

**XXII международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ
КОСМОСА»
11 - 15 ноября 2024 г.**

**Результаты радиолокационных
интерферометрических измерений геодинамики в
период до и после сейсмособытий в Турции
6 февраля 2023 года**

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

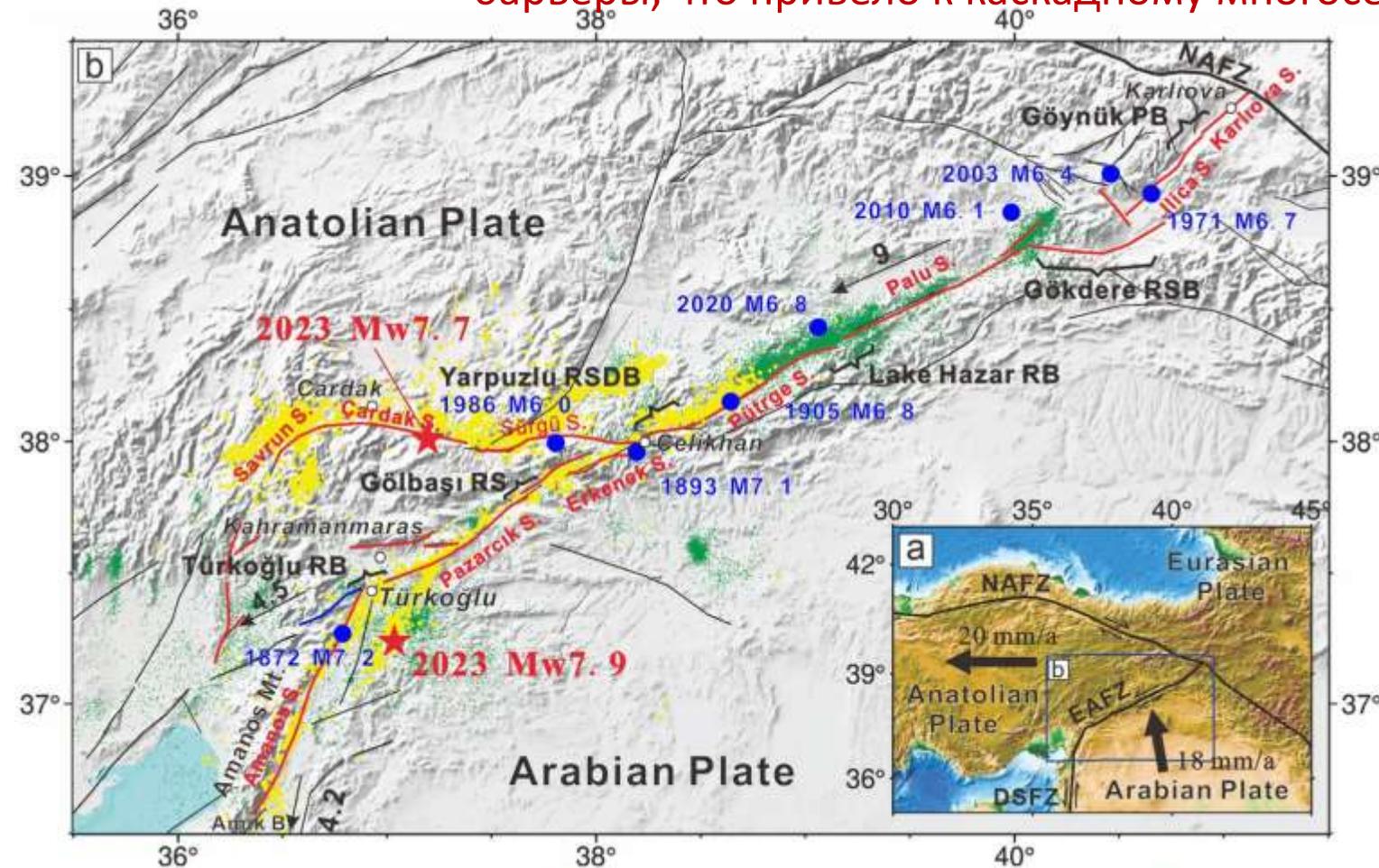
Дарибазарон Э.Ч.**

* - ИФМ СО РАН, Улан-Удэ

** - ВСГУТУ, Улан-Удэ

Liu, J., Huang, C., Zhang, G. et al. Immature characteristics of the East Anatolian Fault Zone from SAR, GNSS and strong motion data of the 2023 Türkiye–Syria earthquake doublet. Scientific Reports 14, 10625 (2024).

Накопление напряжения происходило на изгибах и переходах вдоль зоны разлома в предыдущих сейсмических циклах. Сброс напряжения во время землетрясений 6 февраля 2023 года преодолел эти барьеры, что привело к каскадному многосегментному разрыву.



Красные линии – ВАР

Синяя линия - скрытый разлом

Черные линии - другие разломы,

{- изгибы или

переходы,

- эпицентры сильных землетрясений за последние 200 лет,
- эпицентры землетрясений 2007-2020 гг.
- афтершоки 2023 г. (желтый цвет)

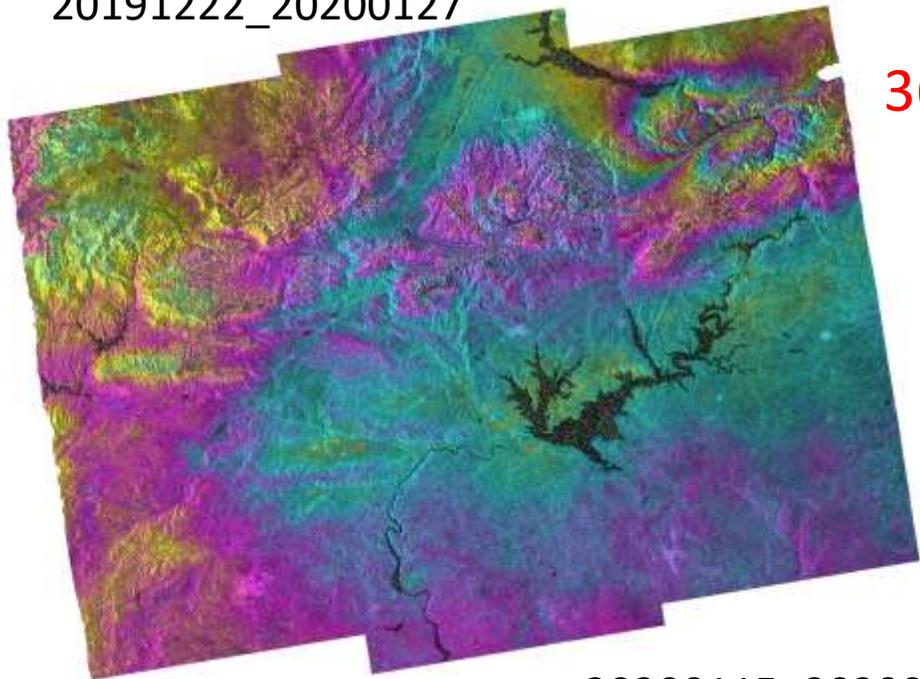
Для расчета скорости смещений использовался метод Stacking-InSAR. Суть метода Stacking-InSAR сводится к взвешенному суммированию всех N развернутых интерферометрических фаз φ_j с весами, пропорциональными их временной базе ΔT_j ($j = \overline{1, N}$). Среднюю скорость изменения фазы, описывающей смещения, можно записать в виде

$$\bar{\varphi} = \sum_{j=1}^N \varphi_j \Delta T_j / \sum_{j=1}^N \Delta T_j^2.$$

