

**XXIII международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ
КОСМОСА»
10 - 14 ноября 2025 г.**

**Предварительные результаты радиолокационной
интерферометрии района Камчатского землетрясения
29 июля 2025 г.**

Чимитдоржиев Т.Н.*, Дмитриев А. В.*, Кирбижекова И.И.*, Балтухаев А. К.*,

Дарибазарон Э.Ч.**

* - ИФМ СО РАН, Улан-Удэ

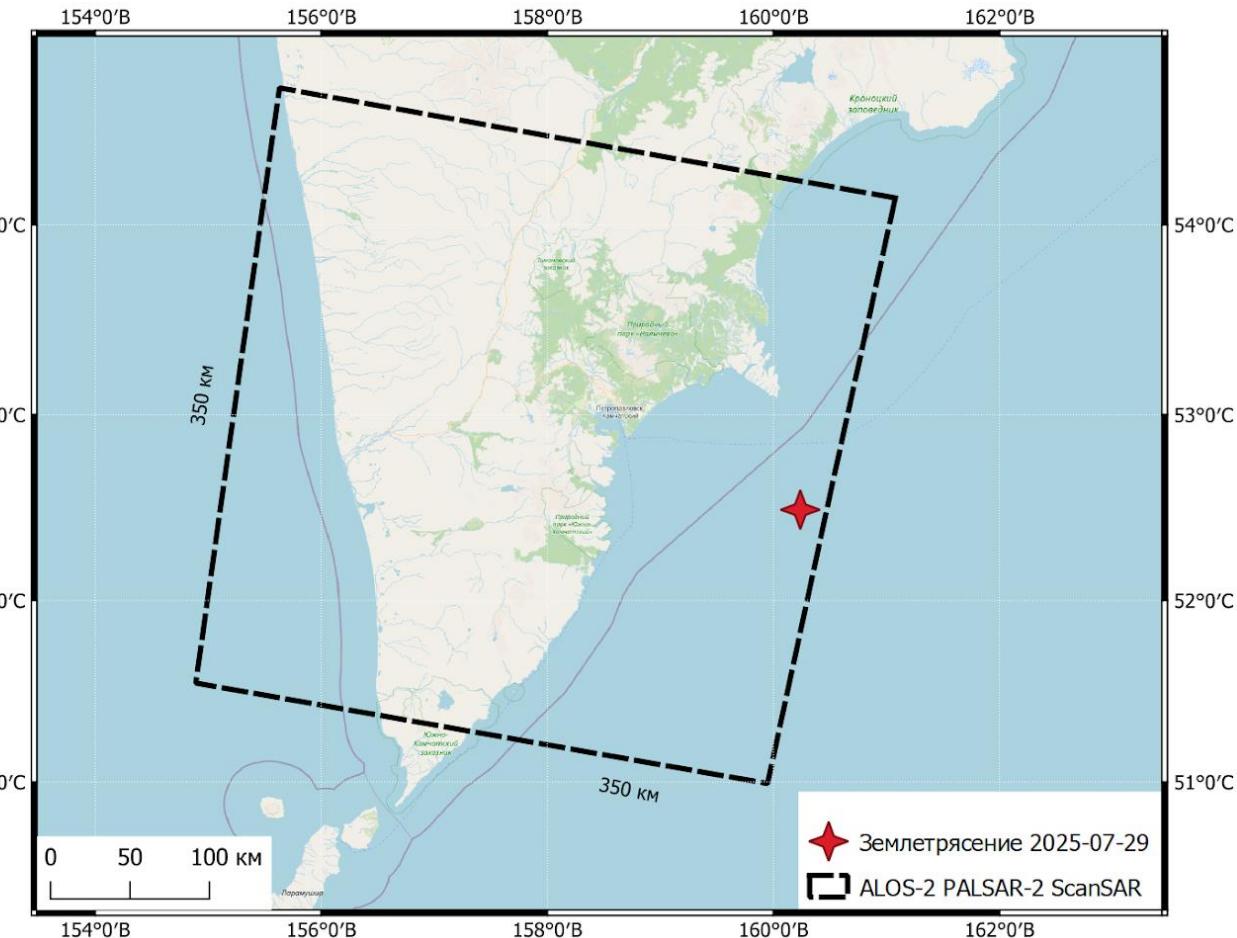
** - ВСГУТУ, Улан-Удэ

Результаты радиолокационной интерферометрии
по данным ALOS-2 PALSAR-2 режима WD (ScanSAR –
350x350 км)

