



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ  
НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО ГЕОФИЗИКА,  
ГЕОДЕЗИЯ И ГЕОГРАФИЯ

**Мониторинг на геодинамични процеси и  
проследяване на гео-риск при бедствия с приложение  
на SAR данни  
(Т№ 9 на НГИЦ)**

проф. дн Мила Атанасова-Златарева

доц. д-р Антон Иванов

инж. Петя Ангелова-Коевска

инж. Светла Филипова

Радарът със синтезирана апертура (SAR) е техника за откриване на преместванията на земната повърхност и има потенциала да е ефективен и икономичен метод за наблюдение на геопроцеси и земни премествания причинени от земетресения, свлачища, срутища, потъвания, наводнения, пожари, и др. и тяхното поведение в обширни райони.

По тема 9 сме изпозвали SAR данни за изследване на:

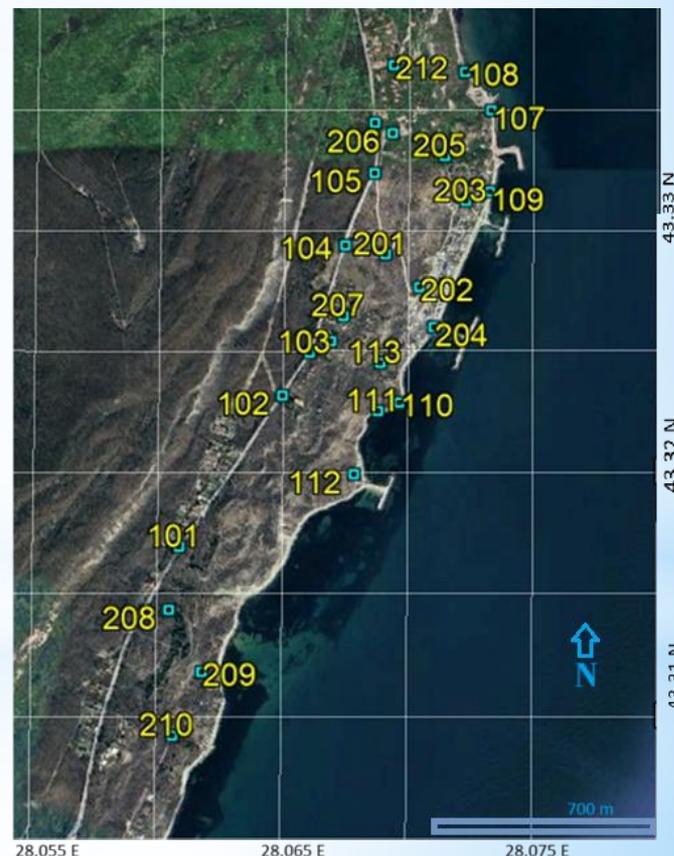
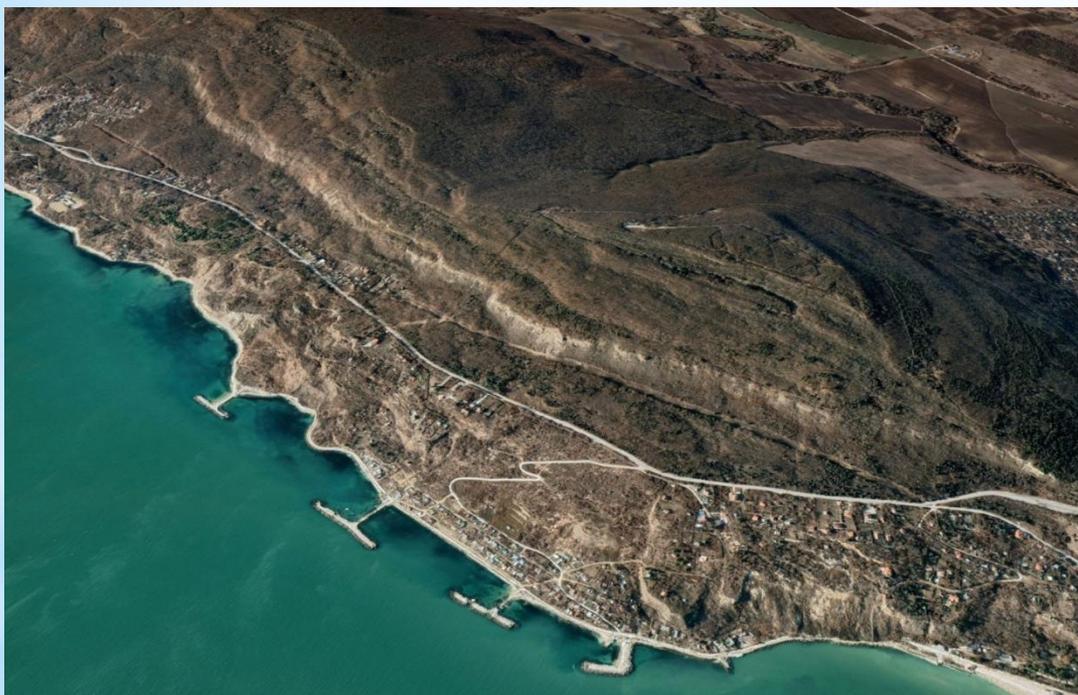
- Свлачищни процеси
- Регистриране на настъпили промени в земната повърхност от техногенни процеси
- Наблюдаване на стабилността на инженерни съоръжения.
- Косеизмични деформации