Тогда средняя скорость деформаций вдоль линии обзора радиолокатора (англ. LOS) выражается формулой

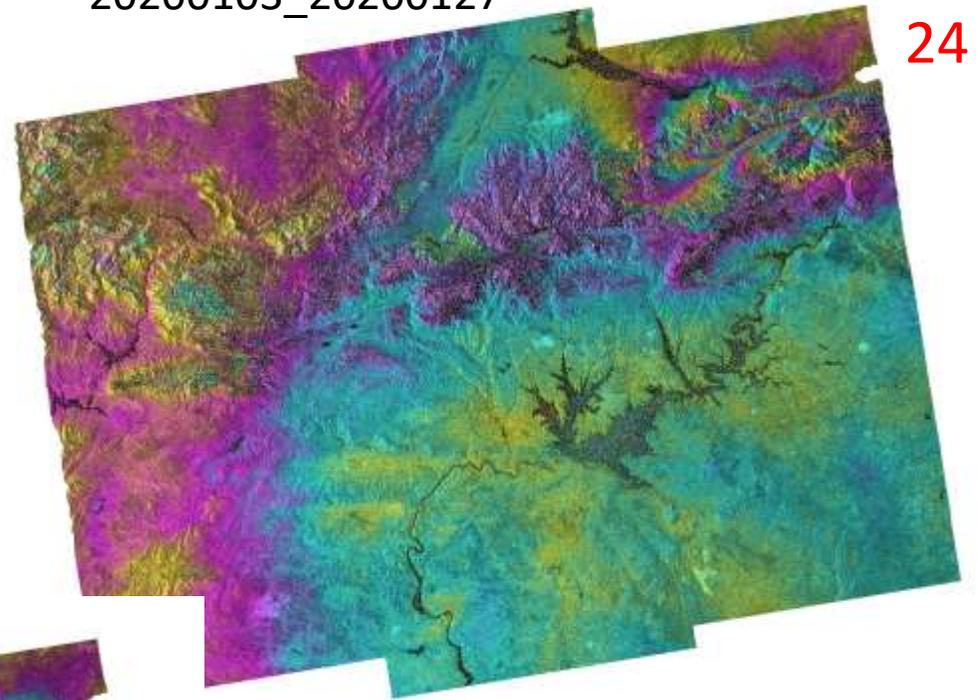
$$v_{\text{деф}} = -\lambda \bar{\varphi} / 4\pi.$$

20191222_20200127



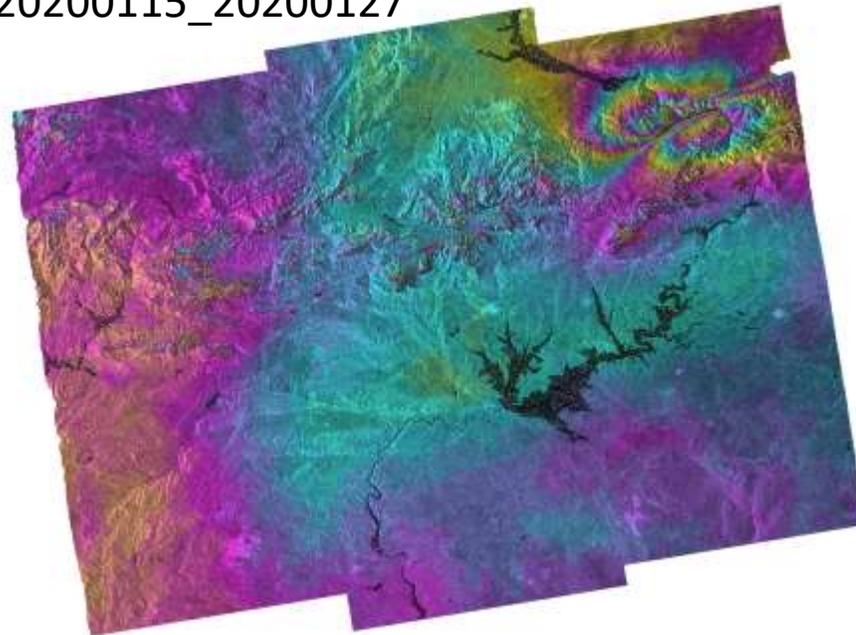
36 дней

20200103_20200127



24 дня

20200115_20200127

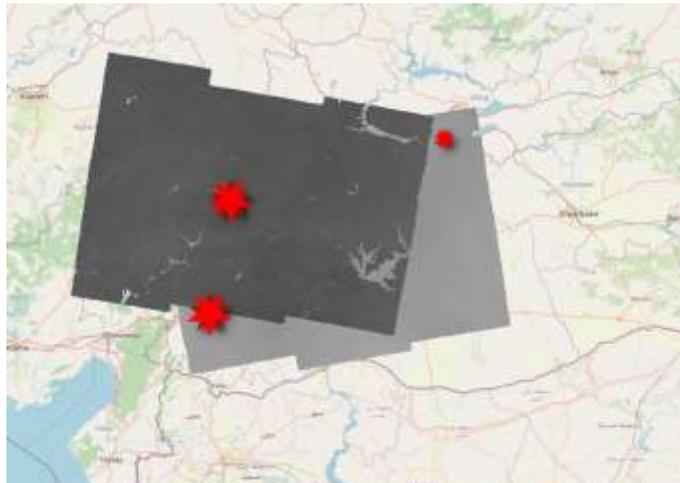
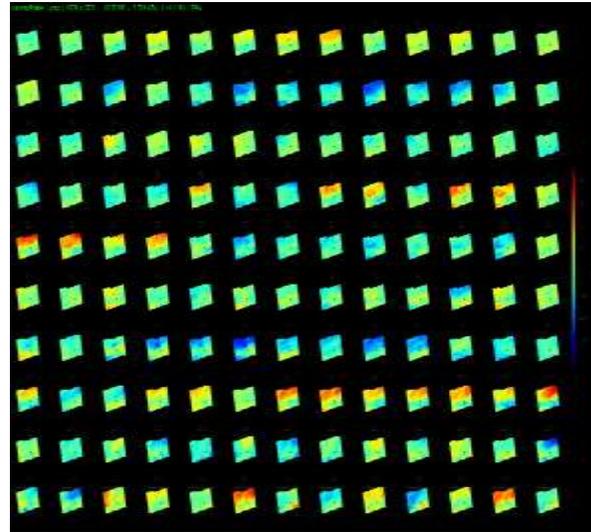
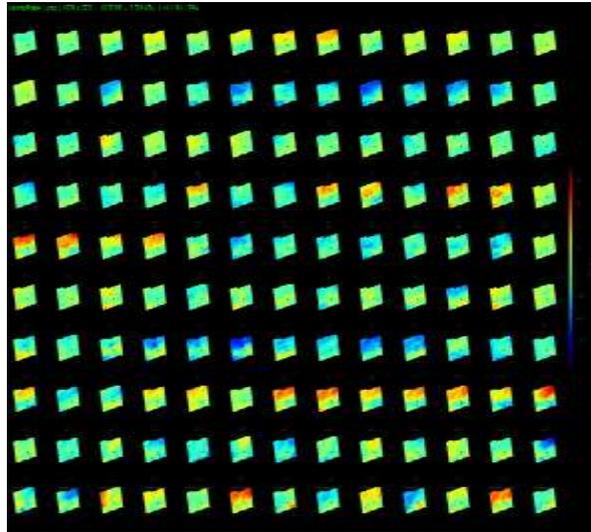


