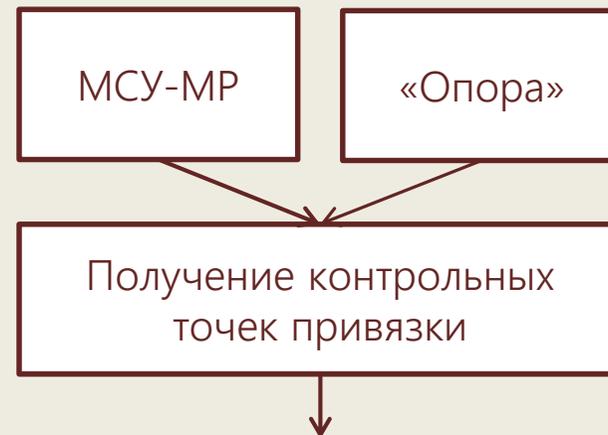
Процесс привязки

состоит из следующих основных этапов:

- подбора опорных данных для уточнения привязки;
- выявления контрольных точек на парах изображений;
- восстановления углов ориентации на основе найденных контрольных точек (уточнения параметров модели сенсора);
- применения модели сенсора, полученной на базе восстановленных параметров КА, для географической привязки данных уровня обработки L1B;
- автоматического контроля качества уточнённой привязки.



Для получения контрольных точек используется программный пакет AROSICS*, в основе работы которого лежит фазовая корреляция. AROSICS представляет собой библиотеку с открытым исходным кодом на Python, предназначенную для автоматического совмещения спутниковых снимков с субпиксельной точностью.



*Scheffler, D.; Hollstein, A.; Diedrich, H.; Segl, K.; Hostert, P. AROSICS: An Automated and Robust Open-Source Image Co-Registration Software for Multi-Sensor Satellite Data. Remote Sens. 2017, 9, 676.

Углы ориентации подбираются минимизацией суммарной ошибки положения контрольных точек.

Входные параметры для строгой модели сенсора:

- углы ориентации аппарата (восстановленные ранее)
- элементы орбиты (из TLE)
- характеристики съёмочного устройства

Полученная модель применяется к исходным данным МСУ-МР.





Для каждого снимка уточнённые координаты контрольных точек, полученные на первом этапе допривязки, сохраняются и впоследствии сравниваются с координатами тех же точек, полученными в результате последующего применения модели сенсора с восстановленными параметрами ориентации КА.

Если средняя разница расстояний между сохранёнными и восстановленными контрольными точками составляет менее 1,5 км, то привязка считается удовлетворительной.

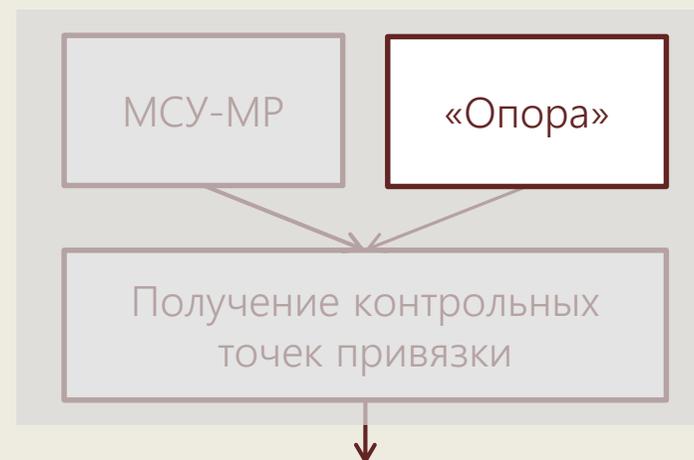


Автоматический контроль
качества привязки

ОПОРНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРИВЯЗКИ

Важны следующие критерии:

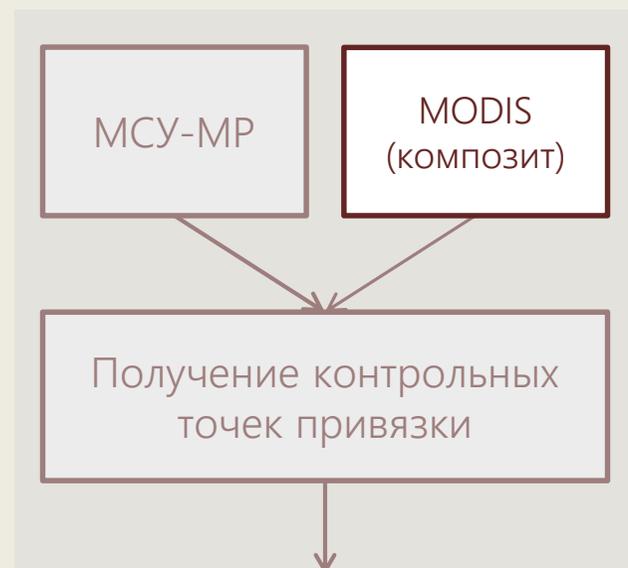
- качественная географическая привязка;
- соответствие спектральному диапазону привязываемого снимка;
- сопоставимое пространственное разрешение; оптимально – более высокое;
- сопоставимые условия, при которых были получены привязываемый и опорный снимки (например, одинаковый сезон съёмки);
- значительное перекрытие территории привязываемого снимка;
- незначительное количество облачности, шумов и локальных искажений.



ОПОРНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРИВЯЗКИ ДНЕВНЫХ СНИМКОВ

Ежемесячный SWIR-композит MODIS :

- ✓ субпиксельная географическая привязка;
- ✓ соответствие спектральному диапазону;
- ✓ более высокое пространственное разрешение;
- ✓ одинаковый сезон съёмки;
- ✓ значительное перекрытие территории привязываемого снимка;
- ✓ отсутствие облачности.



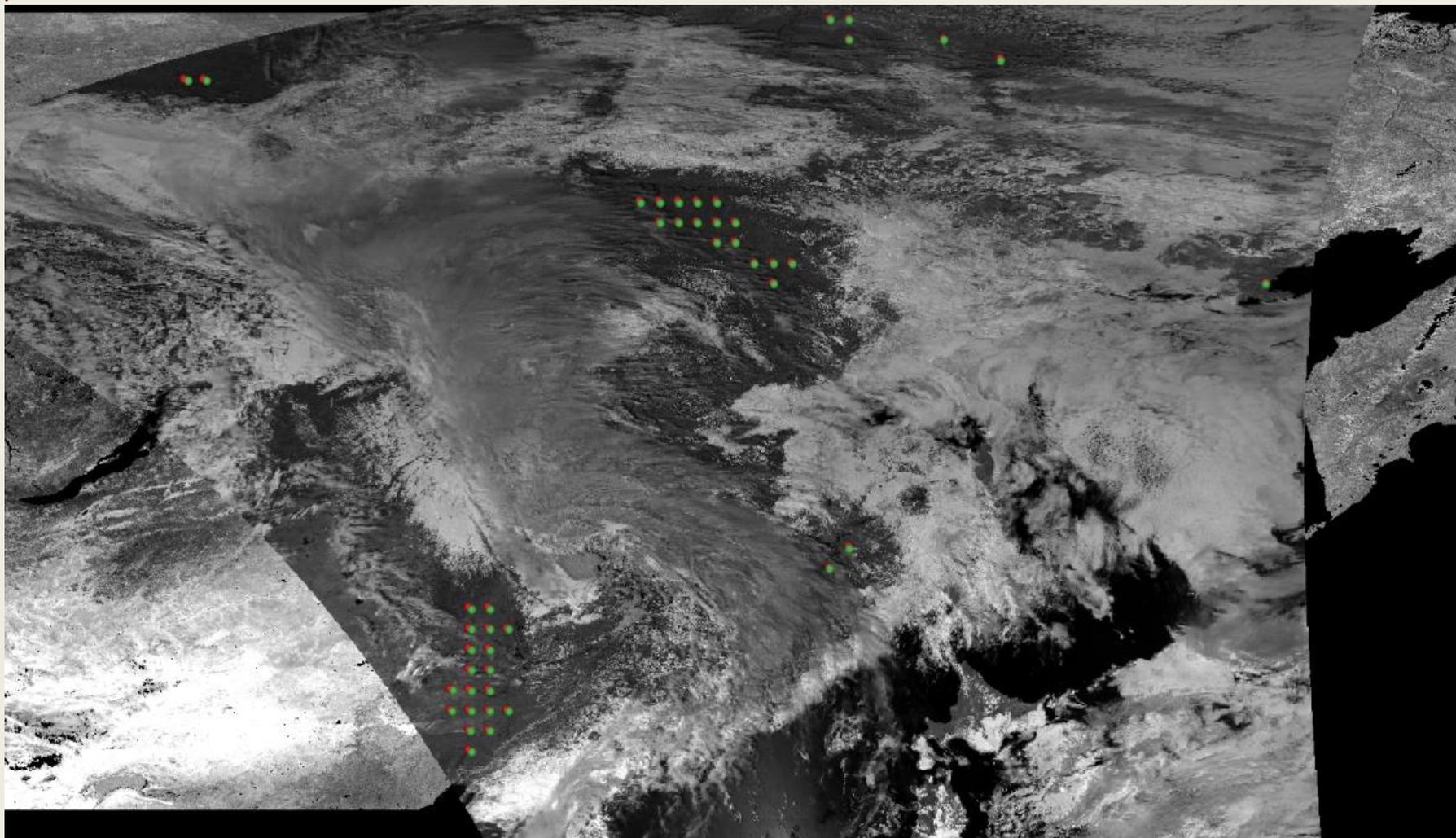


Рис.2. Снимок МСУ-МР, опорный SWIR-композит MODIS и найденная сетка контрольных точек и смещений. Зелёным показаны точки, найденные на опоре, красным – на привязываемом снимке

ОПОРНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРИВЯЗКИ НОЧНЫХ СНИМКОВ (АНИ)

Два разновременных снимка HIMAWARI (3,7 мкм):

- ✓ качественная географическая привязка;
- ✓ соответствие спектральному диапазону;
- сопоставимое пространственное разрешение (2 км);
- ✓ близкое время съёмки (за 24 и 25 часов до привязываемого снимка МСУ-МР);
- ✓ значительное перекрытие территории привязываемого снимка (только для Дальнего Востока);
- для минимизации влияния облачности, шумов и пр. берётся пересечение множеств контрольных точек двух опорных снимков



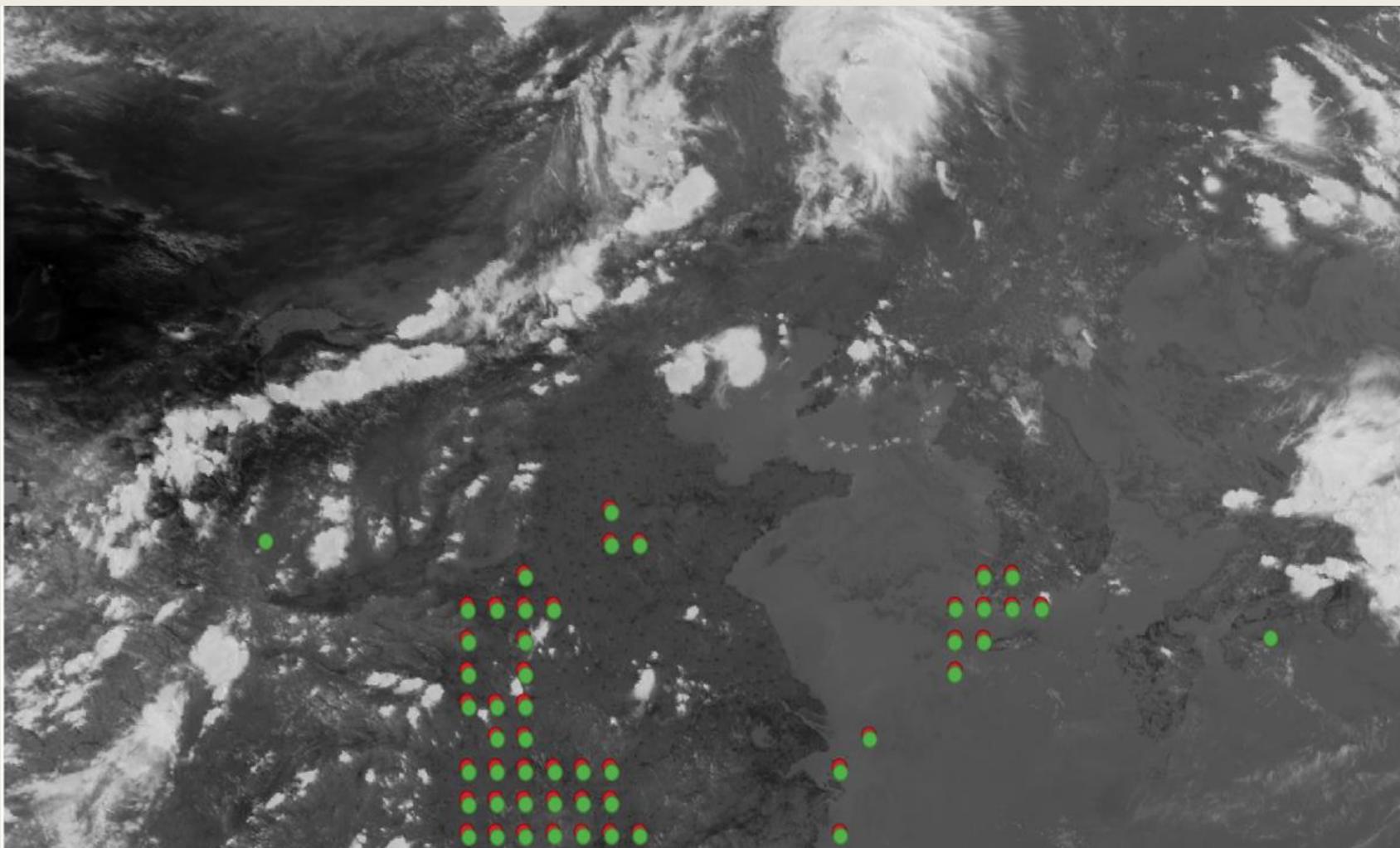
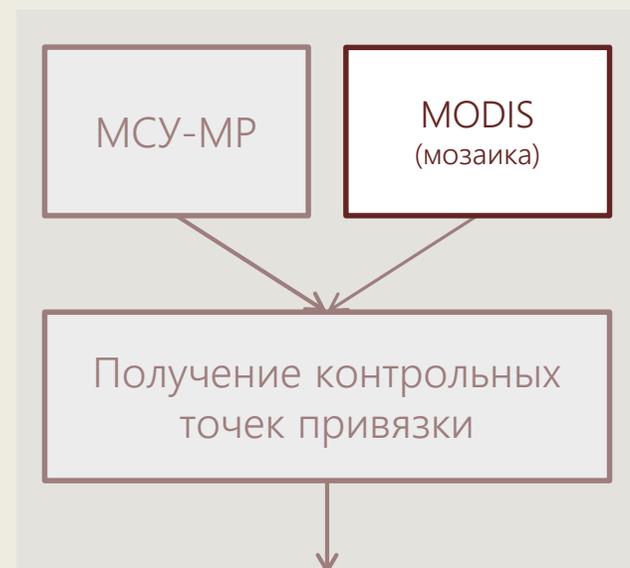