# Мониторинг на свлачищни процеси от SAR данни от Sentinel -1 и обработени продукти от EGMS

Това изследване е продължение на дългогодишен мониторинг на свлачищните процеси в района на свлачищния циркус „Дългия Яр“ започнало през 2019г.

В предишни наши изследвания са използвани методът DinSAR с модификацията:

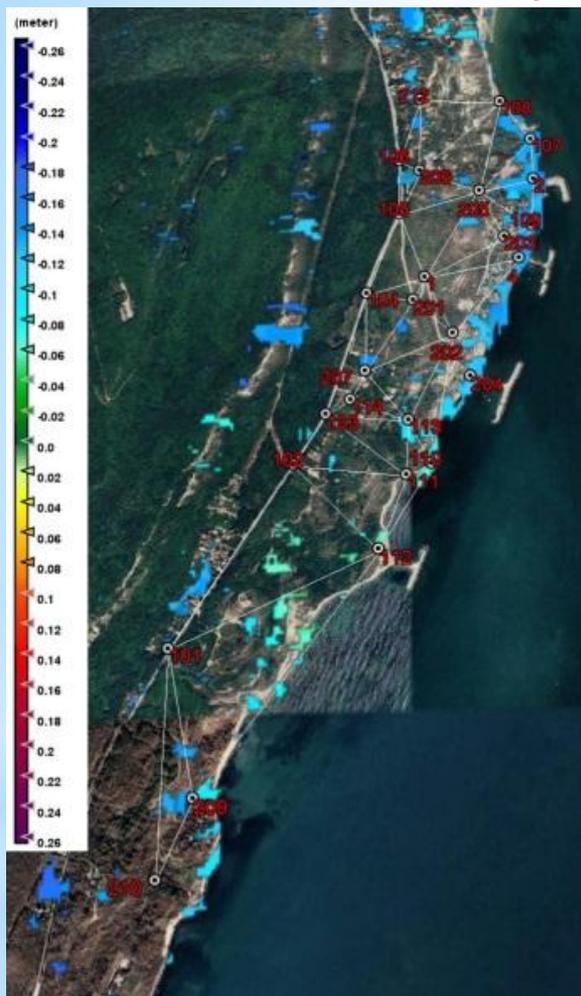
- SBAS най-късата базова линия между позициите на две заснети изображения
- MT-InSAR времеви серии от интерферограми за няколко зимни сезона.



