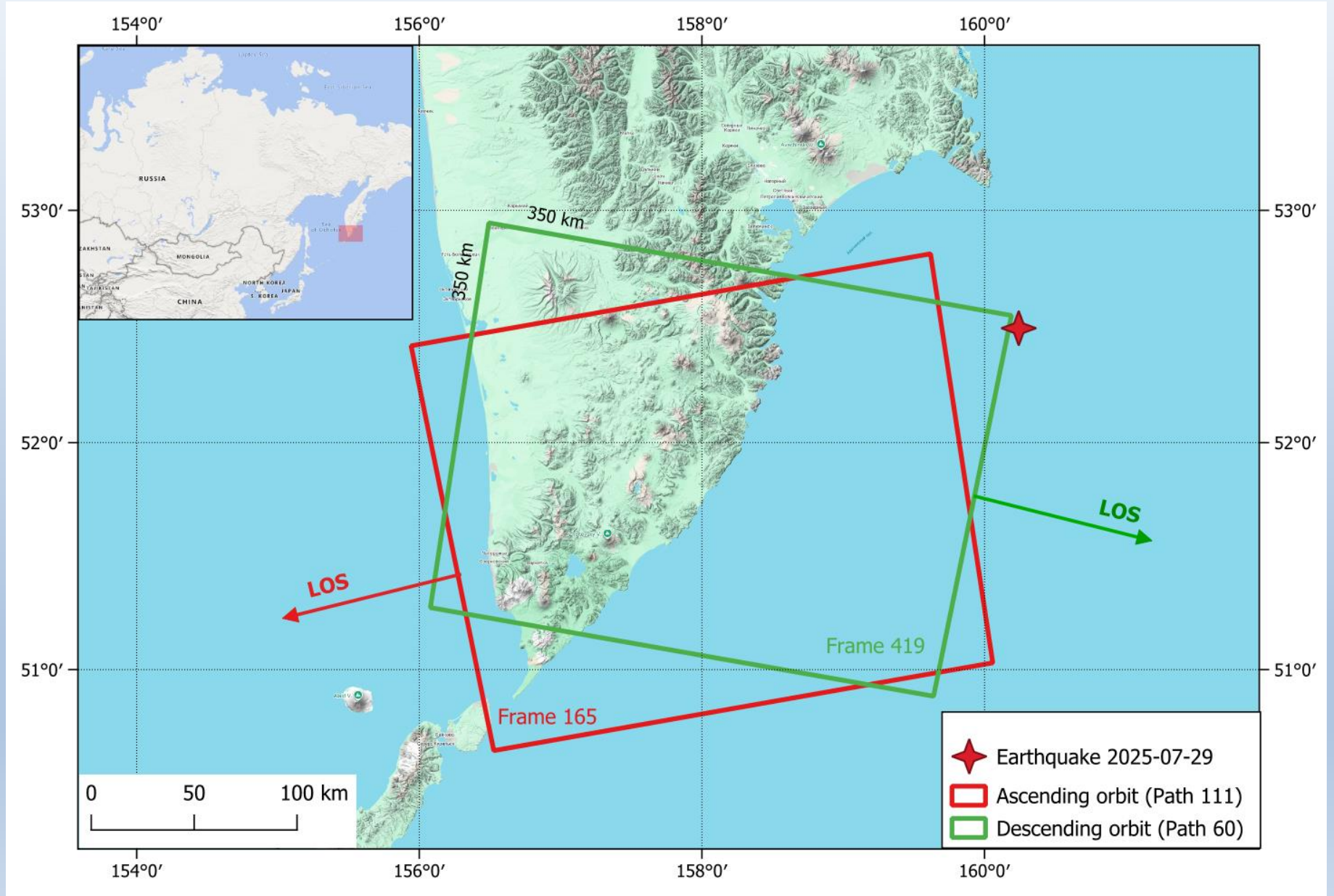
XXIV международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»
9 - 13 ноября 2026 г.

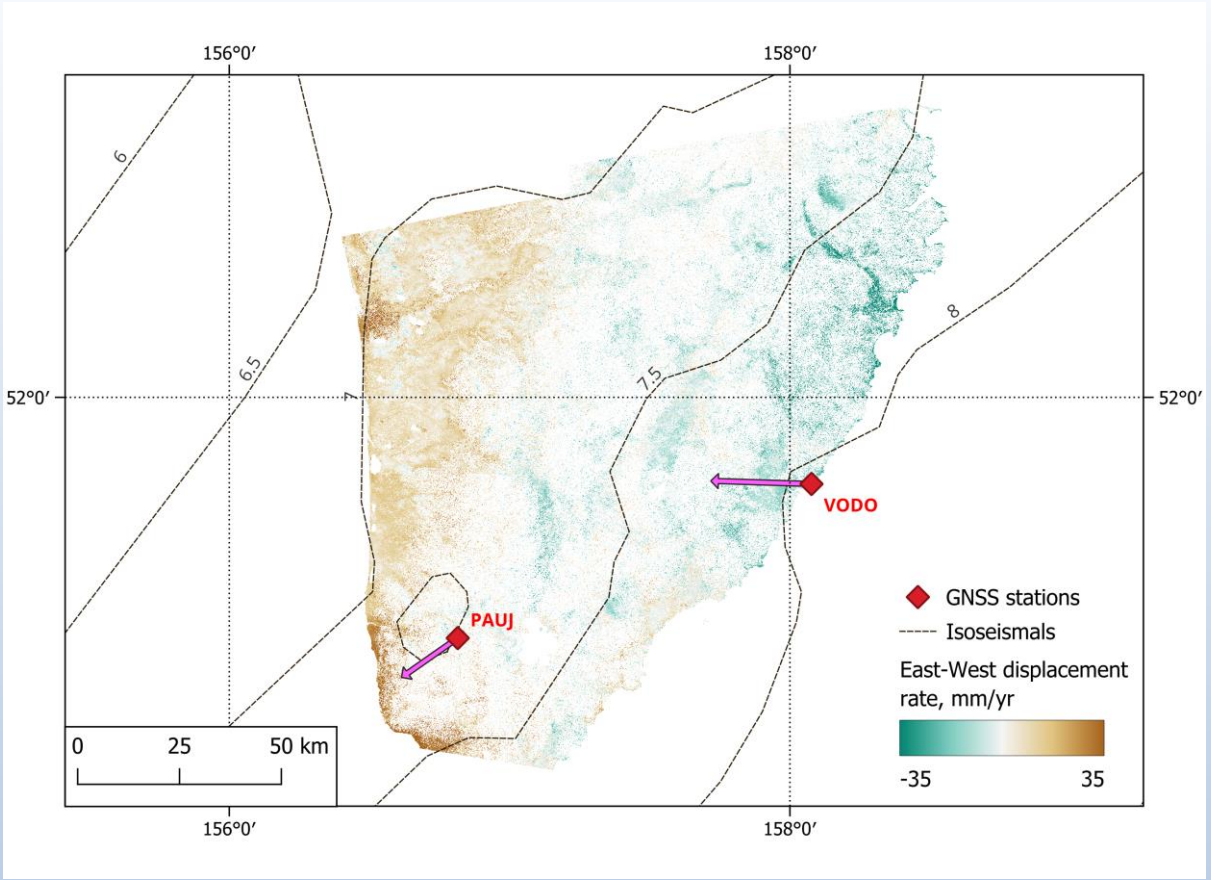
Радиолокационная интерферометрическая оценка геодинамики на юге Камчатки в период до и после землетрясения 29 июля 2025 года.