12 дней

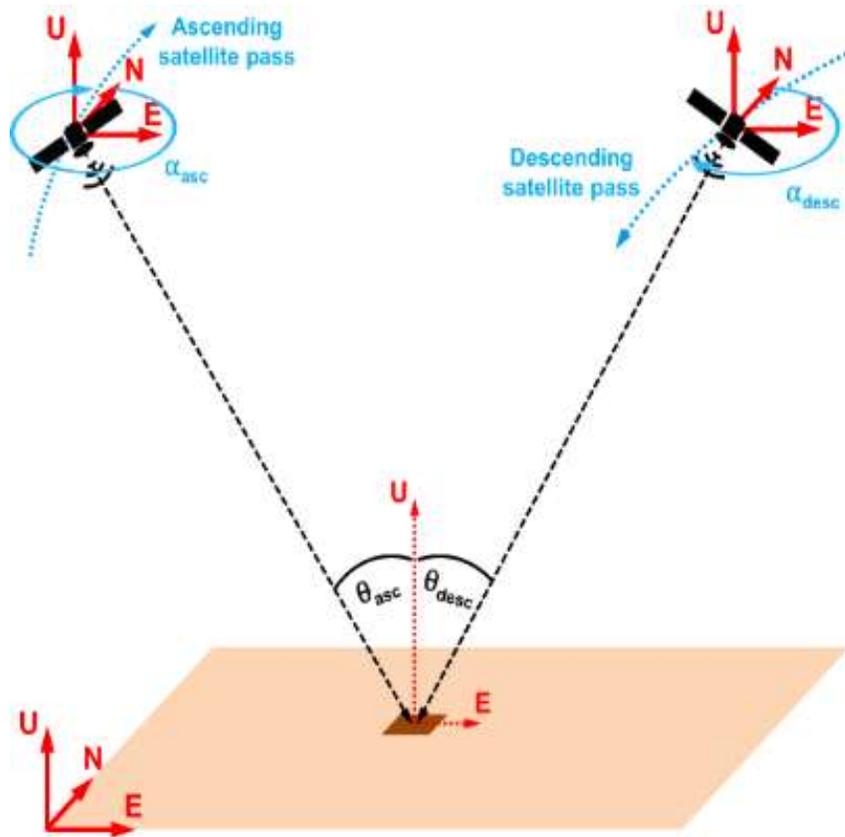
Используемые данные

ВОСХОДЯЩИЙ ВИТОК

НИСХОДЯЩИЙ ВИТОК



| Диапазон дат | Восх. (Path 116) | Нисх. (Path 21) |
|-------------------|---------------------|--------------------|
| 20160501-20161231 | 41 | 12 |
| 20170701-20171231 | 39 | 7 |
| 20180101-20180630 | 32 | 39 |
| 20180701-20181231 | 37 | 19 |
| 20190101-20190630 | 38 | 30 |
| 20190701-20191231 | 38 | 40 |
| 20200101-20200630 | 34 | 39 |
| 20200701-20201231 | 41 | 35 |
| 20210101-20210630 | 38 | 39 |
| 20210701-20211231 | 39 | 42 |
| 20220101-20220630 | 38 | 39 |
| 20220701-20230205 | 46 | 48 |
| После | | |
| 20230207-20230607 | 21 | 13 |
| 20230607-20231005 | 24 | 13 |
| 20231005-20240202 | 22 | 17 |
| 20240202-20240601 | 24 | 17 |
| 20240601-20241101 | 24 | 17 |



Расчеты вертикальной компоненты смещений и по направлению запад-восток выполнены аналогично работам:

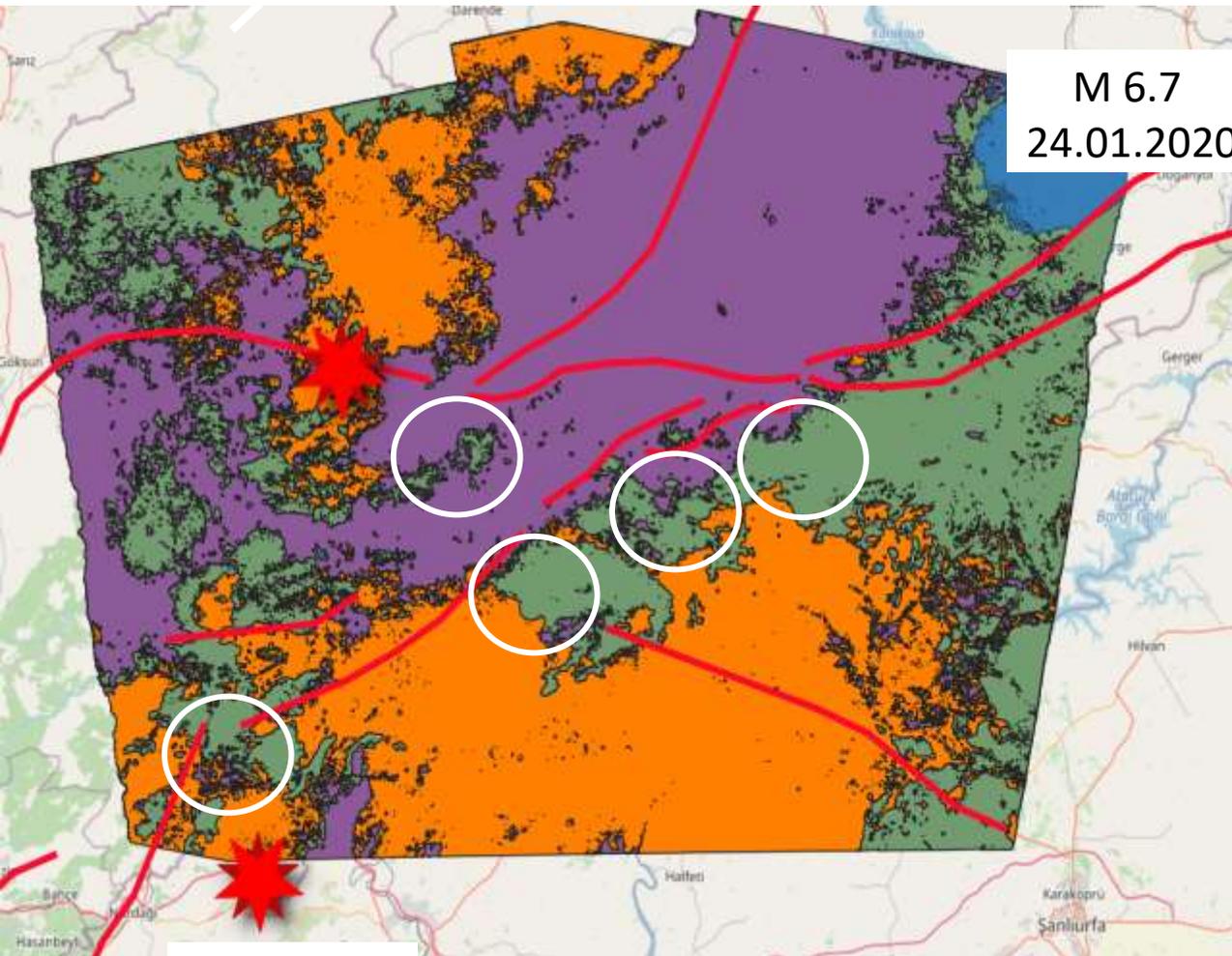
О точности расчёта вертикальной и восточной компонент смещения земной поверхности по снимкам спутниковых радаров с синтезированной апертурой с двух орбит / И. П. Бабаянц, В. О. Михайлов, Е. П. Тимошкина, С. А. Хайретдинов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2023. – 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>