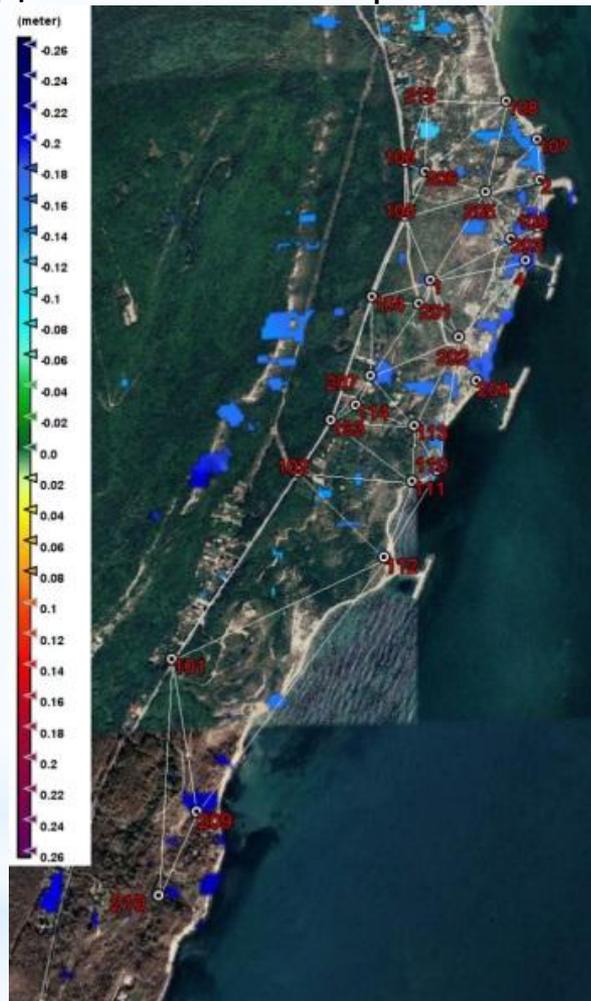
Пет цикъл GNSS измервания проведени края на юни 2025

Статичен режим с приемници тип CHC i80 GNSS с хоризонтална точност  $2,5 \text{ mm} + 0,1 \text{ ppm RMS}$  и вертикална  $3,5 \text{ mm} + 0,4 \text{ ppm RMS}$

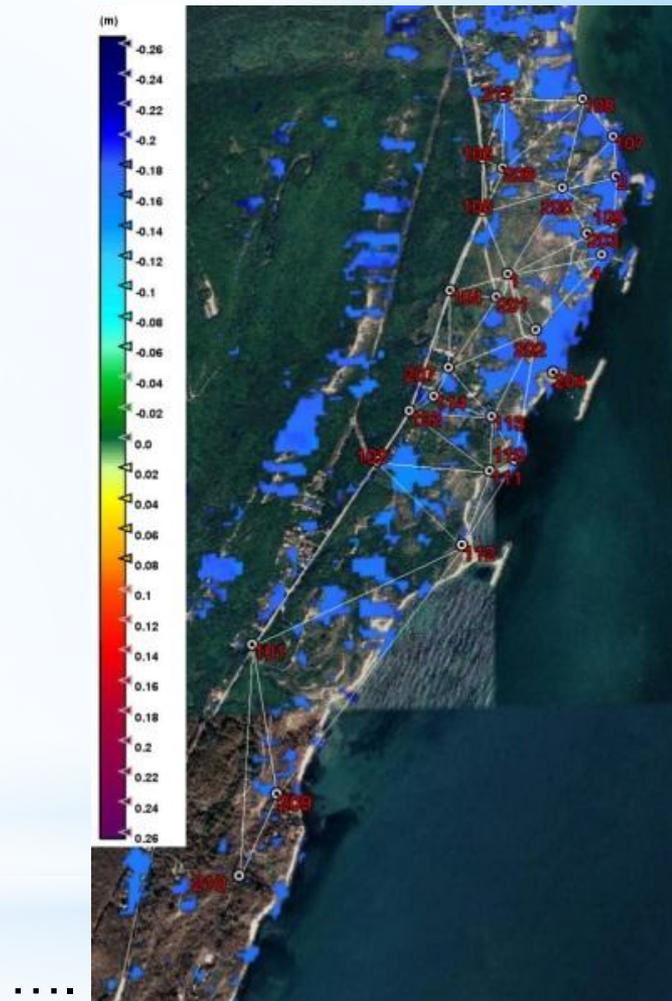
# MT-InSAR времеви серии от интерферограми за няколко зимни сезона за определяне на LOS премествания