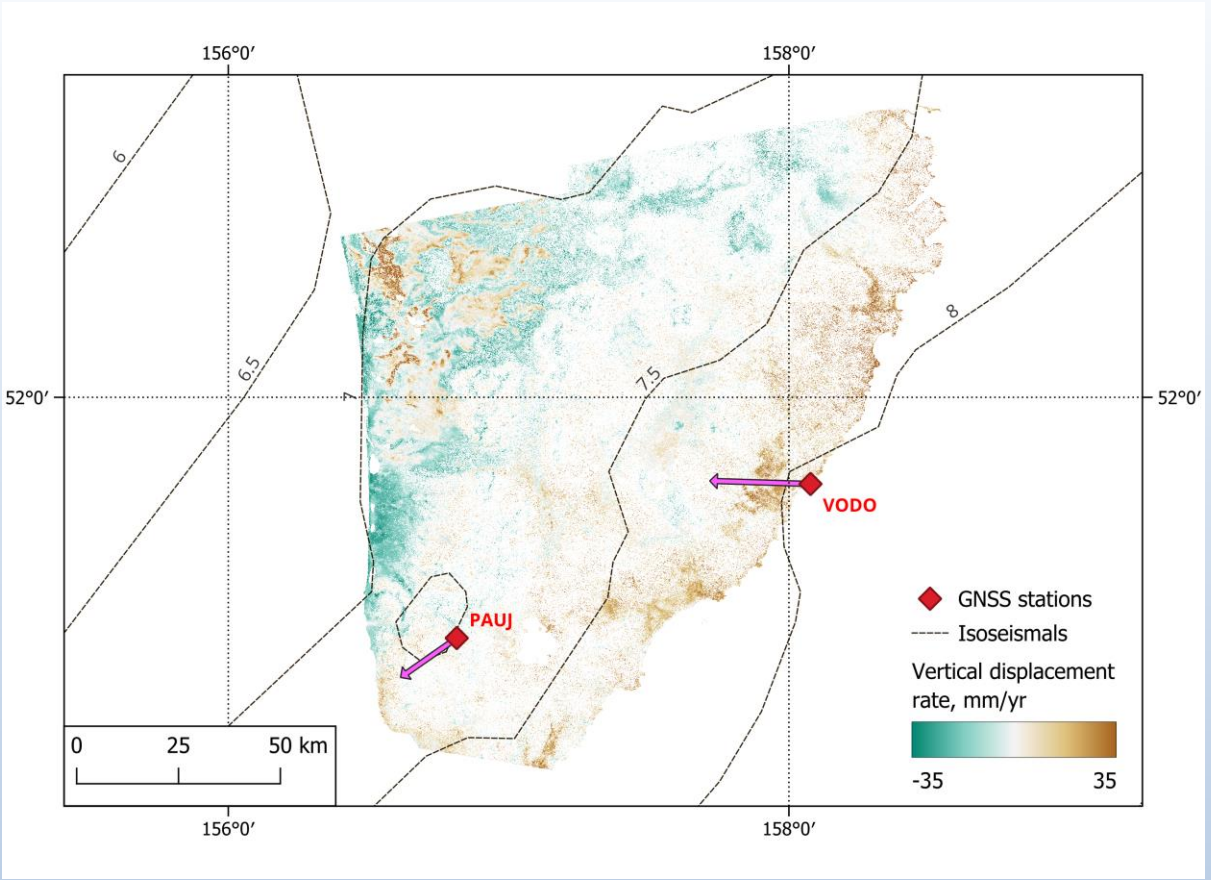
Чимитдоржиев Т.Н.*, Дмитриев А. В.*, Титков Н.Н. **,
Кирбижекова И.И.*, Балтухаев А. К.*, Дамдинов З.Ш.*, Дарибазарон Э.Ч.***,
*- ИФМ СО РАН, г. Улан-Удэ,
**- КФ ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский
*** - ВСГУТУ, г. Улан-Удэ

Оценка геодинамики в период до землетрясения (май 2017 г. - июль 2025 г.)

Кадры Sentinel-1: нисходящая Path 60/Frame 419, восходящая Path 111/Frame 165. Звезда – эпицентр землетрясения 29.07.2025 23:24 UTC (USGS). Стрелки LOS – направление на спутник (положительное смещение – к спутнику)»