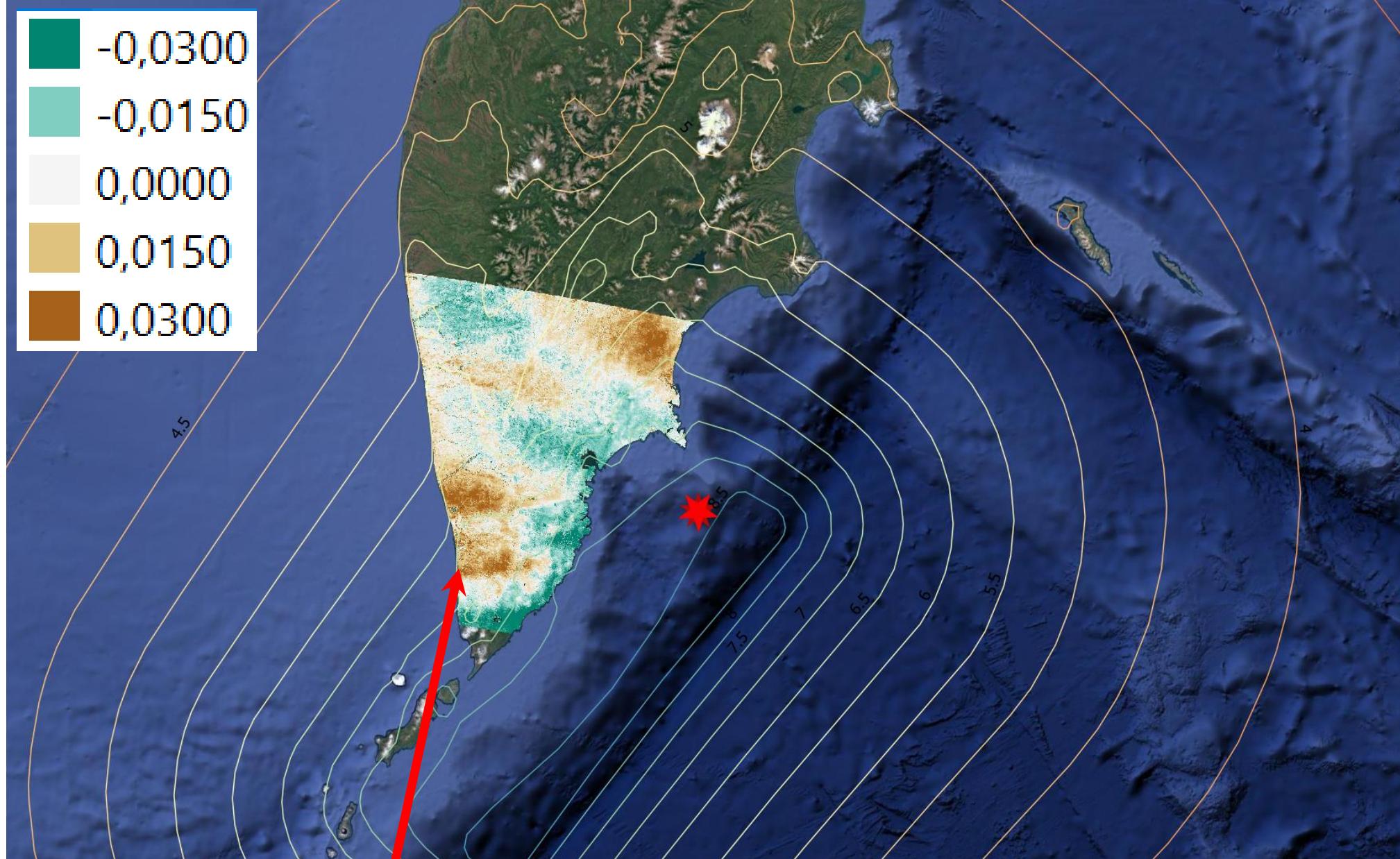
1. Методом дифференциальной интерферометрии получены развернутые интерферометрические фазы.
2. Для коррекции тропосферной задержки применялись данные веб-ресурса **GACOS** (Yu C. et al. Generic Atmospheric Correction Model for Interferometric Synthetic Aperture Radar Observations // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2018. Vol. 123, № 10. P. 9202–9222).
3. Для расчета скорости смещений использовался метод взвешенного суммирования всех развернутых интерферометрических фаз с весами, пропорциональными их временной базе (Sandwell D.T., Price E.J. Phase gradient approach to stacking interferograms // J. Geophysical Research: Solid Earth. 1998. V. 103. P. 30183–30204. DOI: 10.1029/1998JB900008).

Для интерферометрической оценки геодинамики вдоль линии радиолокационного обзора использованы данные радиолокатора L-диапазона ALOS-2 PALSAR-2 режима ScanSAR за следующие даты:

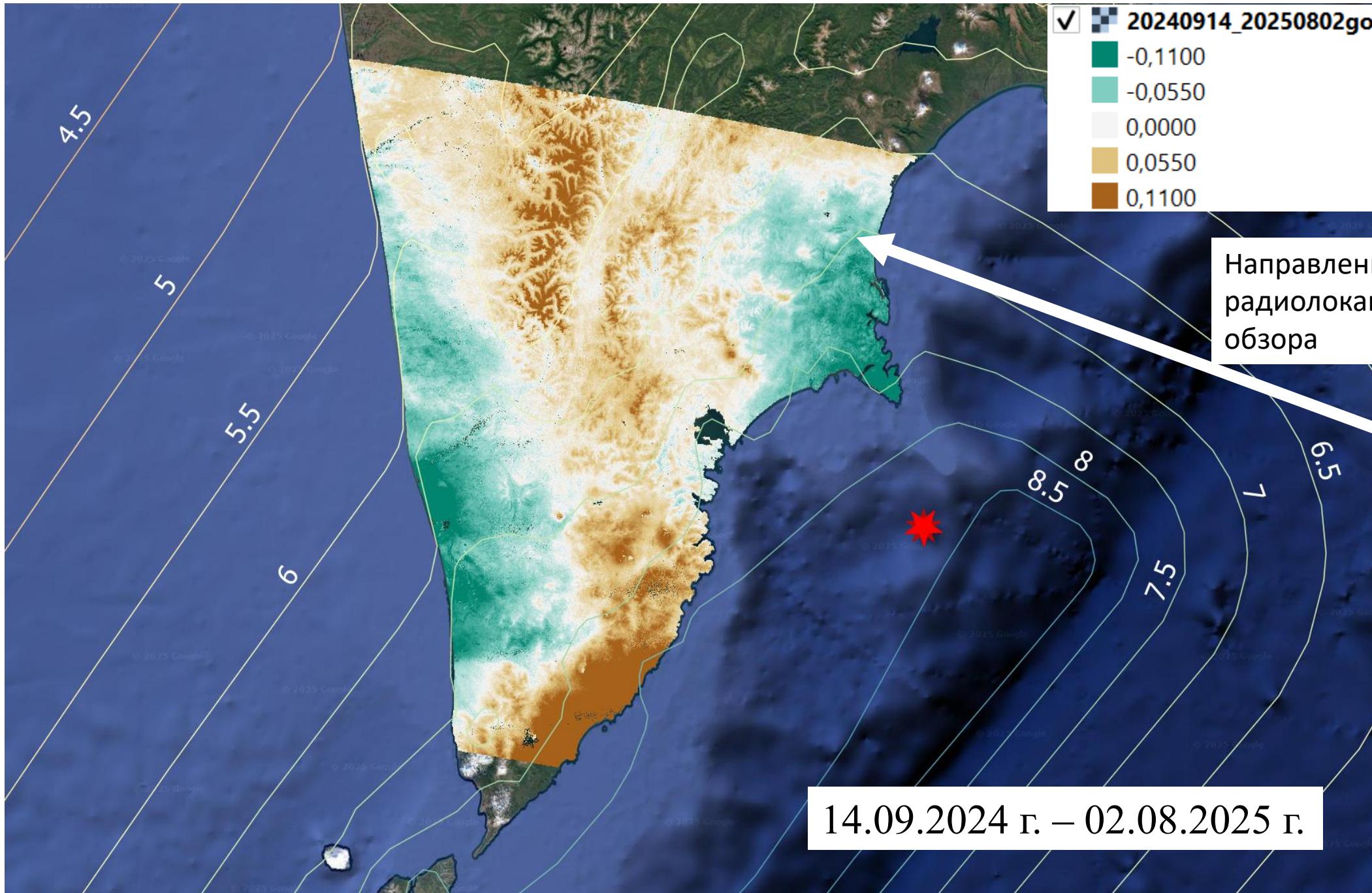
17.09.2022 г. / 16.09.2023 г. / 14.09.2024 г. / 02.08.2025 г.