20Nov2015-12Apr2016



02Nov2016-07Apr2017



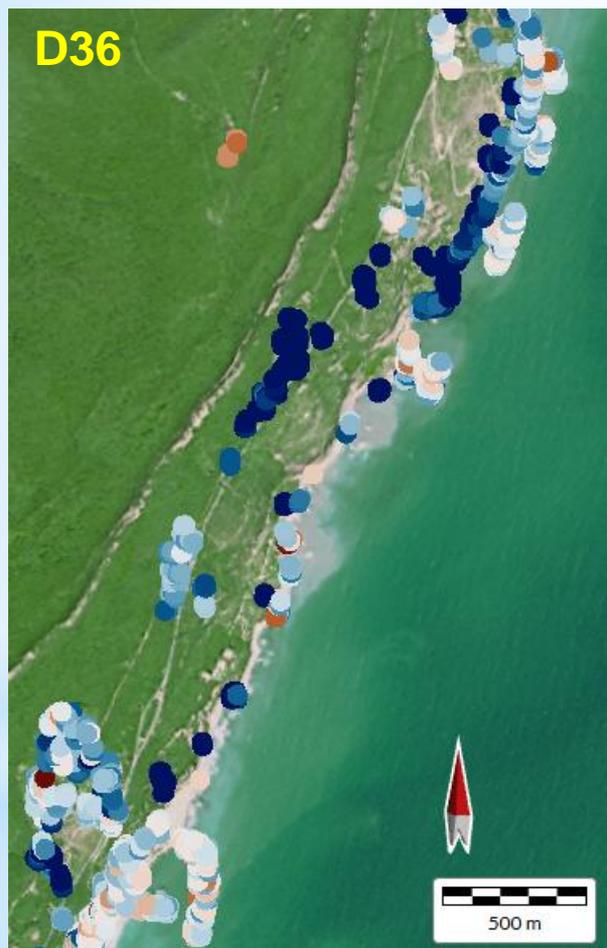
30Oct2020-10Apr2021

.....

# Преместване в LOS

Използван е методът DinSAR и са създадени времеви серии от интерферограми MT-InSAR от двата типа сателитни орбити D36 и A58 за периода 2019-2024

<https://egms.land.copernicus.eu/>



Legend across all datasets. Limits are in mm/year.

- 20

20

Низходяща орбита 36

Възходяща орбита 58

# Вертикални и хоризонтални (и-з) компоненти на преместванията определени от MT-InSAR данни за периода 2019-2024

<https://egms.land.copernicus.eu/>



Legend across all datasets. Limits are in mm/year.

- 20

20

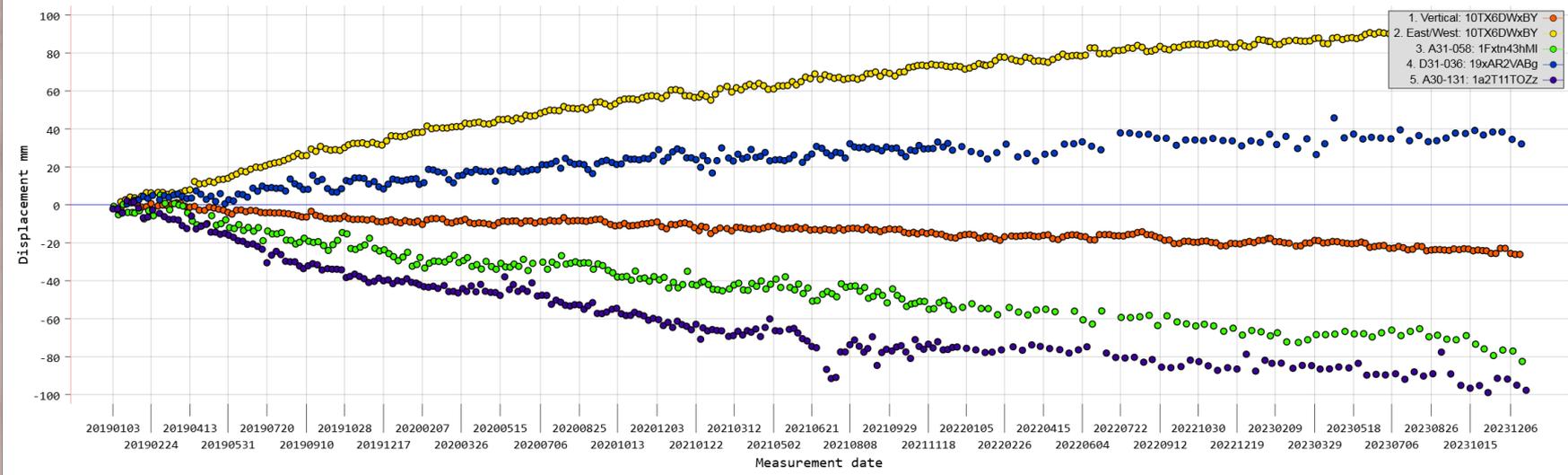
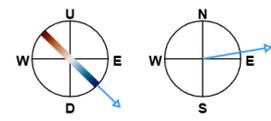
Вертикални