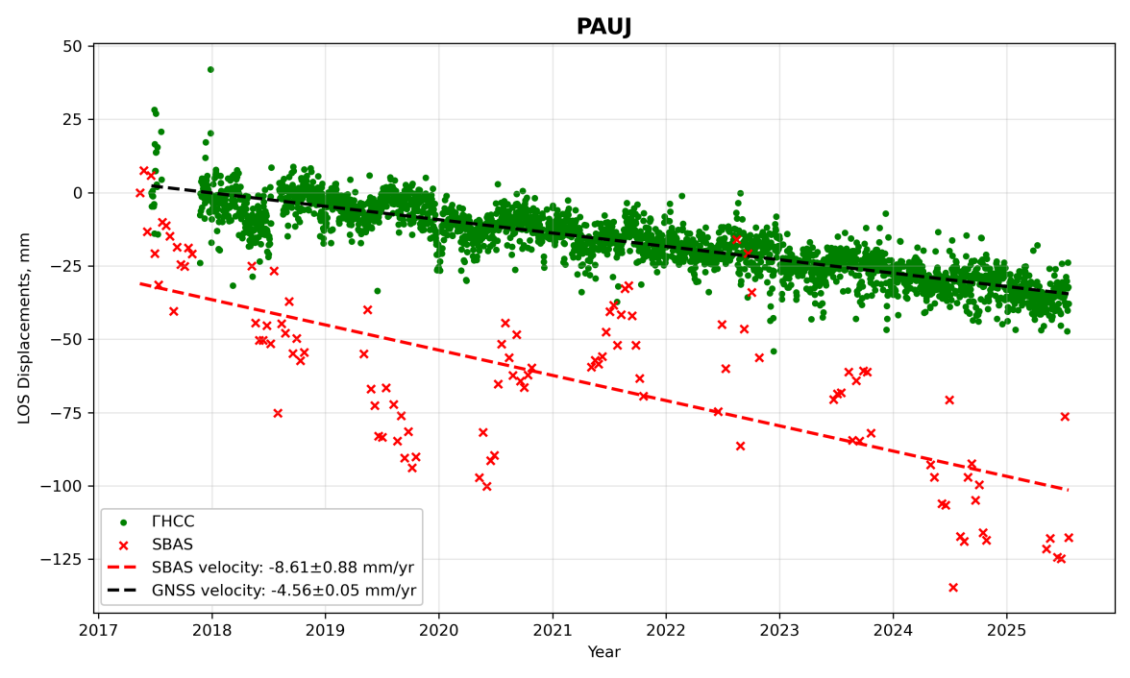


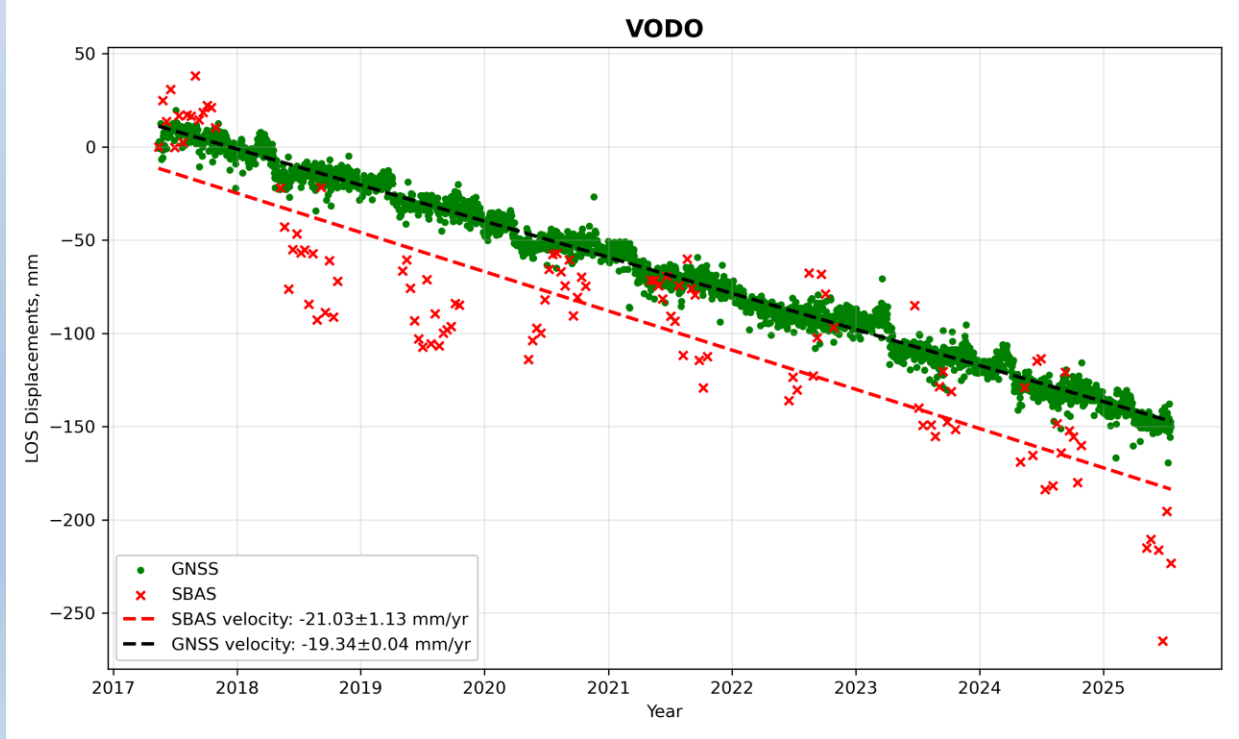


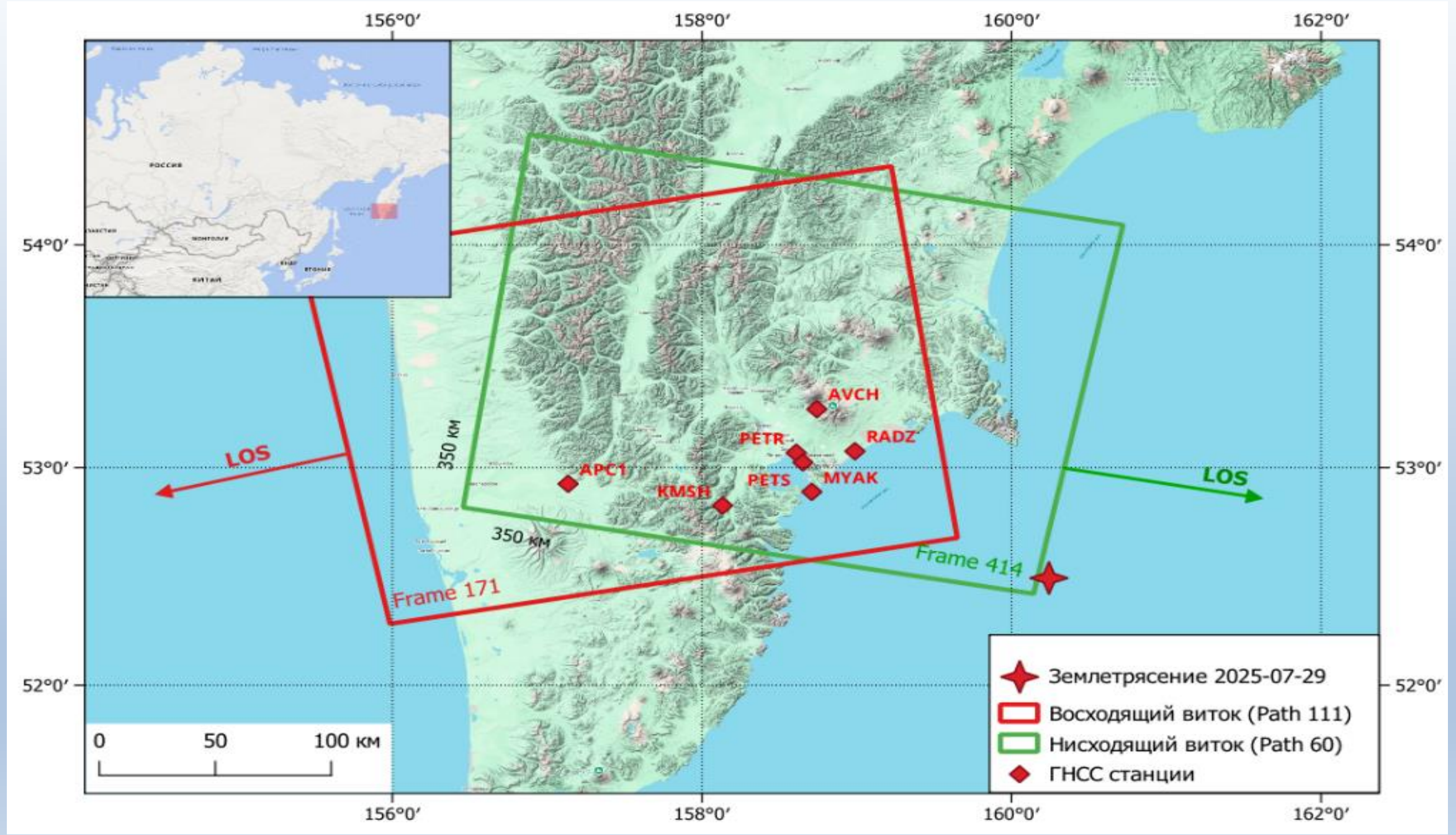


Assessing Pre-Seismic Deformation in Southern Kamchatka: A Joint SBAS-InSAR and GNSS Analysis Prior to the July 29, 2025 Earthquake / V. Bondur, T. Chimitdorzhiev, A. Dmitriev [et al.] // Russian Journal of Earth Sciences. – 2026. – Vol. 26, No. 2. – P. ES2003. – DOI 10.2205/2026es001113.

Смещения вдоль линии радиолокационного обзора (LOS)