Для коррекции тропосферной задержки временного ряда развернутой интерферометрической фазы применялись данные веб-ресурса GACOS (Generic Atmospheric Correction Online Service for InSAR):

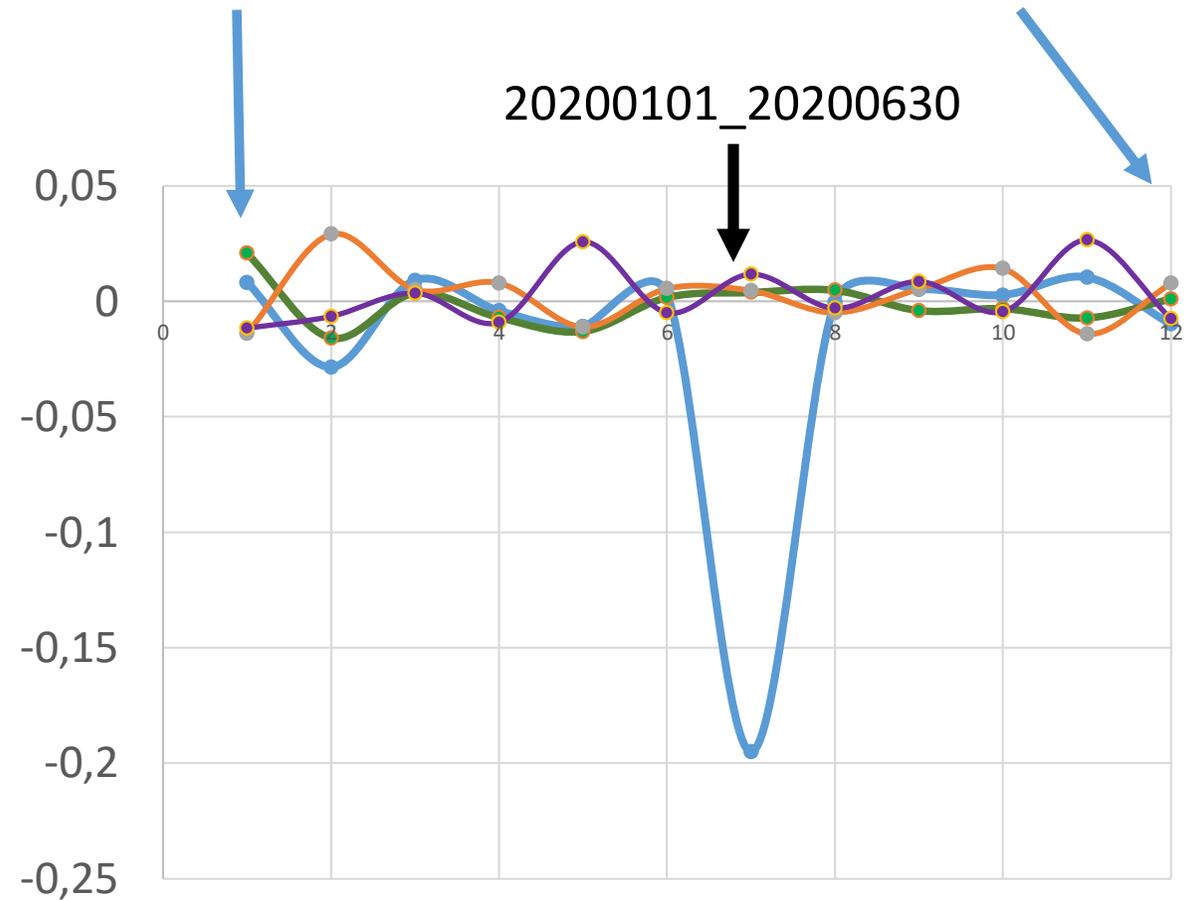
- Generic Atmospheric Correction Online Service for InSAR (GACOS) [Electronic resource] // Generic Atmospheric Correction Online Service for InSAR (GACOS). 2024. URL: <http://www.gacos.net>.
- Yu C. et al. Generic Atmospheric Correction Model for Interferometric Synthetic Aperture Radar Observations // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2018. Vol. 123, № 10. P. 9202–9222.

Результаты кластерного анализа временного ряда изображений скоростей смещения вдоль направления запад-восток за 2016-январь 2023 гг. с полугодовыми периодами (1 – 20160501_20161231... 12 -20220701_20230206)