Рис. 3. Фрагмент опорного MWIR-снимка АНП и найденной сетки контрольных точек и смещений. Зелёным показаны точки, найденные на опоре, красным – на привязываемом снимке

ОПОРНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРИВЯЗКИ НОЧНЫХ СНИМКОВ (MODIS)

Мозаика снимков MODIS (3,7 мкм):

- ✓ качественная географическая привязка;
- ✓ соответствие спектральному диапазону;
- ✓ более высокое пространственное разрешение;
- ✓ близкое время съёмки;
- ✓ значительное перекрытие территории привязываемого снимка;
- возможно наличие облачности и локальных искажений.



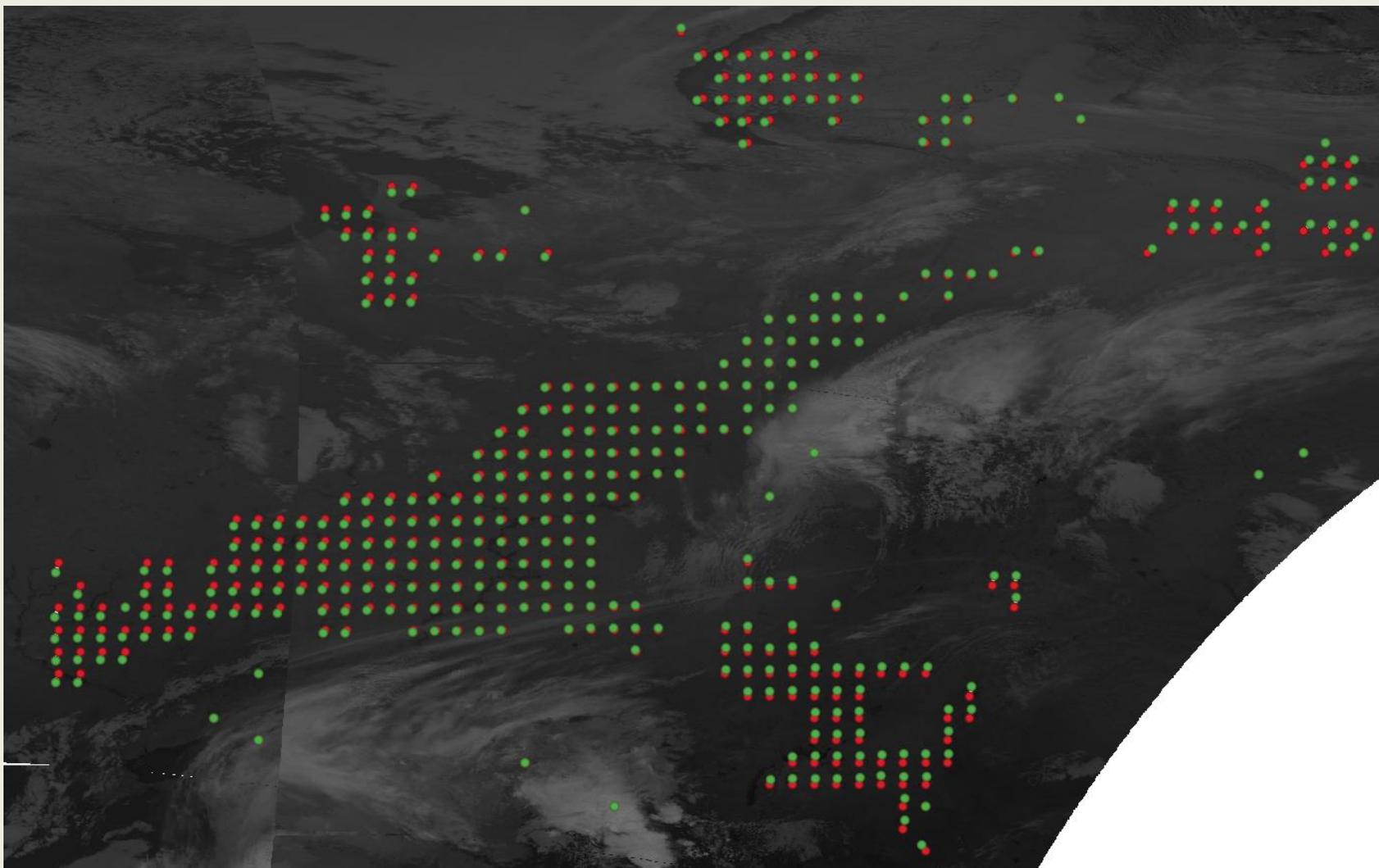


Рис. 4. Фрагмент опорной мозаики MODIS и найденной сетки контрольных точек и смещений. Зелёным показаны точки, найденные на опоре, красным – на привязываемом снимке

Анализ качества привязки полученных продуктов

Для оценки качества геопривязки было сформировано два набора дневных снимков МСУ-МР, полученных с КА «Метеор-М» №2-2 за август 2022 года и с КА «Метеор-М» №2-3 за май 2024 года. Данные были переведены в географическую проекцию EPSG:4326 и сопоставлены с безоблачными ежемесячными композитными изображениями прибора MODIS за соответствующие месяцы. Вычислялось среднее смещение наборов контрольных точек, автоматически полученных с помощью алгоритма AROSICS.



«Метеор-М» №2-2 (август 2022):
80 из 95 сцен имеют субпиксельную привязку (более 80%)



«Метеор-М» №2-3 (май 2024):
68 из 101 сцены имеют субпиксельную привязку (более 65%)

Статистика привязки данных МСУ-МР (сентябрь 2023 – август 2024)

	Дневные данные	Ночные данные	Итого
Привязано по композиту	3637 / 48%	537 / 18%	4174
Привязано по береговым линиям	2027 / 27%	1248 / 41%	3275