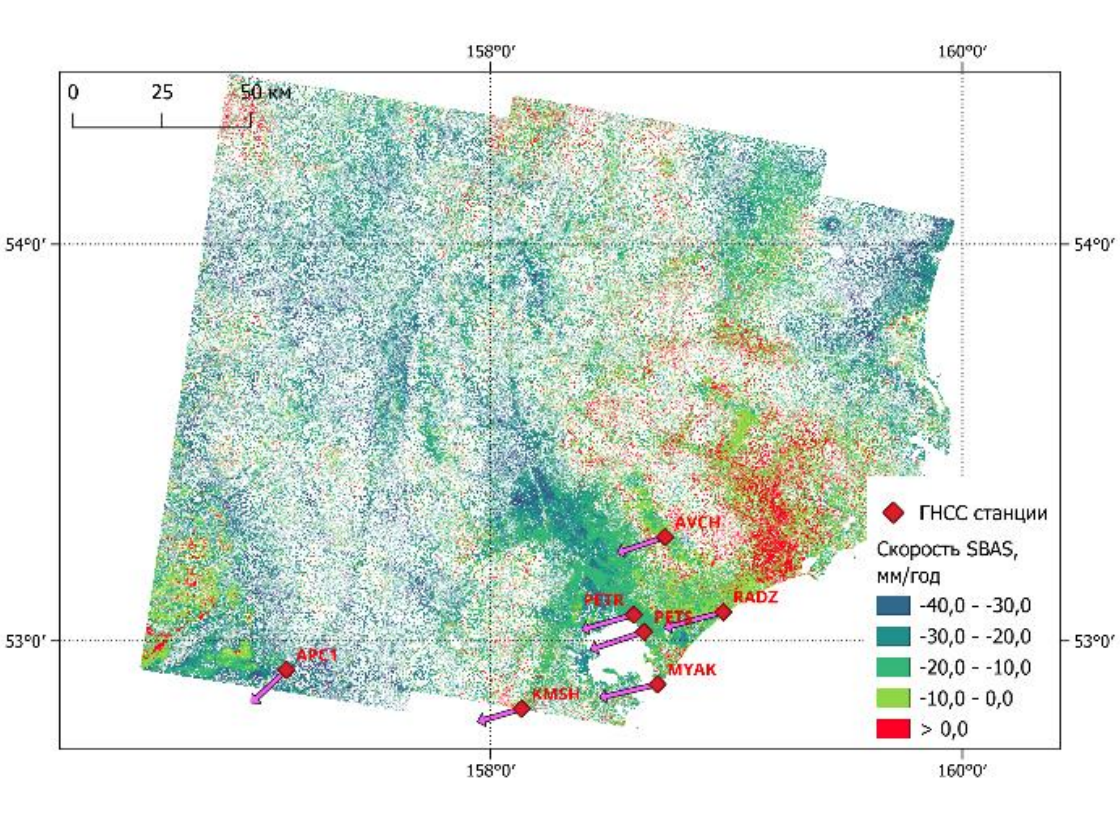




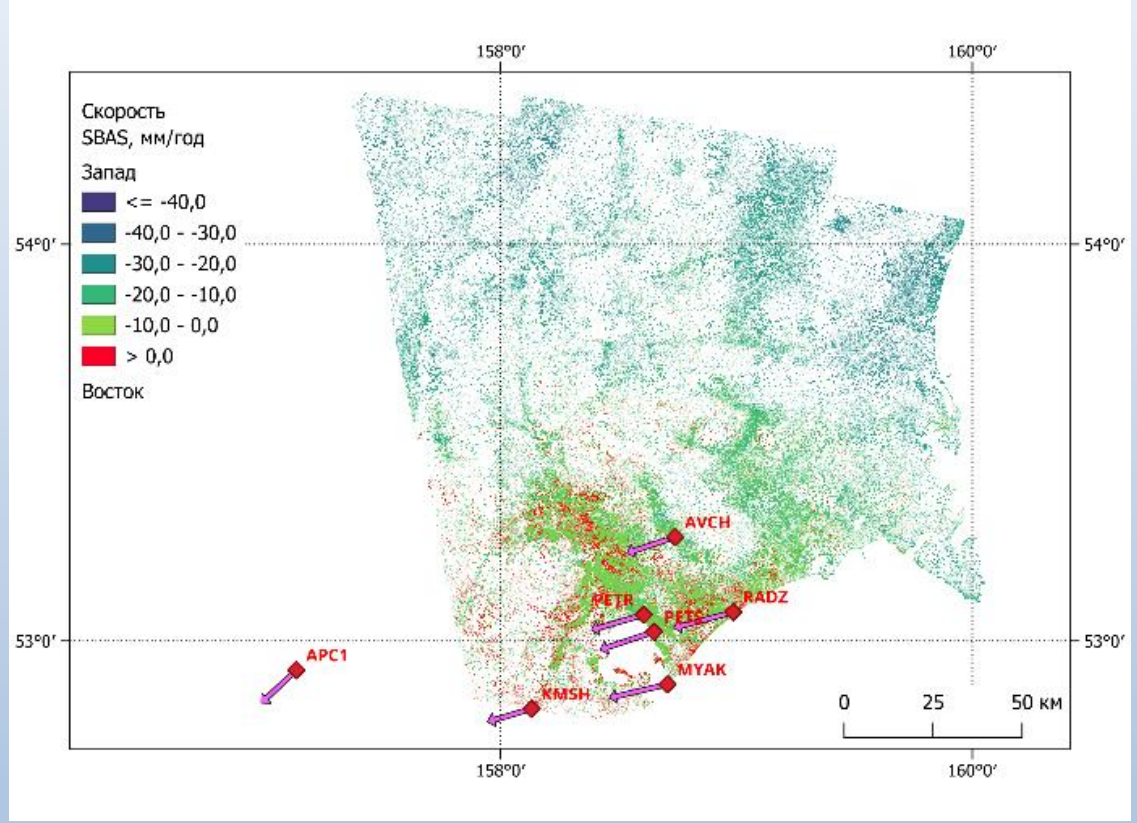

156°0′
158°0′
160°0′
162°0′
54°0′
53°0′
52°0′
AVCH
PETR
RADZ
APC1
PETS
MYAK
KMSH
350 км
350 км
LOS
LOS
Frame 171
Frame 414
0
50
100 км
Землетрясение 2025-07-29
Восходящий виток (Path 111)
Нисходящий виток (Path 60)
ГНСС станции

Поле скоростей смещений до землетрясения в районе Петропавловска-Камчатского:

вдоль линии радиолокационного обзора для нисходящего витка



для направления запад-восток по горизонтали



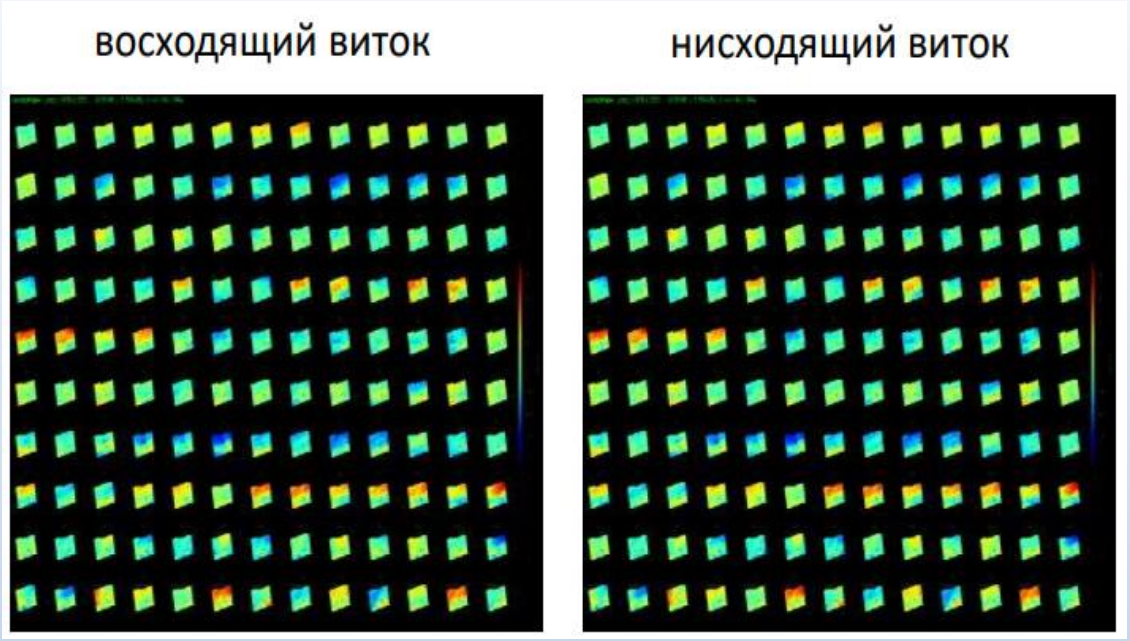
Совместный анализ временных рядов данных спутниковой радиолокационной интерферометрии с-диапазона и ГНСС измерений в период подготовки сильнейшего землетрясения на Камчатке 29 июля 2025 Г. (Mw=8.8) / В. Г. Бондур, Т. Н. Чимитдоржиев, А. В. Дмитриев [и др.] // Исследование Земли из космоса. – 2026. – № 3. – С. 83-96. – DOI 10.7868/S3034540526030075.

Оценка геодинамики после землетрясения (31 июля 2025 г. - 19 сентября 2026 г.)

Алгоритм обработки:

1. Функционал онлайн платформы Alaska Satellite Facility's Hybrid Pluggable Processing Pipeline (HyP3) (Hogenson et al., 2020). В итоге были получены 321 изображение развернутой фазы на восходящем и 275 на нисходящем витках.
2. Свободно доступное ПО MintPy, которое поддерживает данные, полученные из ASF.

Yunjun Z., Fattahi H., Amelung F. Small baseline InSAR time series analysis: Unwrapping error correction and noise reduction // Computers & Geosciences. 2019. Vol. 133. P. 104331.