М 7.8
06.02.2023

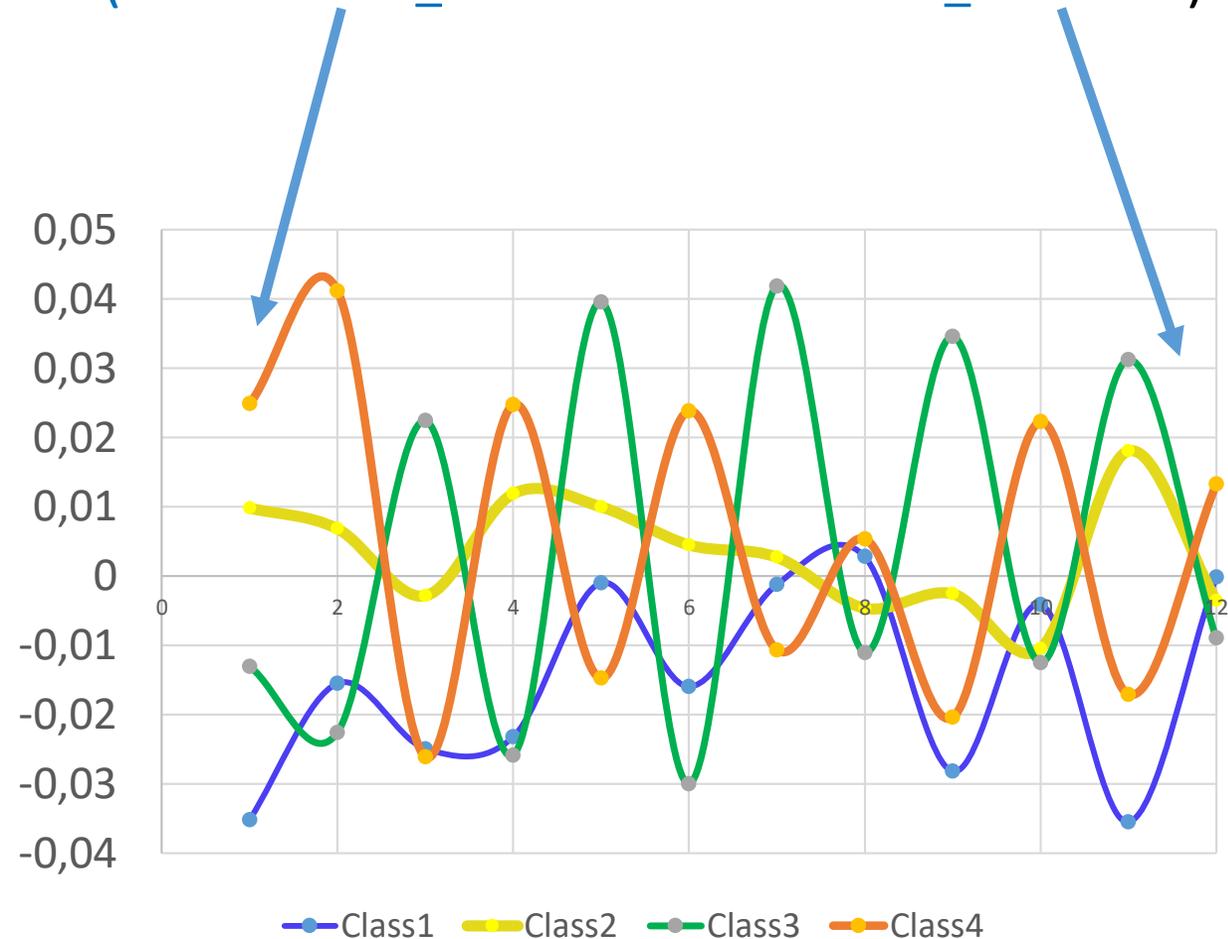
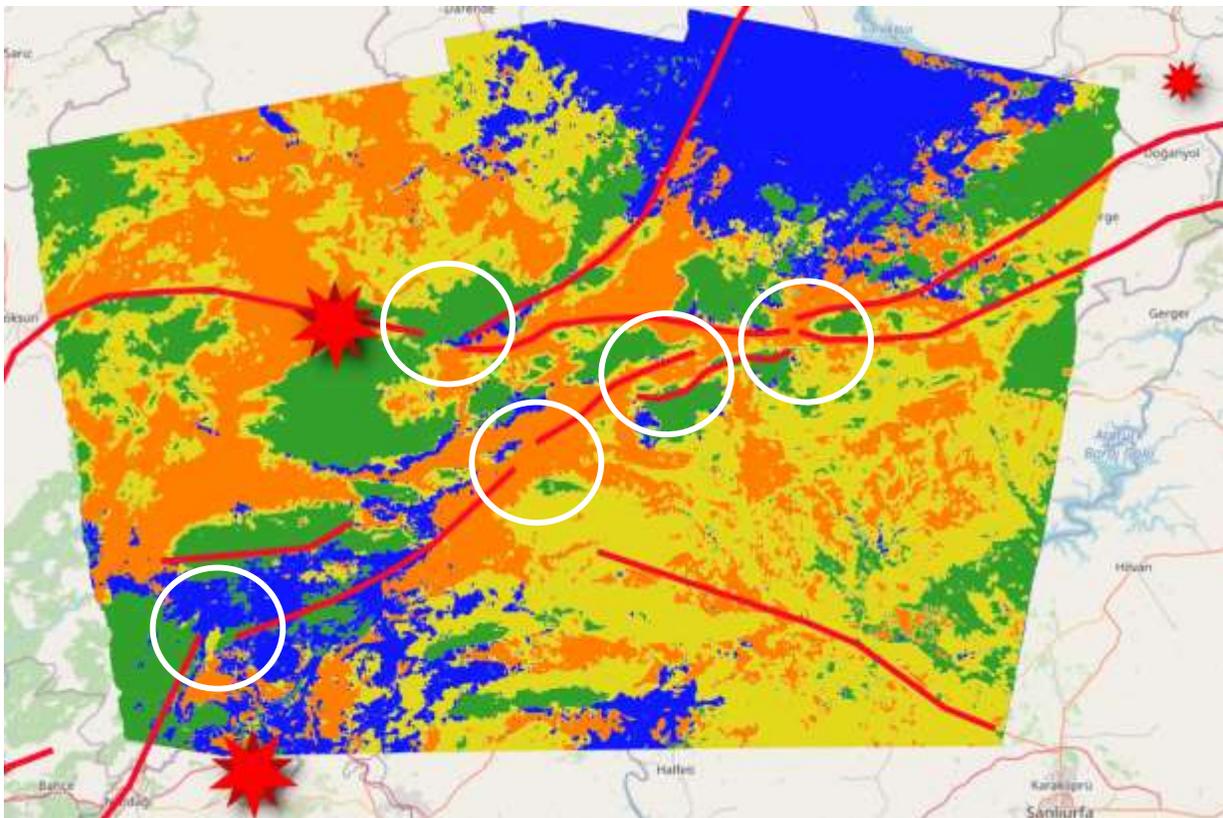
М 6.7
24.01.2020