Хоризонтални (и-з)

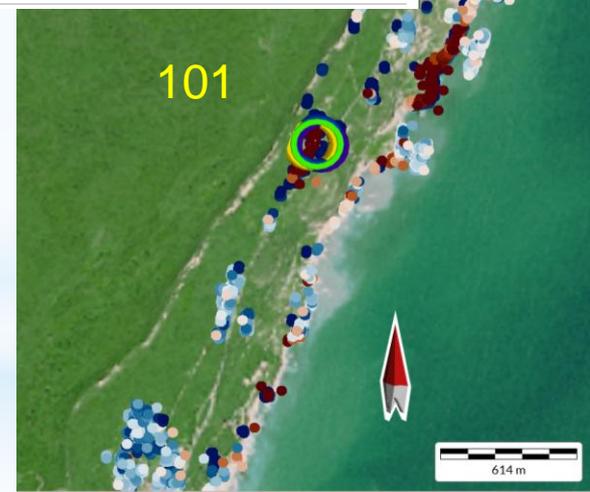
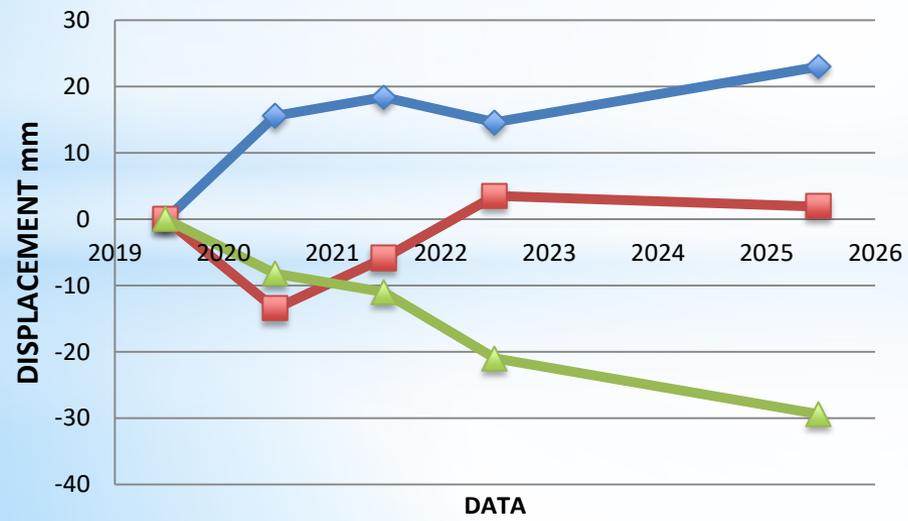
5. A30-131: 1a2T11TOZz

Dataset: A30-131  
Point ID: 1a2T11TOZz  
Position: 2421653.50 N 5773698.00 E 78.30 m  
Mean velocity: -17.50 mm/year  
Coherence: 0.29  
RMSE: 3.70 mm