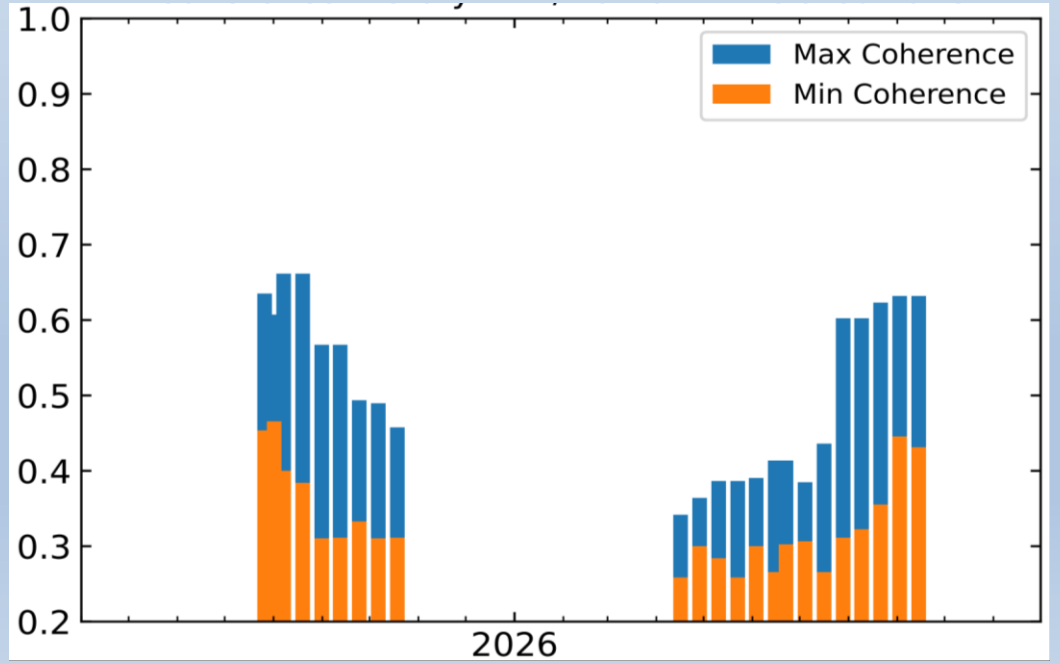
Подбор данных для SBAS InSAR

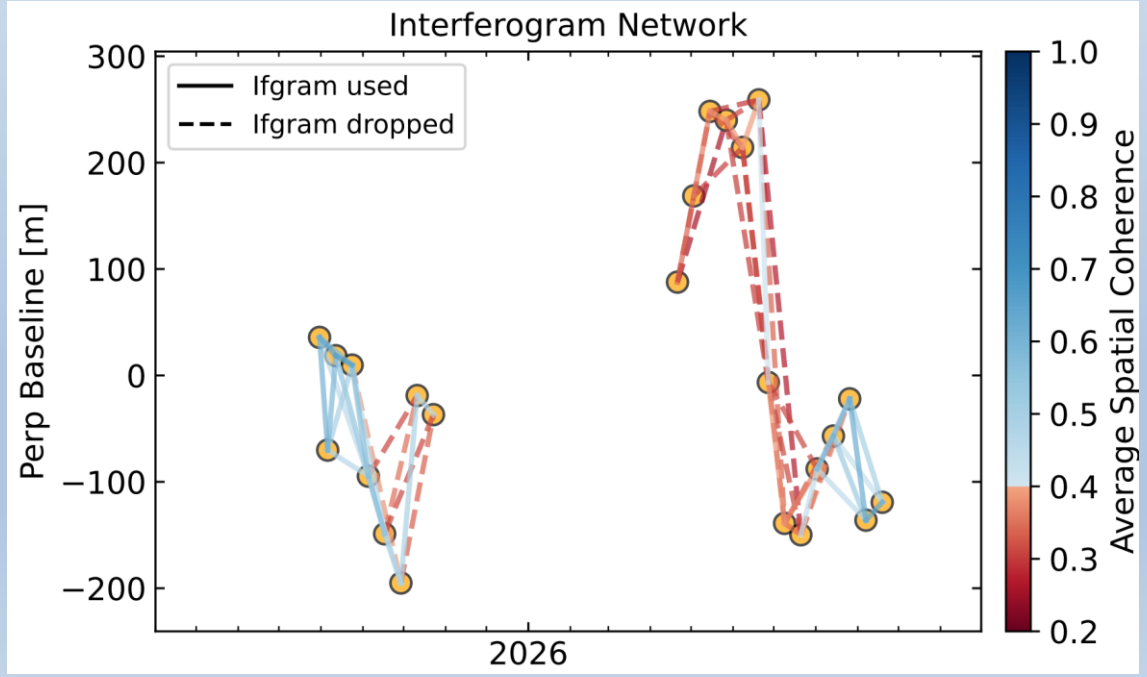
	Path 60 / Frame 419	Path 111 / Frame 165
Всего интерф.	57	51
Использовано	35	36
Число дат съемки	23	22

Коррекция атмосферы: учёт тропосферной компоненты (по ERA-5) и/или эмпирическая коррекция по высоте.

Дополнительный учёт шумов: выбор данных по пространственной когерентности сцены (более 0.4) и по временной когерентности (более 0.7).

Снежный покров достигает 40-250 см, поэтому используются данные с мая по октябрь.



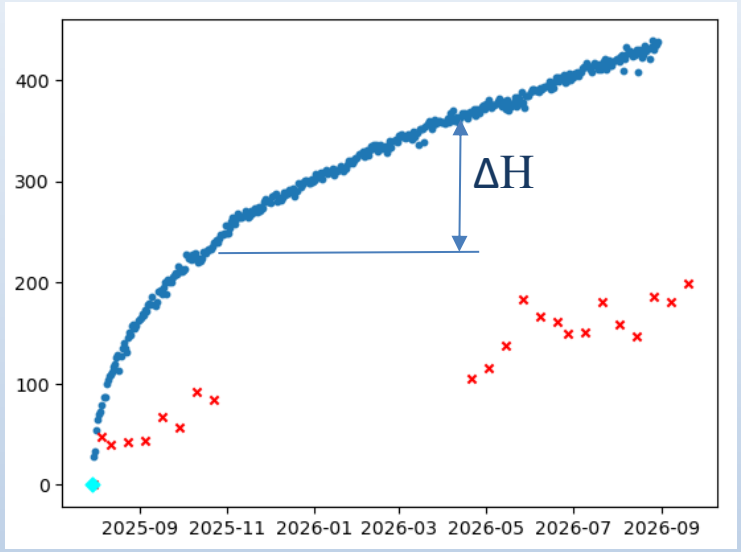


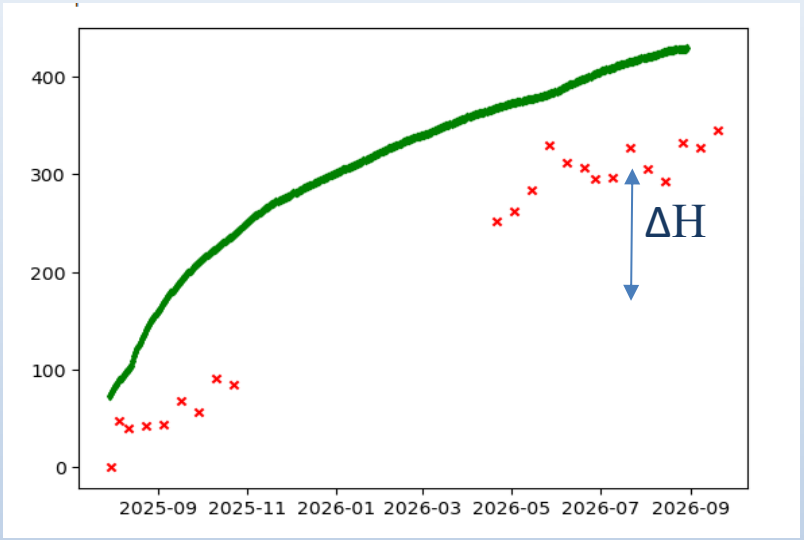
Корректировка временного ряда смещений по SBAS InSAR «бесснежного» периода по данным ГНСС

Исходные данные

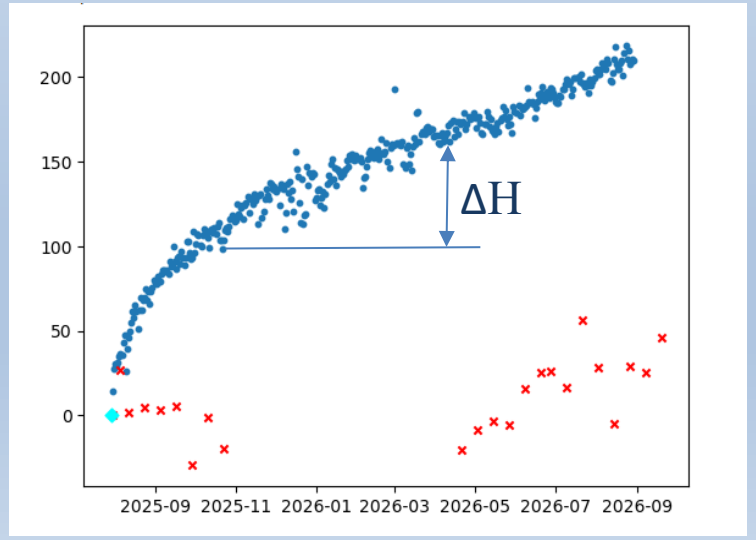
После коррекции

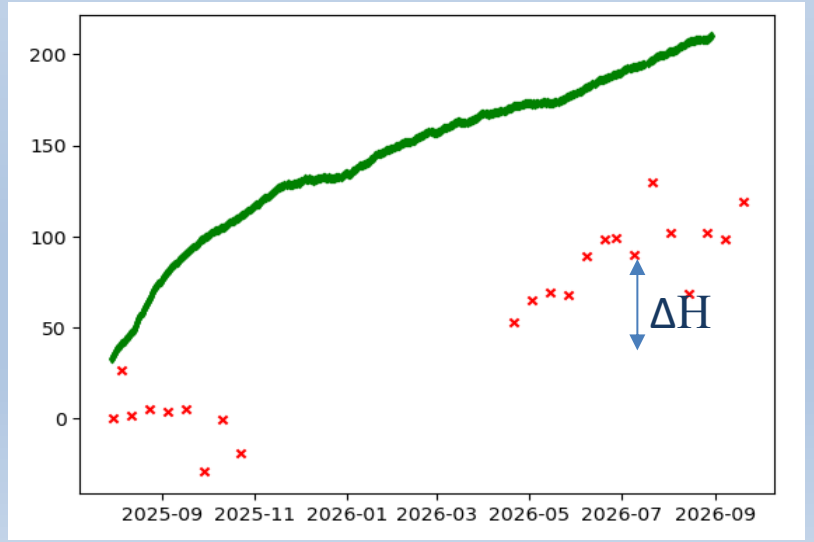
Временной ряд смещений по ГНСС VODO и SBAS (радиусом 650 м от ГНСС) вдоль LOS