Пространственные
интерферометрические базы не
превышали 221 м. Временные
базы составляли ~ 1, 2 и 3 года.



Stacking-InSAR (+GACOS????) по данным ALOS-2 PALSAR-2 за следующие даты:
17.09.2022 г.; 16.09.2023 г.; 14.09.2024 г. (три интерферометрические пары))



Направление
радиолокационного
обзора

Результаты радиолокационной интерферометрии
методом SBAS InSAR
по данным Sentinel-1 в период до землетрясения.

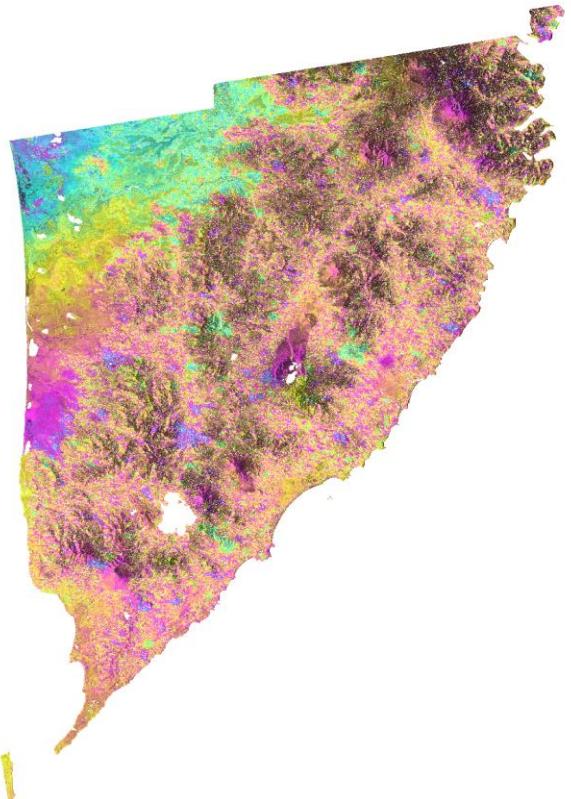
Примечание: Методом Stacking InSAR не удалось выявить геодинамику.

Методика обработки данных Sentinel-1.

1. Подбор и расчет интерферограмм с пространственным разрешением 80 м за **бесснежный период 2017-июль 2025 г.** при помощи веб-ресурса Alaska Satellite Facility.
2. Расчет скоростей смещения вдоль линии радиолокационного обзора методом SBAS InSAR по временным рядам данных (за каждые 2-2.5 года) отдельно для восходящего и нисходящего витков и раздельно для верхнего и нижнего кадра.
3. Расчёт скоростей смещения (за каждые 2-2.5 года) по направлению запад-восток и по вертикали по общей части изображений восходящего и нисходящего витков раздельно для нижнего и верхнего кадров.
4. Создание многоканального изображения (всего 8 каналов за каждые 1.5-2 года, в т.ч. 4 разновременных по направлению запад-восток и 4 по вертикали).
5. Сегментация на крупные **геоблоки со сходной динамикой** при помощи **кластерного анализа многоканального изображения поля скоростей смещений.**