Привязано по данным Himawari	133 / 1%	99 / 3%	232
Не привязано	1786 / 24%	1148 / 38%	2934
Всего обработано	7583	3032	10615

В результате 76% дневных и 62% ночных снимков были привязаны с требуемым качеством.

Использование данных КА Himawari в качестве опорных позволило увеличить долю допривязанных с требуемым качеством сцен на 6% для дневных и почти на 10% для ночных данных, принятых в Дальневосточном центре. В связи с этим одной из ближайших задач развития реализованной схемы является внедрение допривязки данных МСУ-МР по мозаике снимков MODIS.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Предложена схема автоматического уточнения географической привязки данных прибора МСУ-МР КА серии «Метеор-М», в том числе вариант выбора опорных данных для её реализации. На основе предложенной схемы разработана полностью автоматическая процедура уточнения привязки данных МСУ-МР, получаемых в центрах НИЦ «Планета» в интересах системы ИСДМ-Рослесхоз.
2. С использованием предложенной схемы было обработано более 10000 сцен прибора МСУ-МР. Результаты обработки показали, что удаётся обеспечить привязку не хуже пиксельной для более 70% данных.
3. В настоящее время разработанная процедура в полностью автоматическом режиме функционирует в центрах НИЦ «Планета». Это, в частности, позволяет использовать данные МСУ-МР для решения различных задач дистанционного мониторинга, в которых требуется обеспечение пиксельной или субпиксельной привязки данных, например, в задачах количественного полностью автоматизированного учёта площадей пройденной лесными пожарами.

Спасибо за внимание

Работы выполняются при поддержке Минобрнауки РФ
(тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8)