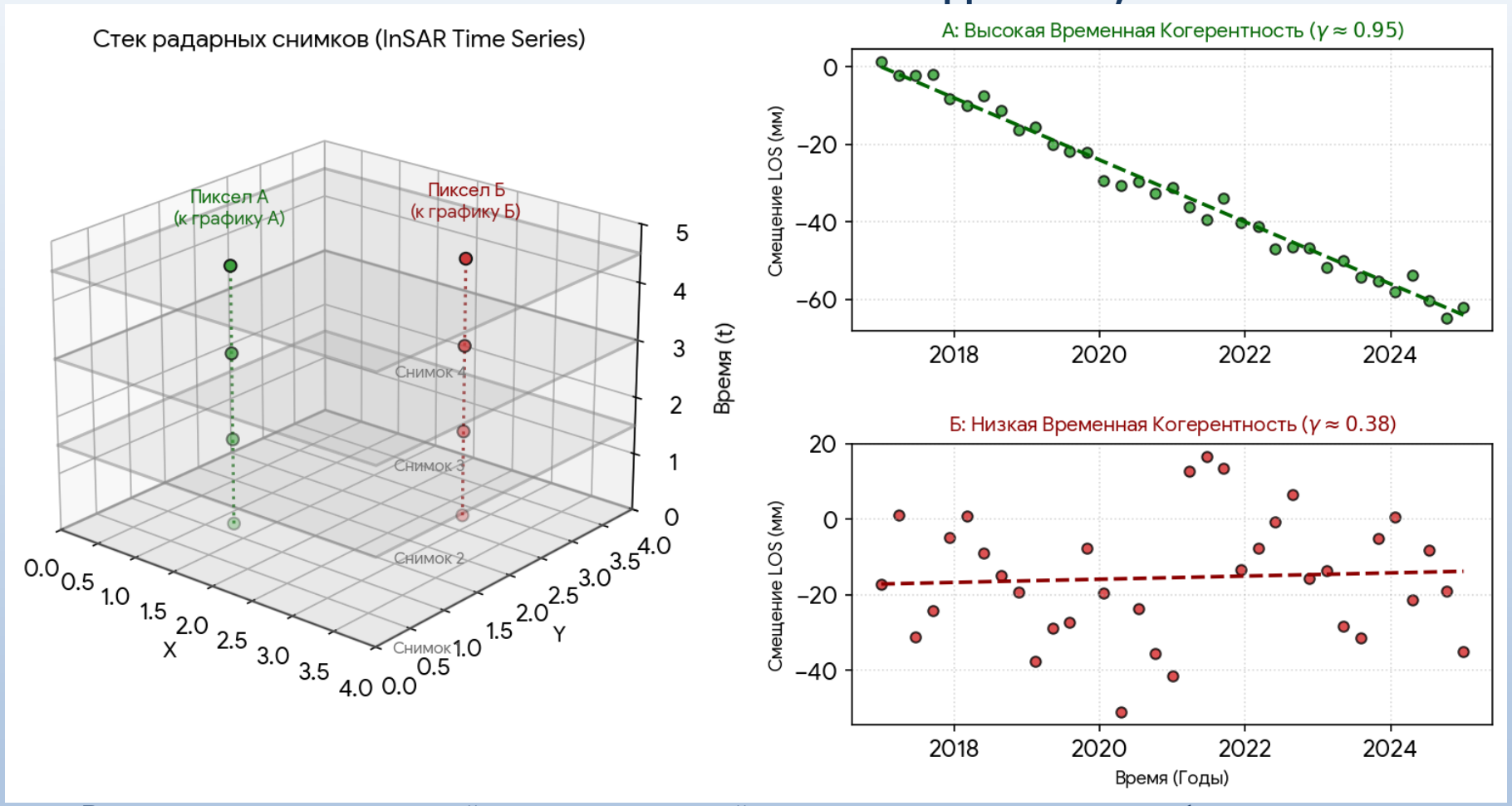


Временной ряд смещений по ГНСС PAUJ и SBAS (радиусом 650 м от ГНСС) вдоль LOS





Пример временной когерентности (невязки теоретического тренда и эмпирических данных)



Данный пиксель на земле ведет себя предсказуемо и стабильно: нет тропосферных задержек или изменения влажности, а развертка фазы верная.

Разброс точек вызван сезонным изменением растительности, влажности почвы или атмосферой. Скачок указывает на ошибку развертки фазы. Этот пиксель удаляется.

Временная когерентность по своей сути является невязкой и вычисляется на основе остаточных фаз между реальными и смоделированными интерферограммами:

$$\gamma = \frac{1}{M}\left|\sum_{p=0}^{M-1} \exp\left[j(\varphi_p - \overline{\varphi}_p)\right]\right|, 0 \le \gamma \le 1.$$

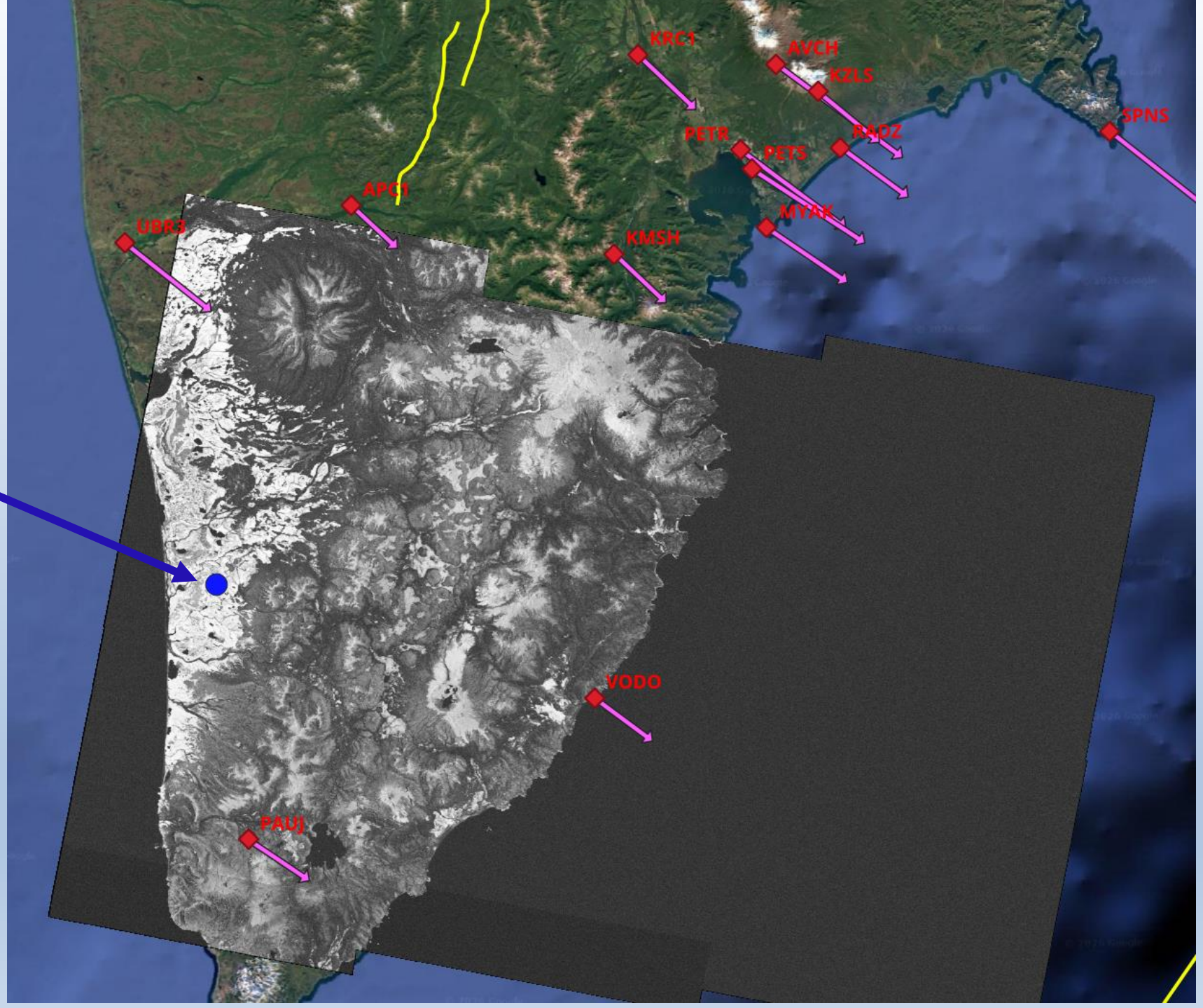
Здесь M — количество интерферограмм, φ_p и $\overline{\varphi}_p$ — реальная и оценённая фазы для p-ой интерферограммы. Значение γ лежит в пределах от 0 до 1 и отражает степень согласованности фаз во времени. Высокие значения (близкие к 1) указывают на то, что принятая модель (линейный тренд) хорошо описывает реальные фазовые изменения.