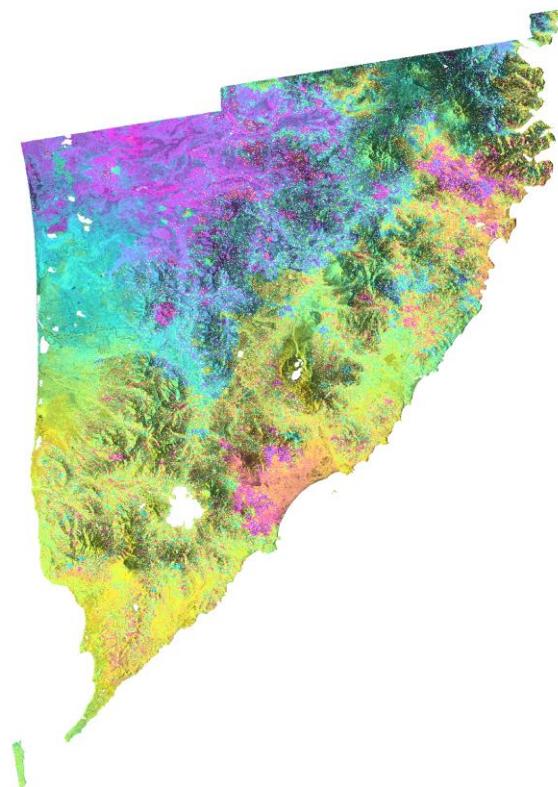
20170530_20170705

36 дней



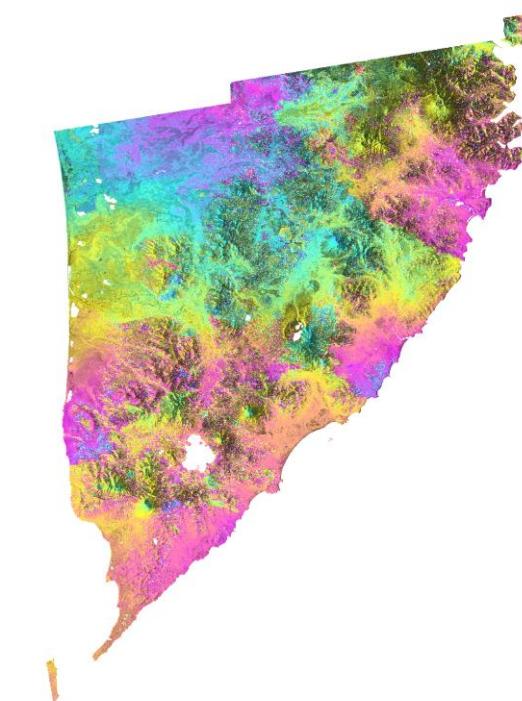
20170530_20170623

24 дня

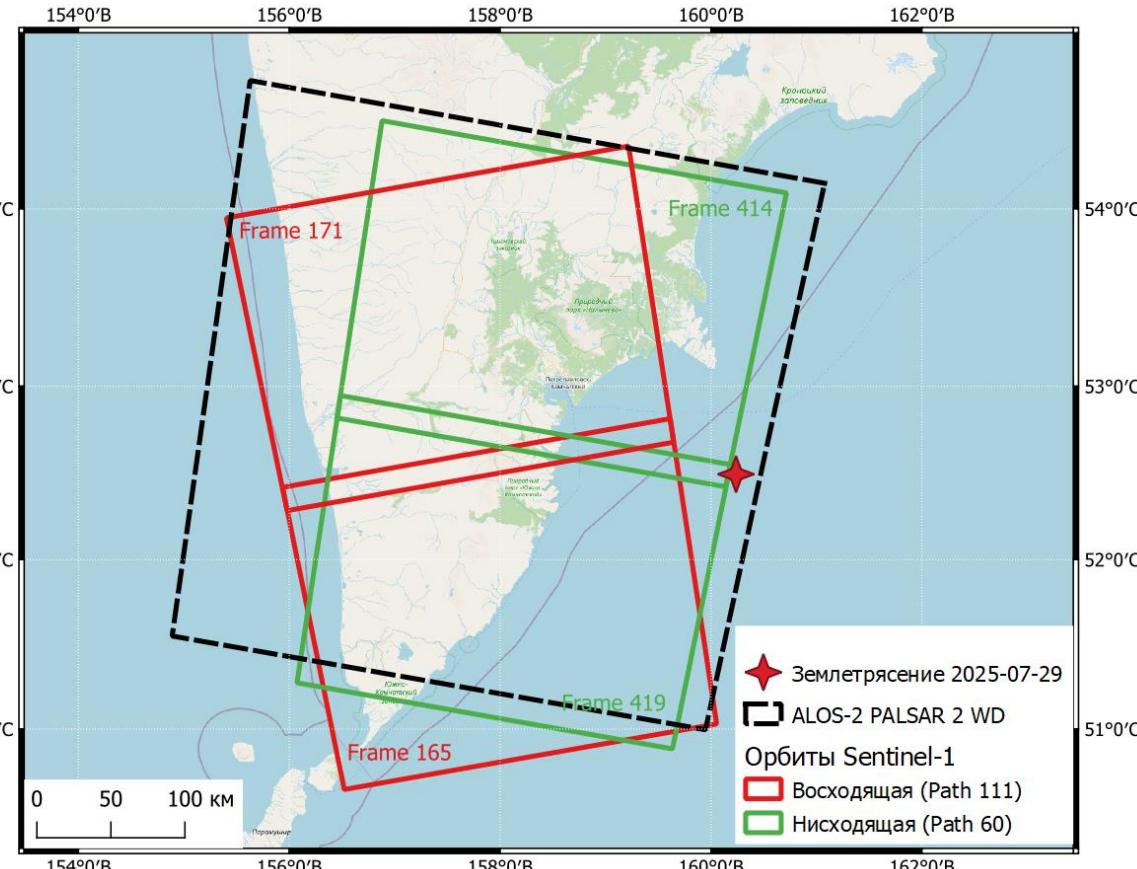


20170530_20170623

12 дней



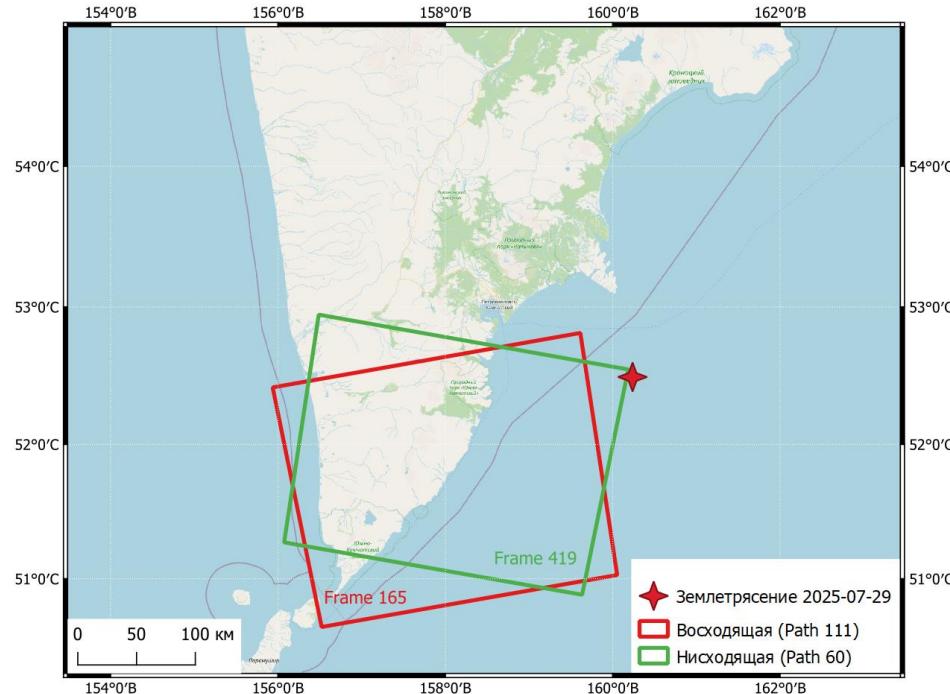
Для оценки вертикальных и горизонтальных (запад-восток) смещений
в период с 2017 г. по июль 2025 г. использованы следующие данные Sentinel-1
(контуры красного и зелёного цвета)



Годы	Восходящий виток		Нисходящий виток	
	Frame 165	Frame 171	Frame 414	Frame 419
2017-2018	75	75	81	81
2019-2020	78	81	78	78
2021-2022	75	75	54	54
2023-2025.07	93	93	62	62
Всего	321	324	275	275

Интерферограммы получены при помощи расчетов на сервере ASF, коррекция атмосферы выполнена по данным веб-ресурса GACOS.