$V_{\text{деф}}$, м/год

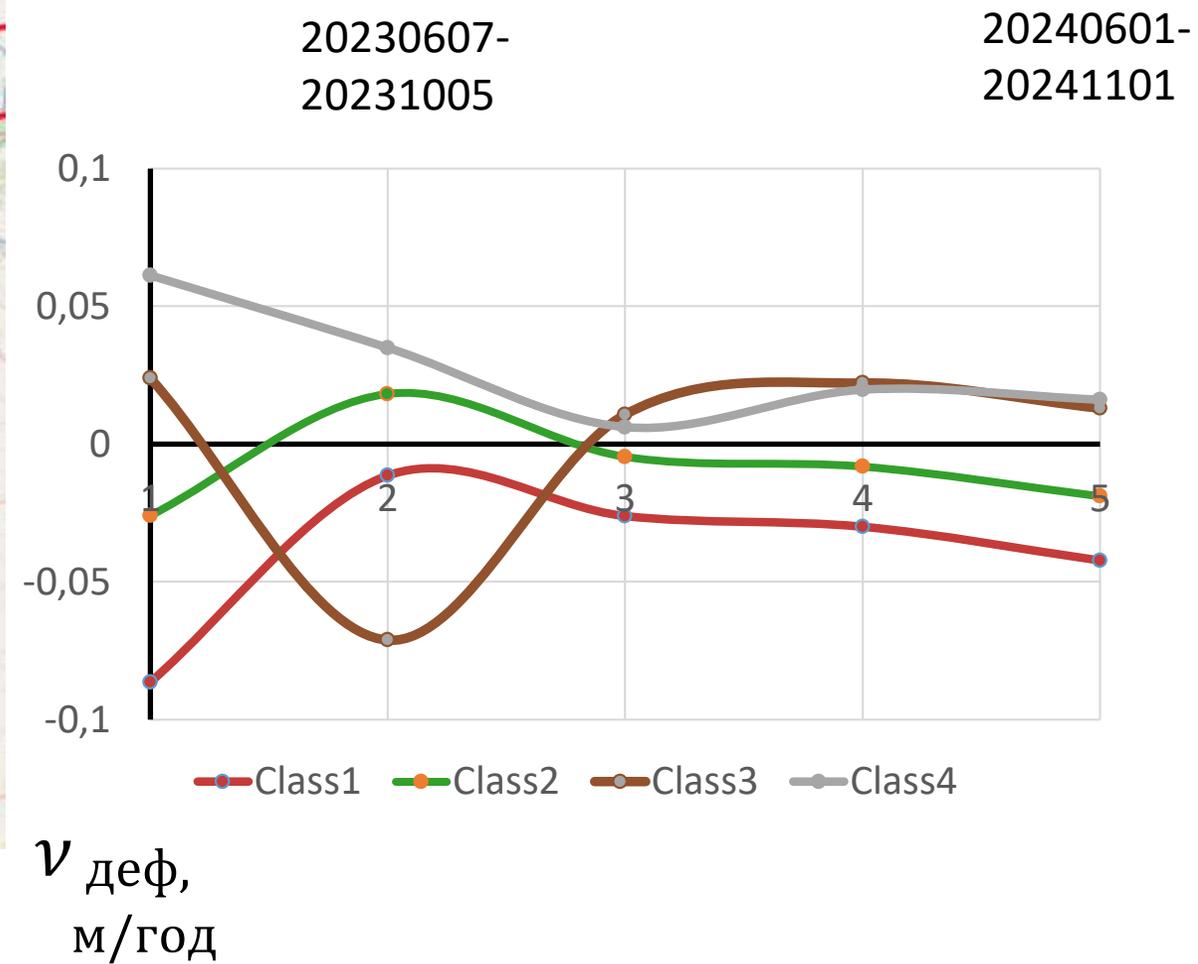
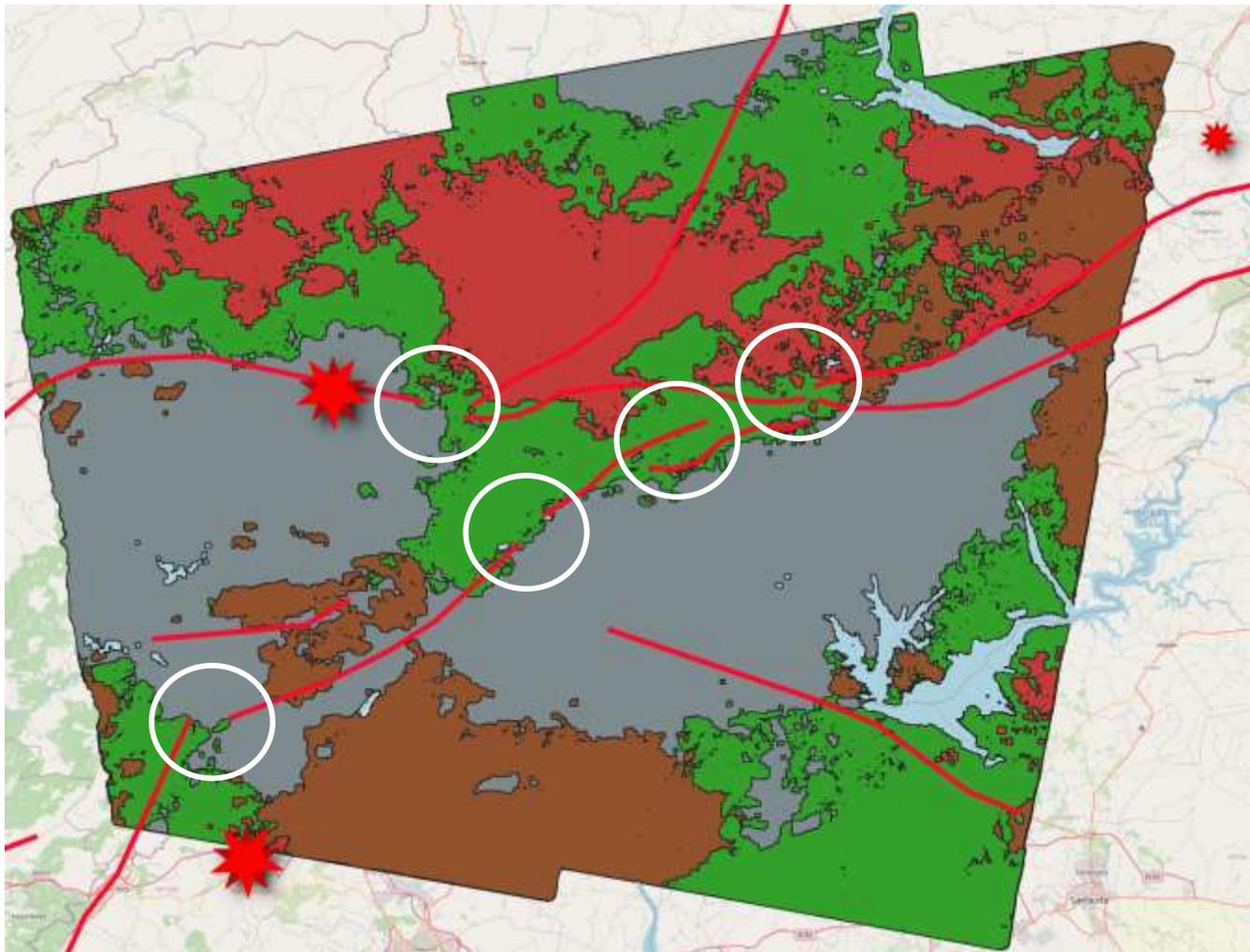
- Class1
- Class2
- Class3
- Class4

Результаты кластерного анализа временного ряда изображений скоростей вертикальных смещений за 2016-январь 2023 гг. . с полугодовыми периодами (1 – 20160501_20161231... 20220701_20230206).