Референсная (опорная) точка

Скорость смещения опорной точки рассчитана по станциям ГНСС VODO и PAUJ:

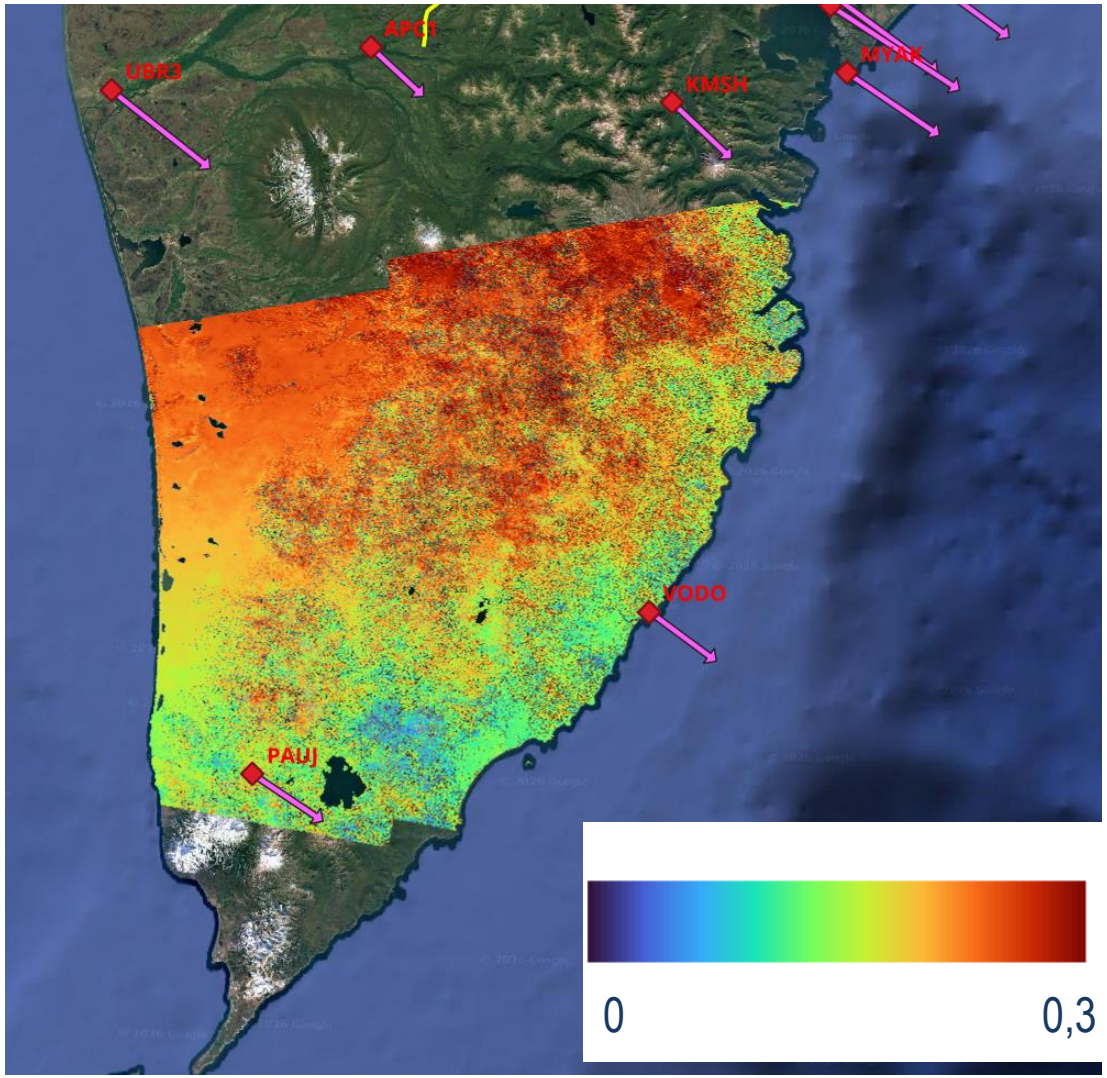
ΔV_E =219,63 mm/yr

ΔV_U =51,71 mm/yr

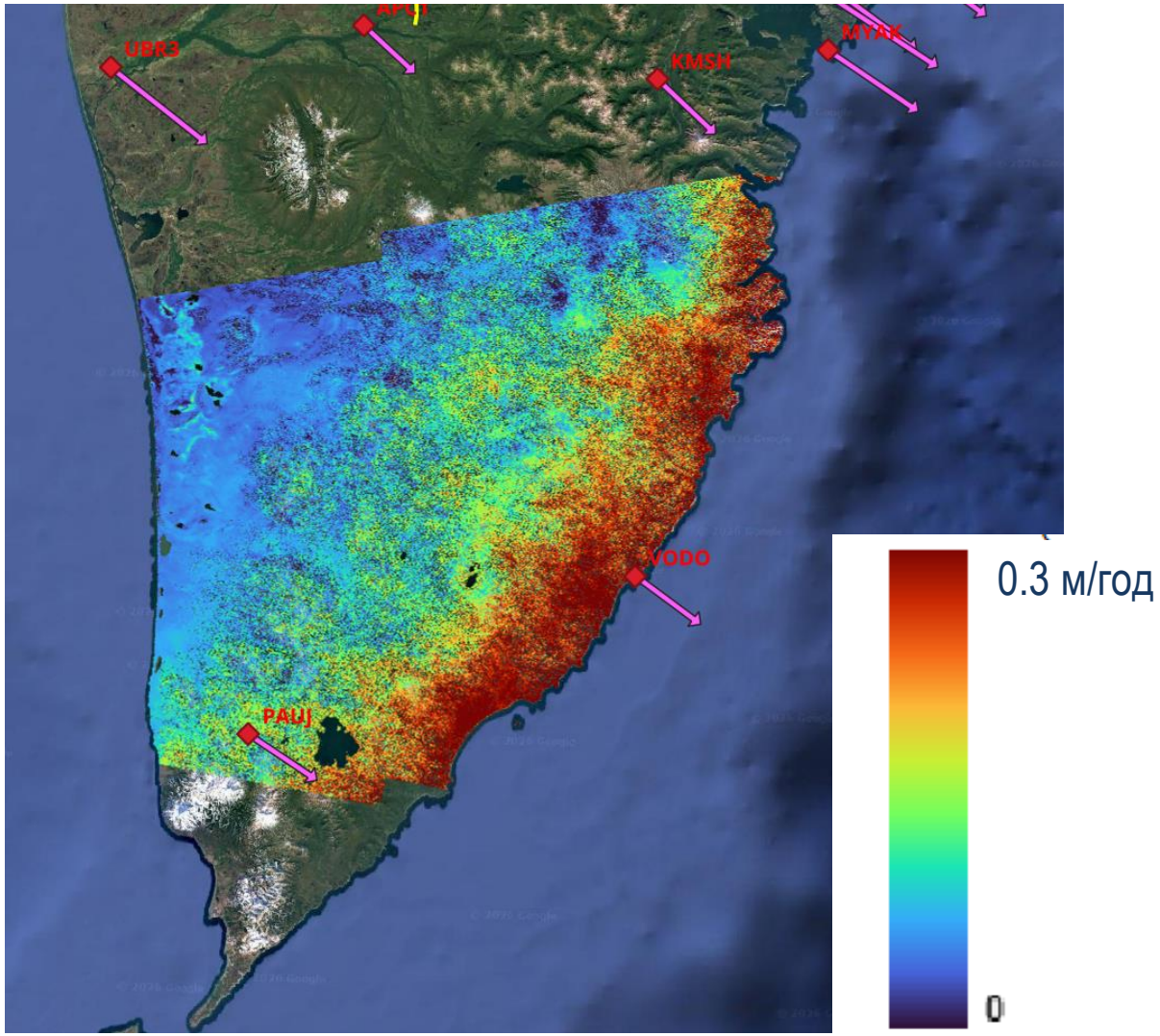


Поле скоростей смещений (SBAS InSAR) после землетрясения

по направлению на восток

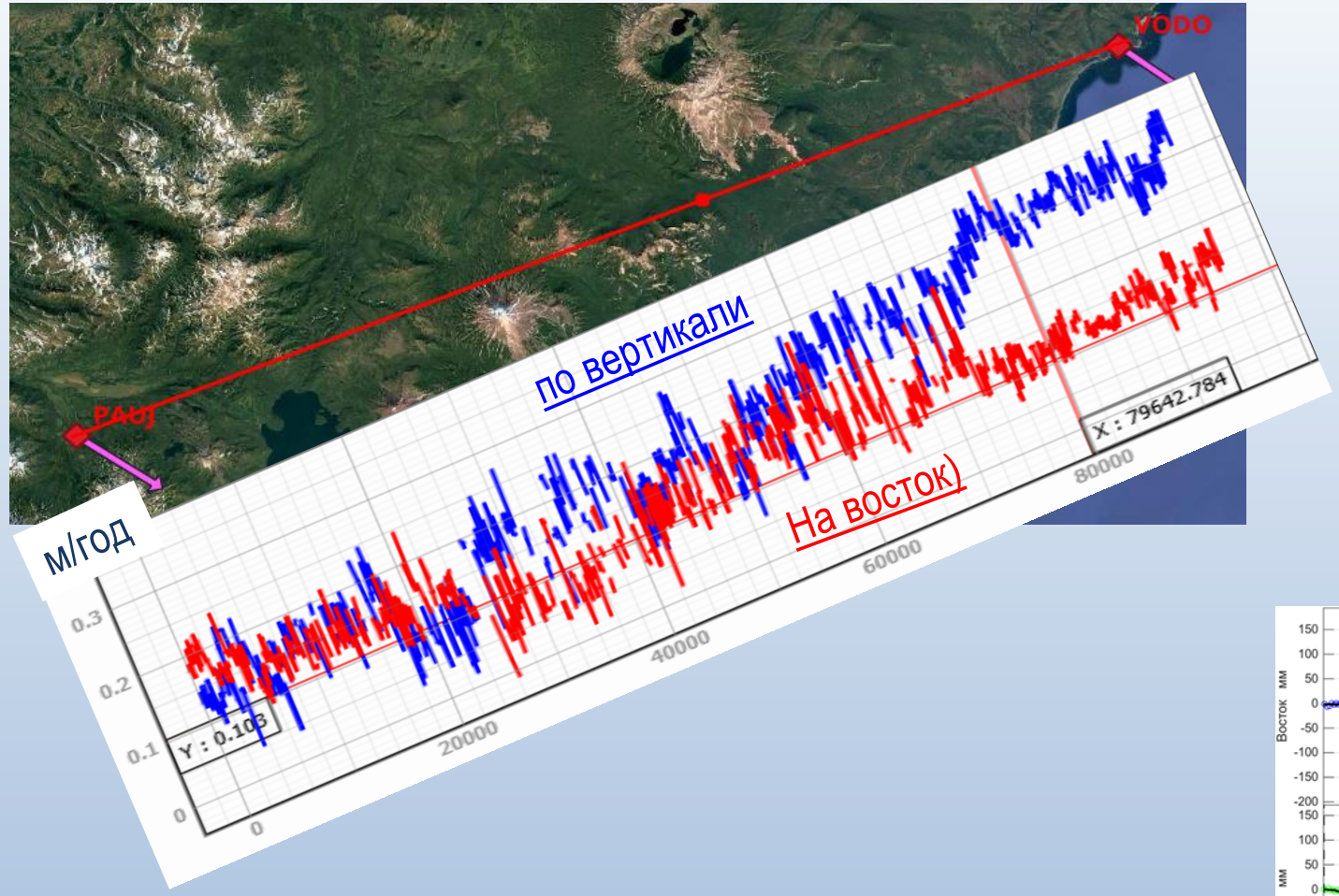


по вертикали вверх



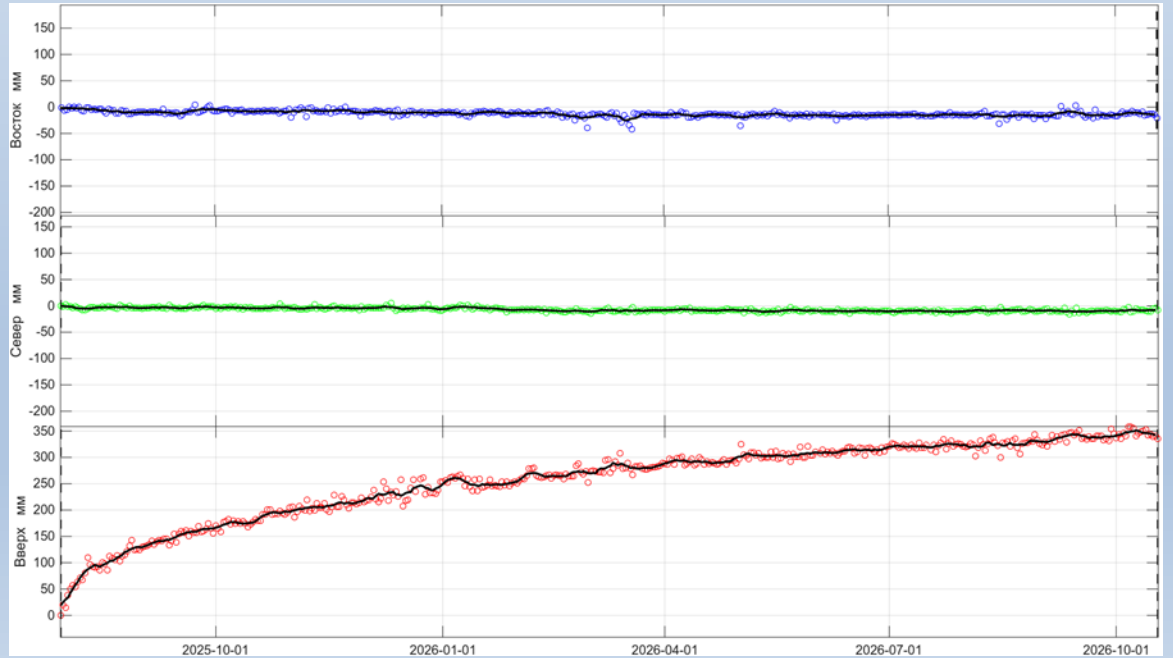
Западный блок смещается со скоростью до 28 см/год на приокеанический восточный блок, на который с др. стороны двигается океаническая плита. В итоге восточный блок испытывает рост напряжений, который реализуется в его интенсивном вертикальном выжимании вверх со скоростью до 30 см/год

Профиль поля скоростей смещений (после землетрясения) вдоль линии PAUJ-VODO



Кумулятивное смещение по вертикали составляет 35 см.

Смещение (мм) ГНСС VODO относительно PAUJ



Заключение.

По SBAS за 31.07.2025–19.09.2026 прибрежный восточный геоблок, включая ГНСС VODO, смещается к востоку и вверх: накопленное LOS ~430 мм (PAUJ ~210 мм), относительное поднятие VODO над PAUJ 35 см. Максимум смещения на восток (~0,28 м) в северо-западной части, подъём (до ~0,3 м) у побережья.

В качестве рабочей гипотезы интерпретации наблюдаемой кинематики (смещение к океану и подъём прибрежной восточной зоны полуострова) рассматривается эффект «тектонического подпора» – накопление напряжений в прибрежном геоблоке.

Ограничения:
опорная точка оценена по двум станциям, а SBAS в первый сезон занижает смещения. Поэтому пространственные градиенты считаются предварительными.