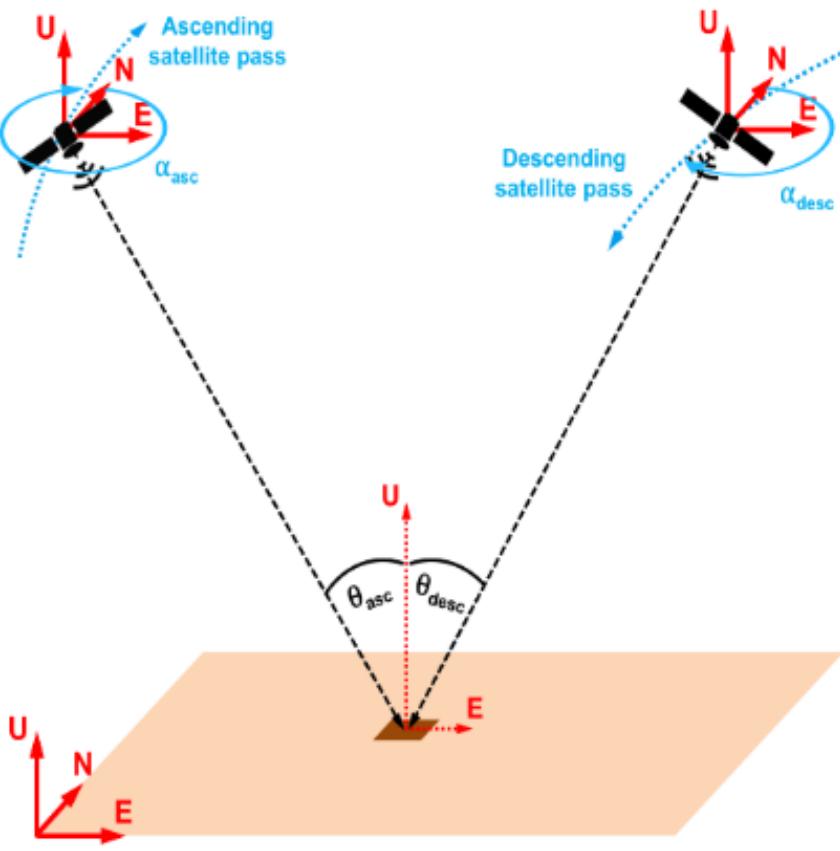
Количество интерферограмм для SBAS InSAR для каждого временного промежутка



Годы	Восходящий виток	Нисходящий виток
	Frame 165	Frame 419
2017-2018	75	81
2019-2020	78	78
2021-2022	75	54
2023-2025.07	93	62
Всего	321	275

Обработка данных была выполнена при помощи ПО MintPy, которое представляет усовершенствованный метод SBAS InSAR - <https://github.com/insarlab/MintPy>) MintPy предлагает более **автоматизированный, точный и гибкий** подход по сравнению с классическим SBAS, особенно в сложных условиях (низкая когерентность, наличие ошибок развертки, нелинейные деформации).

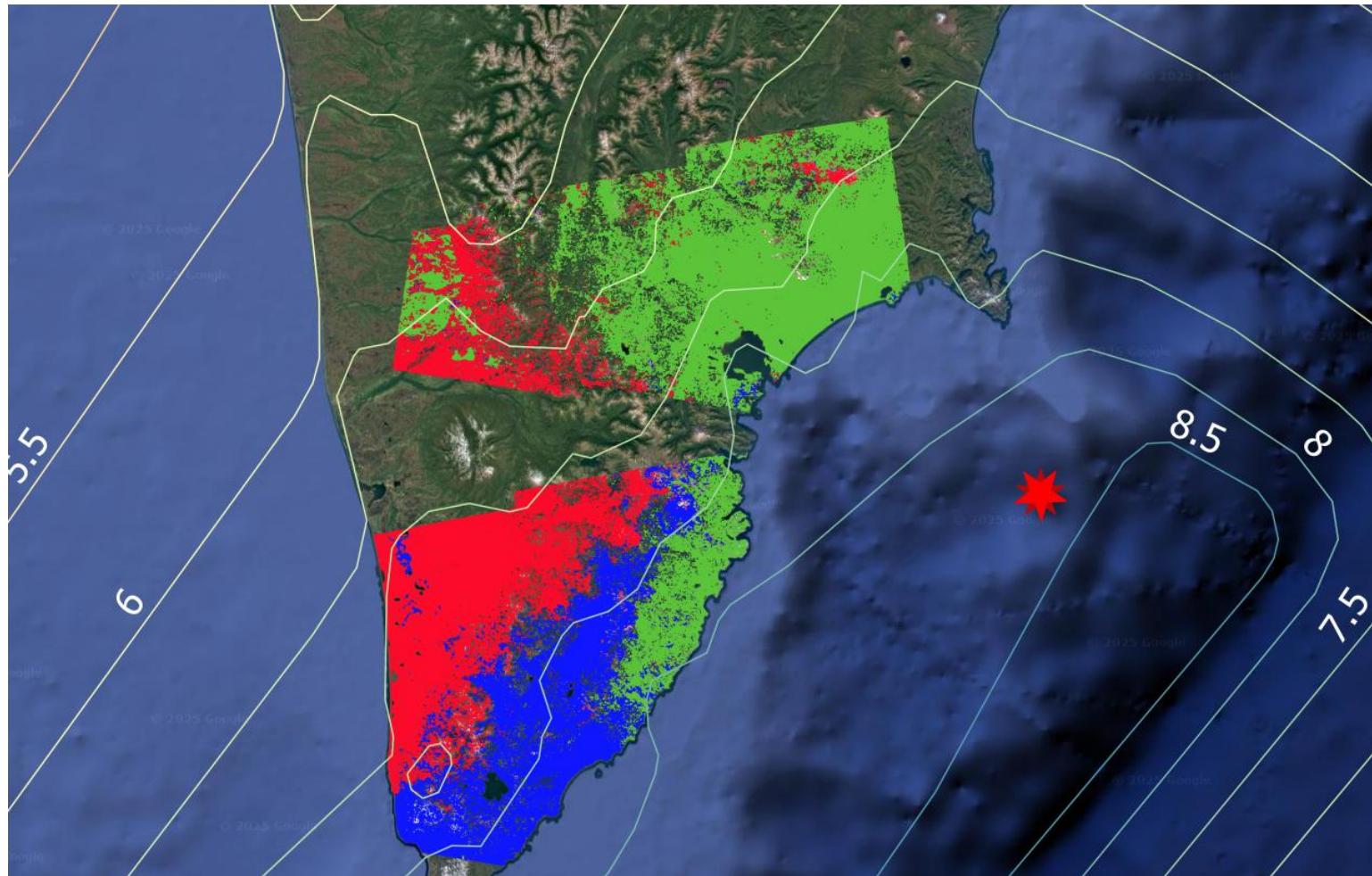
Z. Yunjun, H. Fattahi, F. Amelung, Small baseline InSAR time series analysis: Unwrapping error correction and noise reduction, Computers & Geosciences, Volume 133, 2019, 104331, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2019.104331>.