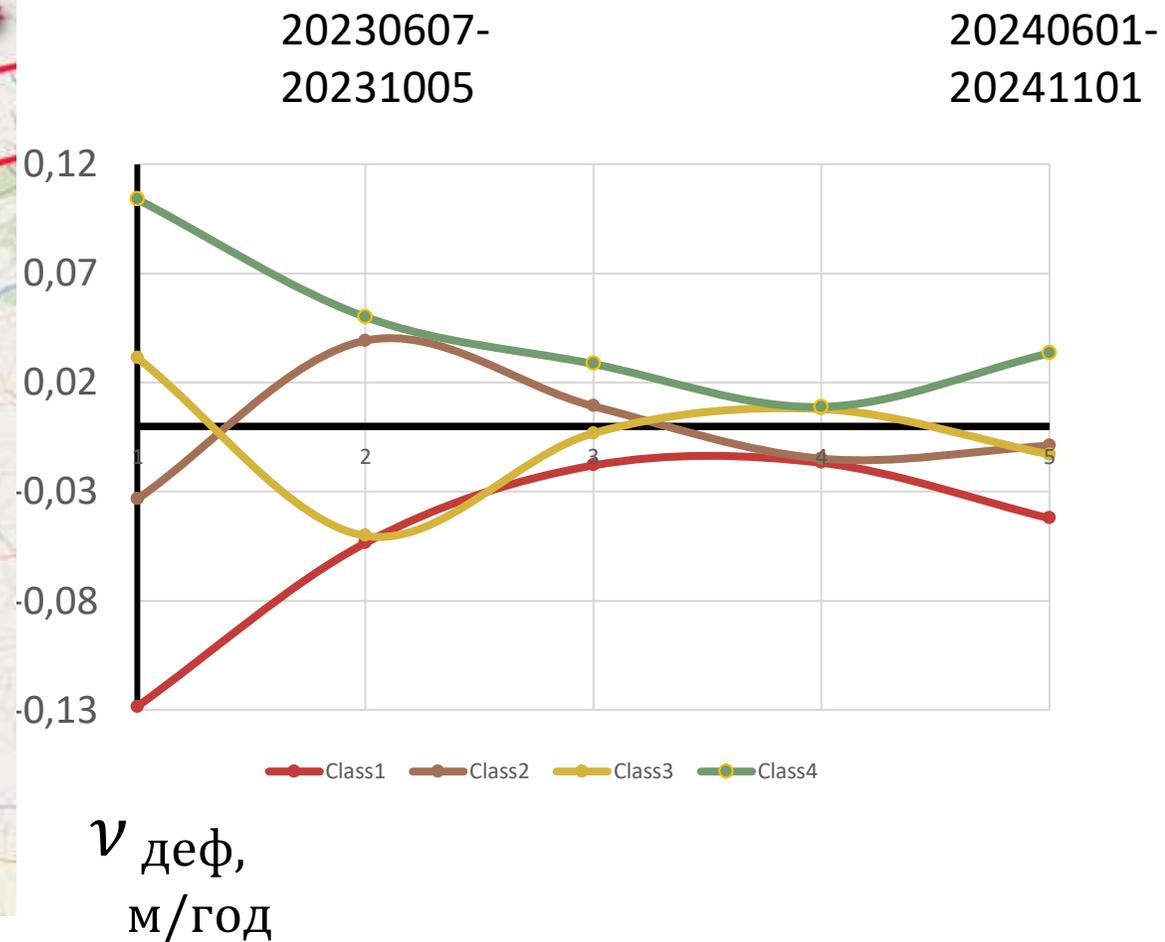


$v_{\text{деф}}$,
м/год

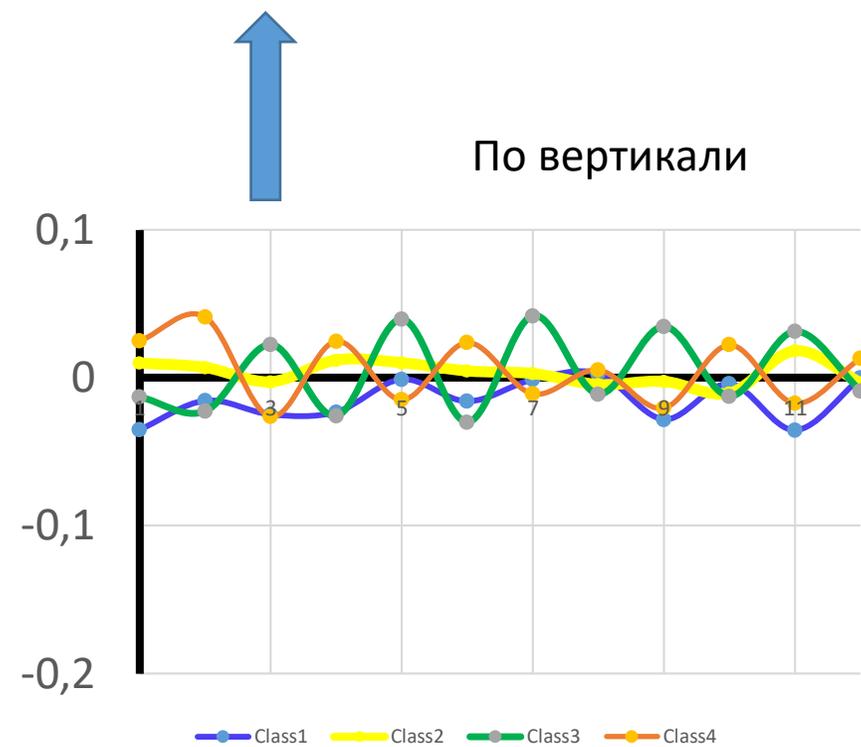
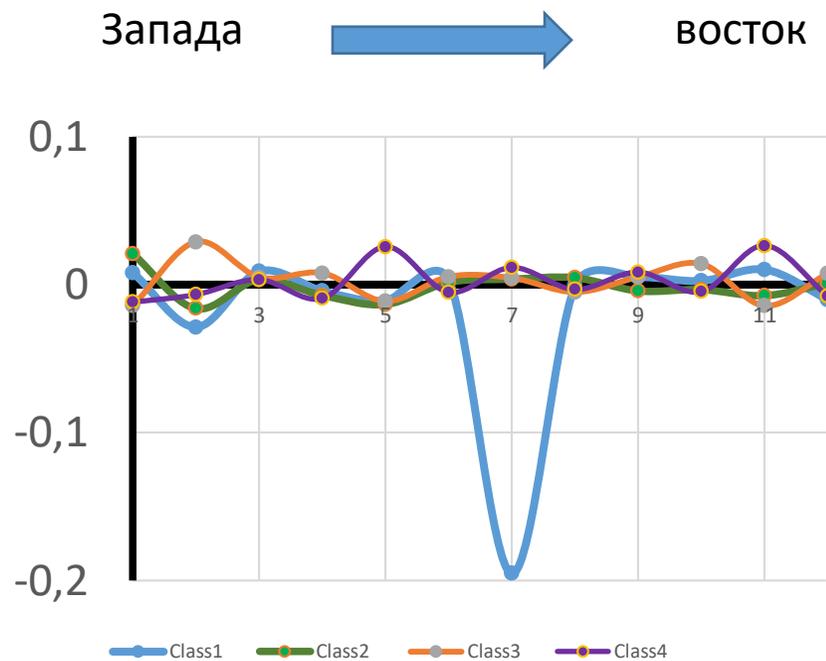
Результаты кластерного анализа временного ряда изображений скоростей смещения
вдоль направления запад-восток за 2023-2024 гг. с периодами 120 дней.



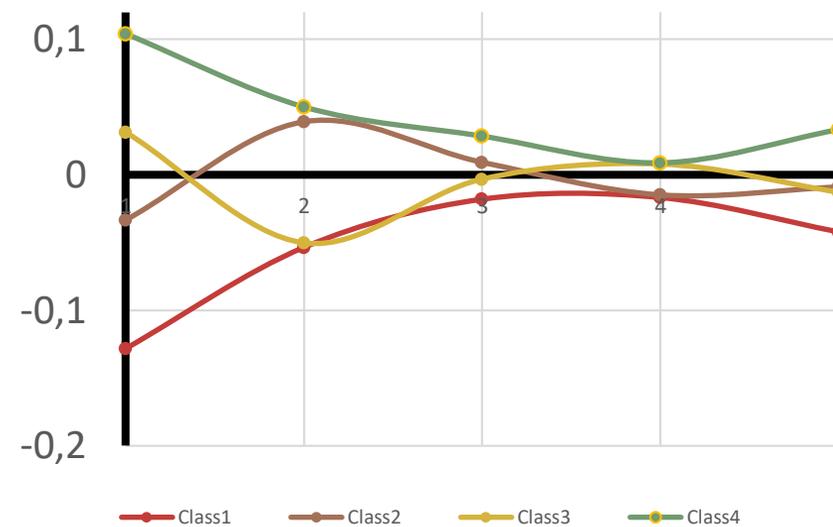
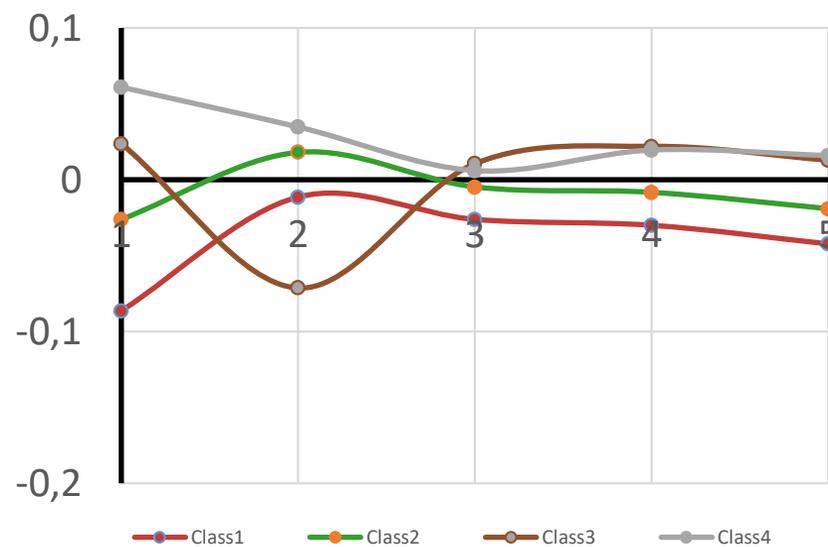
Результаты кластерного анализа временного ряда изображений скоростей вертикальных смещений за 2023-2024 гг. с с периодами 120 дней.