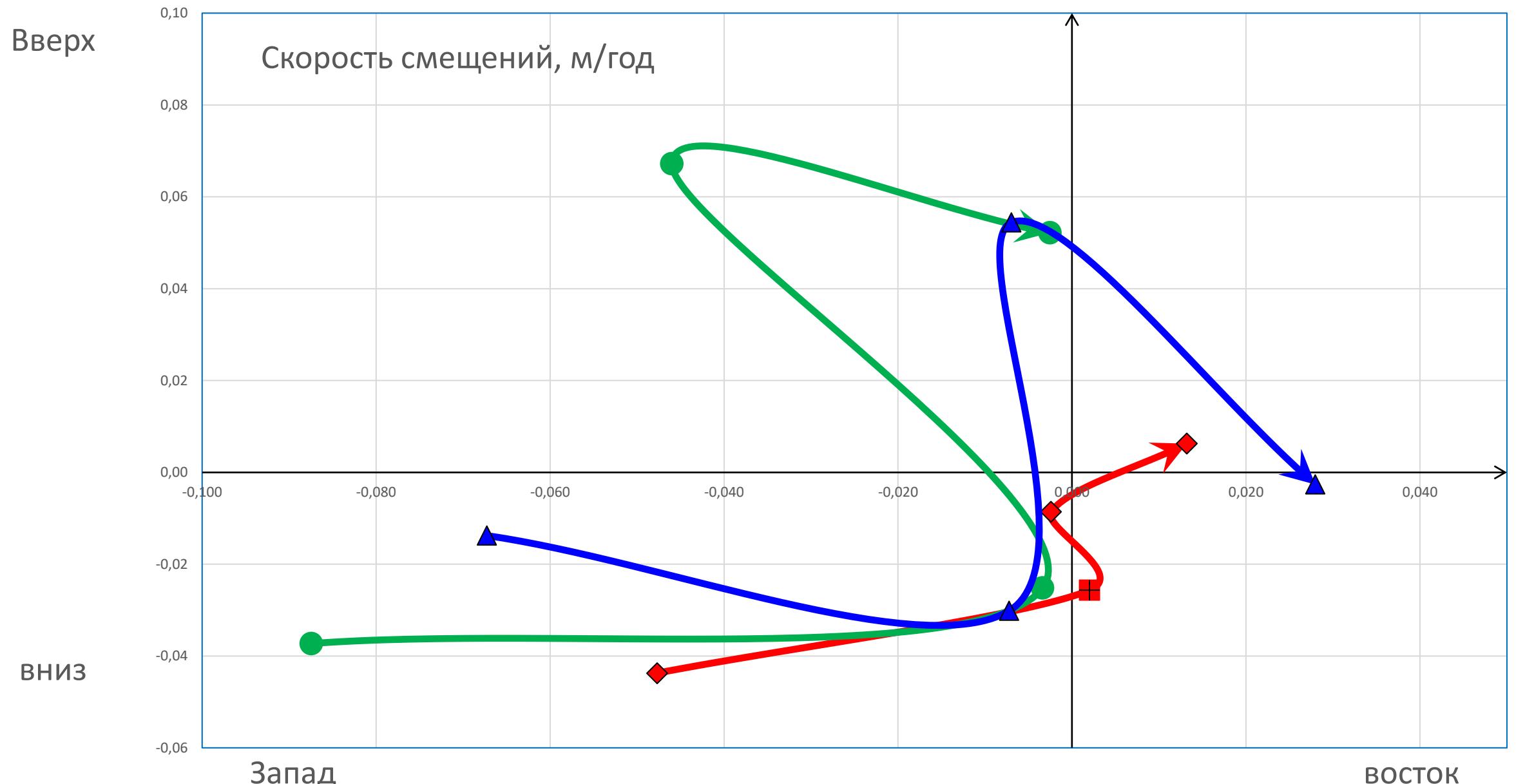


Расчёты скоростей смещения (за каждые 2-2.5 года) по направлению запад-восток и по вертикали по общей части изображений восходящего и нисходящего витков раздельно для нижнего и верхнего кадров выполнены аналогично работам:

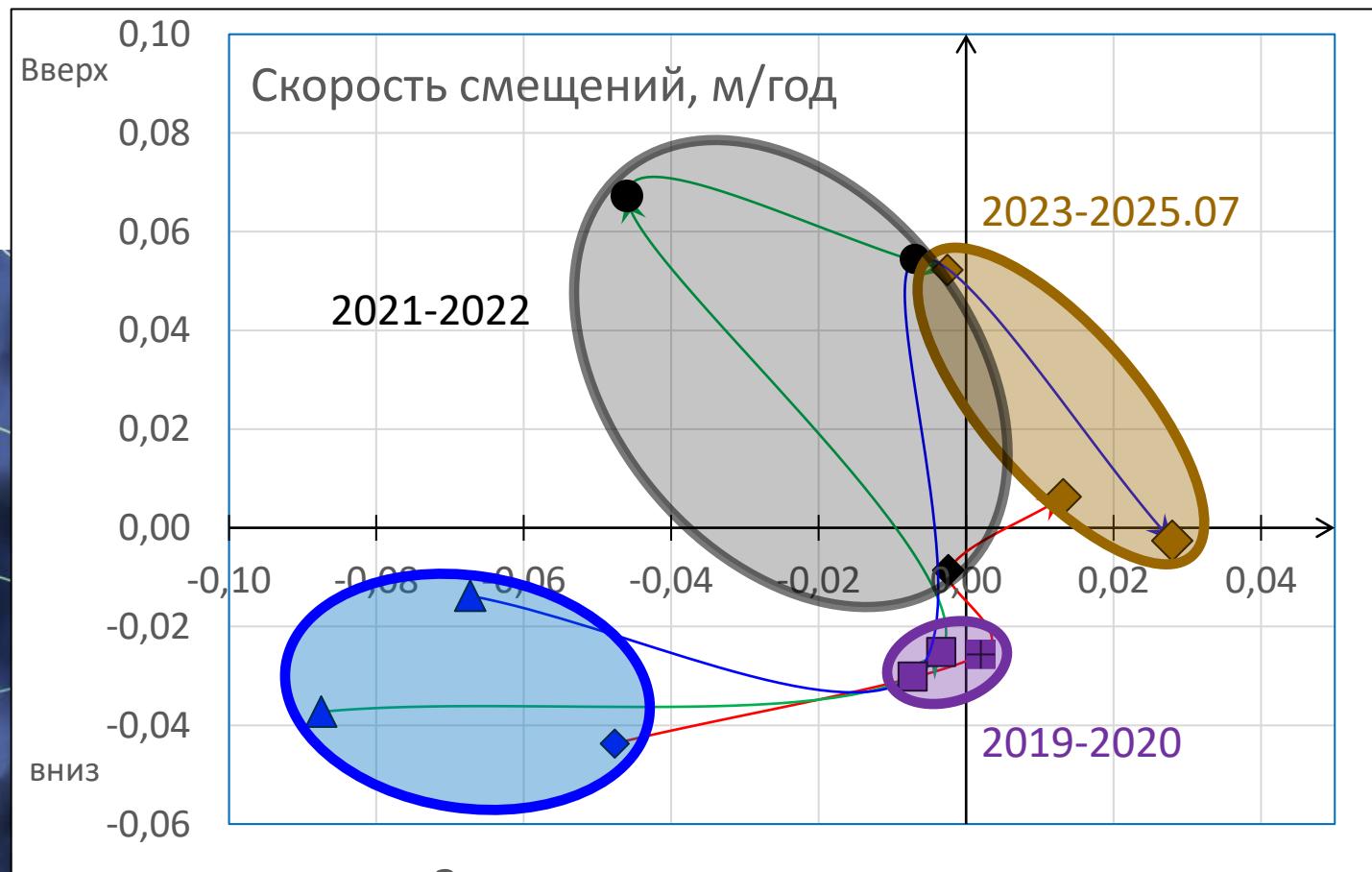
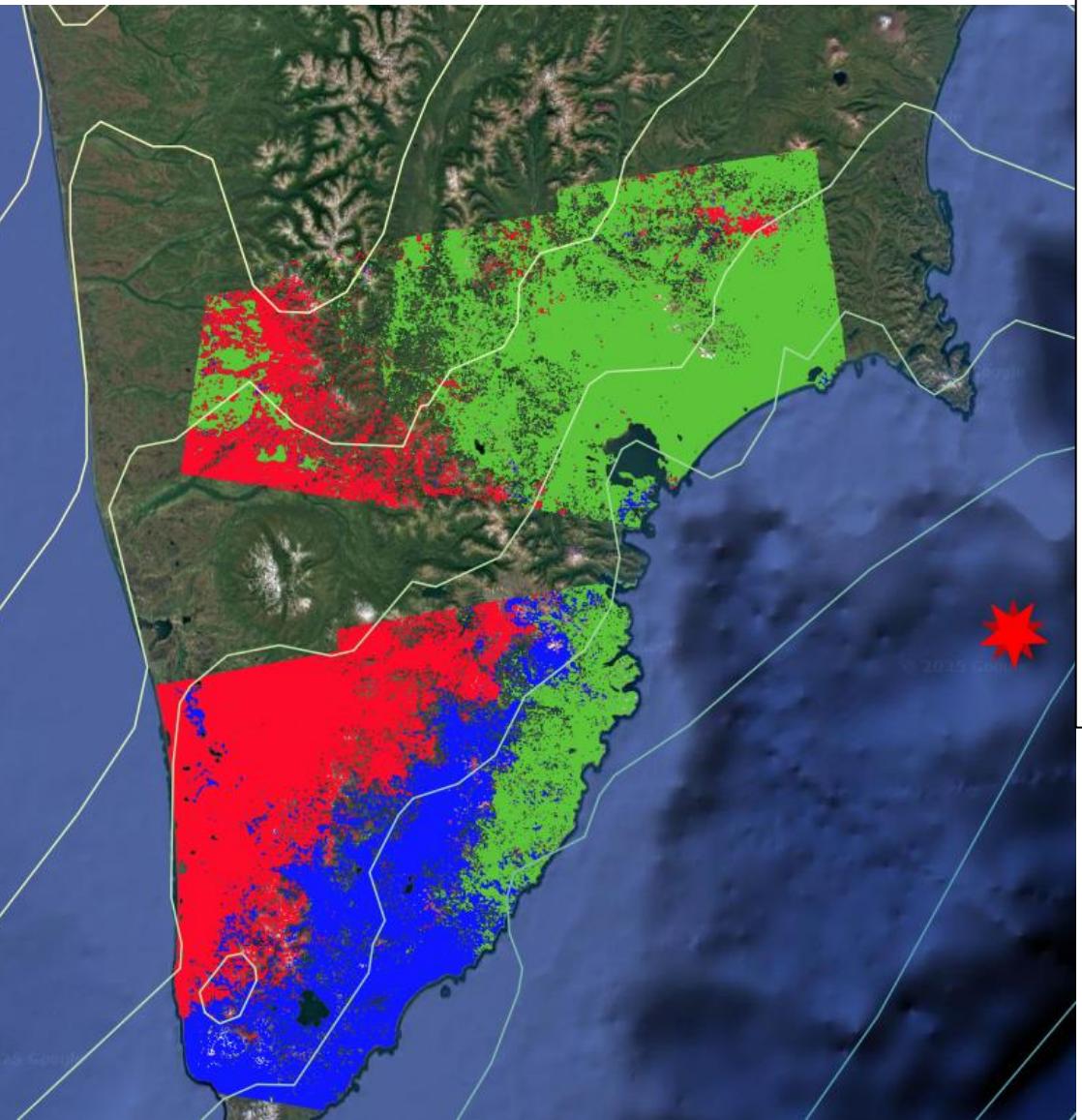
- О точности расчёта вертикальной и восточной компонент смещения земной поверхности по снимкам спутниковых радаров с синтезированной апертурой с двух орбит / И. П. Бабаянц, В. О. Михайлов, Е. П. Тимошкина, С. А. Хайретдинов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2023. – Т. 20, № 2. – С. 135-143. – DOI 10.21046/2070-7401-2023-20-2-135-143.
- Fuhrmann, T.; Garthwaite, M.C. Resolving Three-Dimensional Surface Motion with InSAR: Constraints from Multi-Geometry Data Fusion. *Remote Sens.* 2019, 11, 241.
<https://doi.org/10.3390/rs11030241>

4. Создание многоканального изображения (всего 8 каналов за каждые 1.5-2 года, в т.ч. 4 разновременных по направлению запад-восток и 4 по вертикали).
5. Сегментация на крупные **геоблоки со сходной динамикой** при помощи кластерного анализа многоканального изображения поля скоростей смещений.

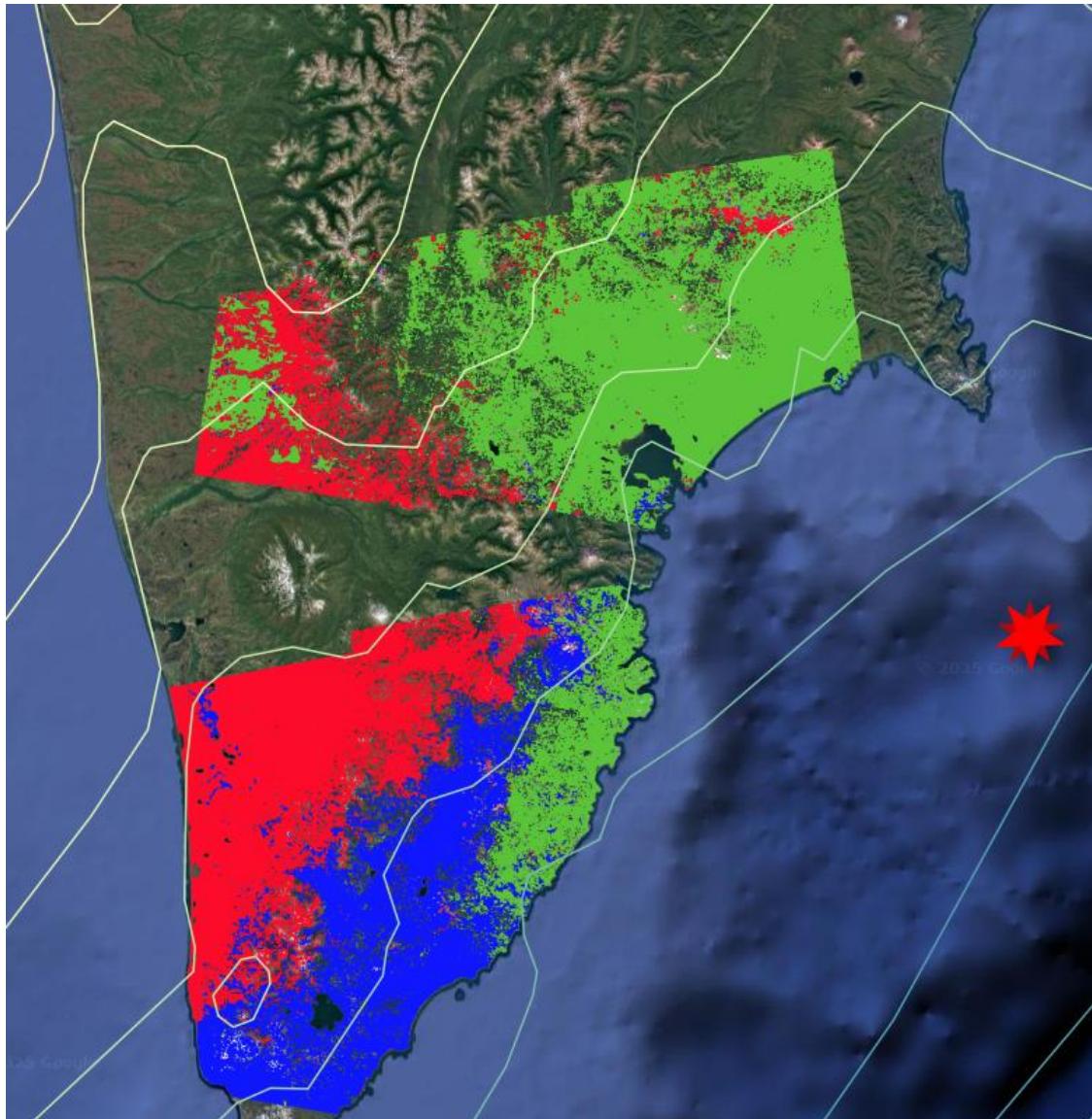




Интерпретация результатов



Результат SBAS InSAR (Sentinel-1) в
период с 2017 до июля 2025 г.



Результат DInSAR (ALOS-2 PALSAR-2) по паре
14.09.2024 г. – 02.08.2025 г.