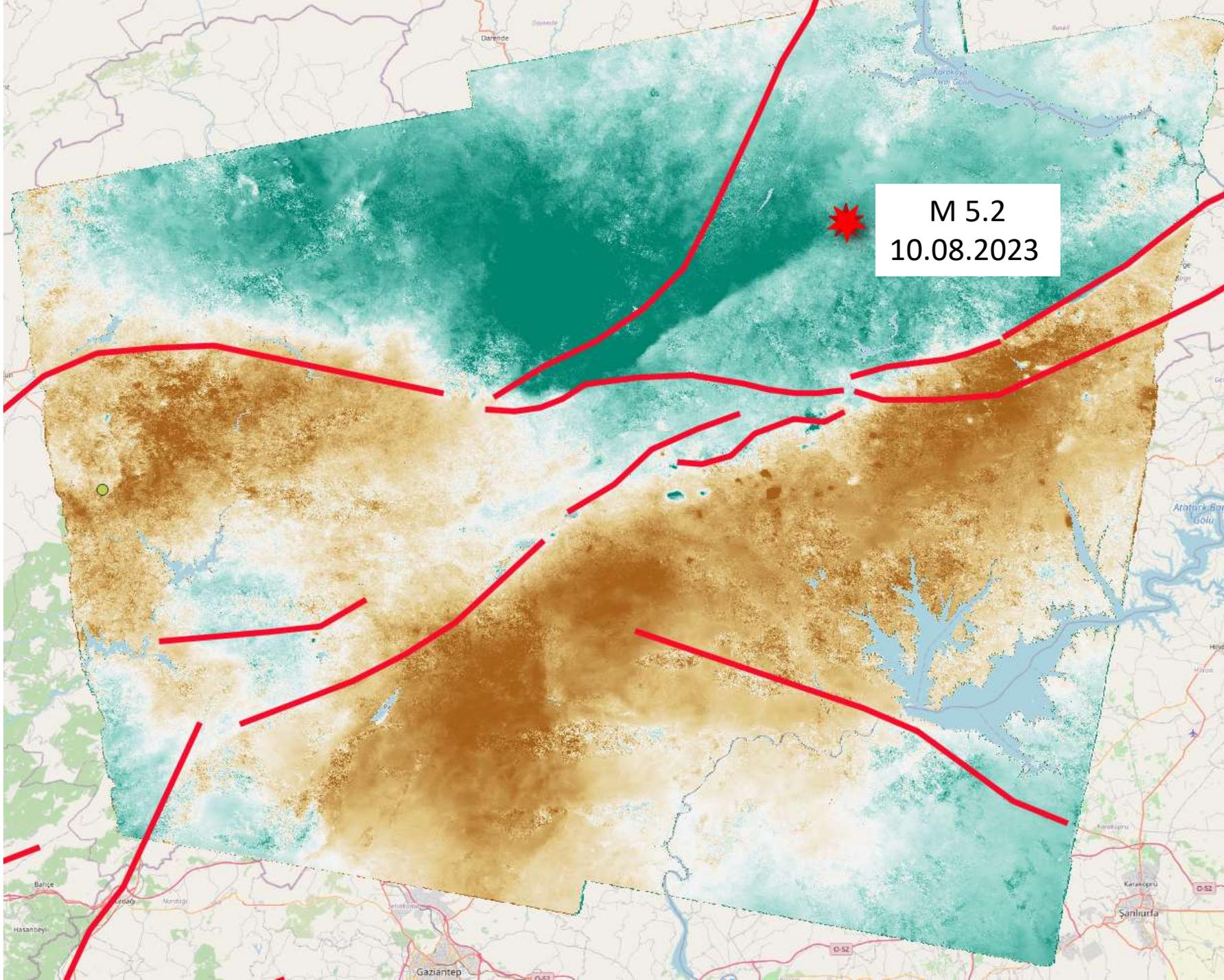


2016-2023

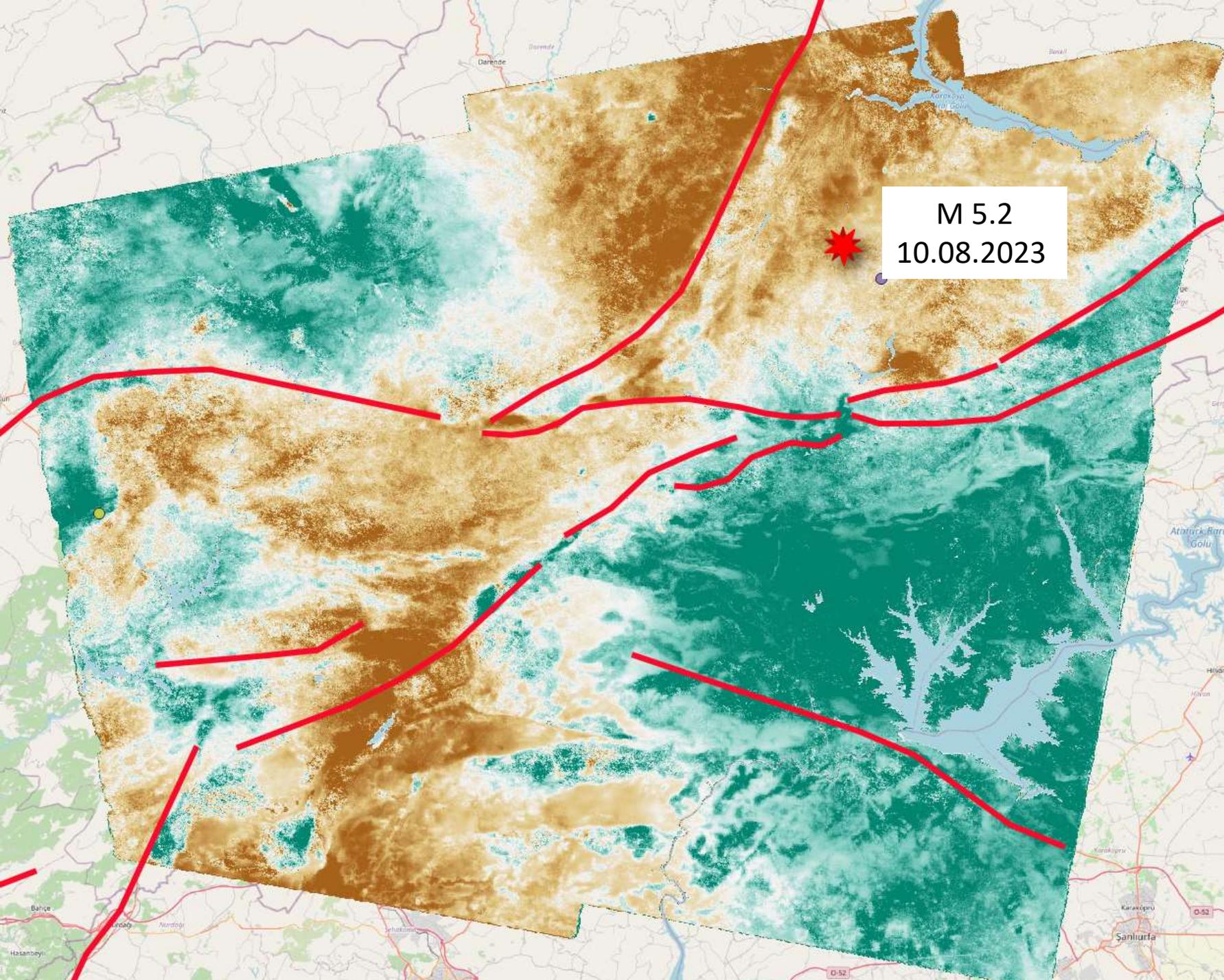


2023-2024





Поле скоростей смещения по направлению запад-восток за весь период после землетрясения. Использовано 115 интерферограмм на восходящем витке и 77 на нисходящем.



M 5.2
10.08.2023

Поле скоростей
смещения
по вертикали за весь
период после
землетрясения.
Использовано 115
интерферограмм на
восходящем витке и
77 на нисходящем.