Incidence angle: 45.80°  
Track angle: -9.68°



### Time series for 101



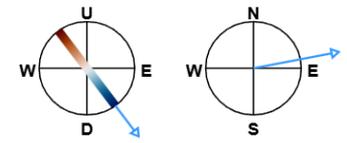
<https://egms.land.copernicus.eu/>

от ГНСС наблюдения

4. A31-058: 1Fxn4J6AW

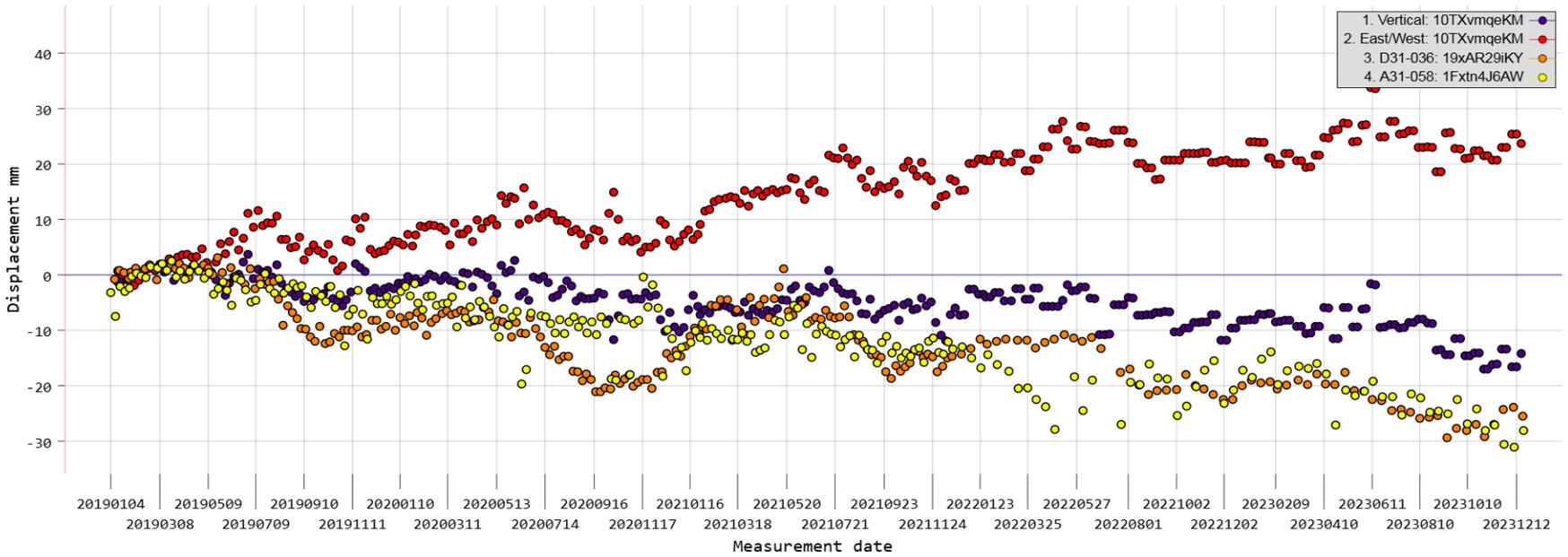
<https://egms.land.copernicus.eu/>

Incidence angle: 36.51°  
Track angle: -11.08°

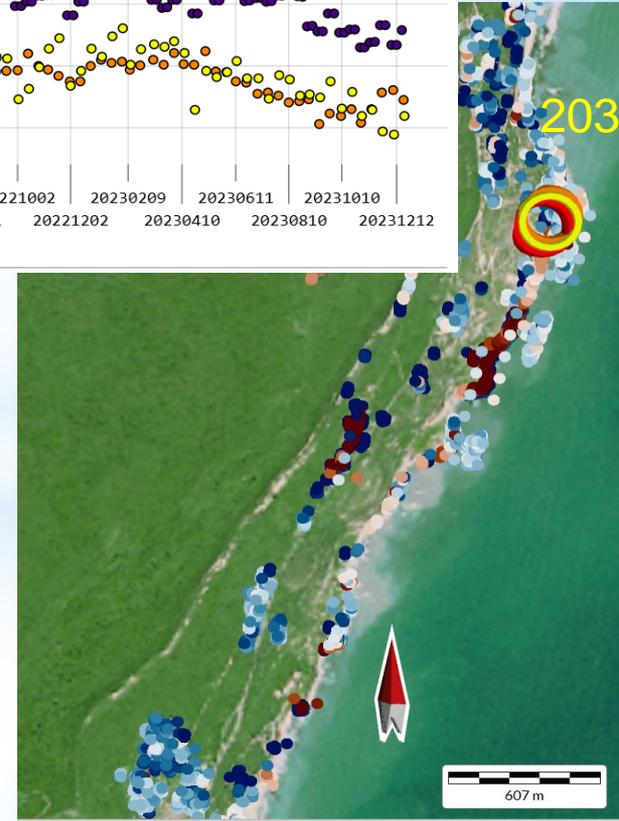
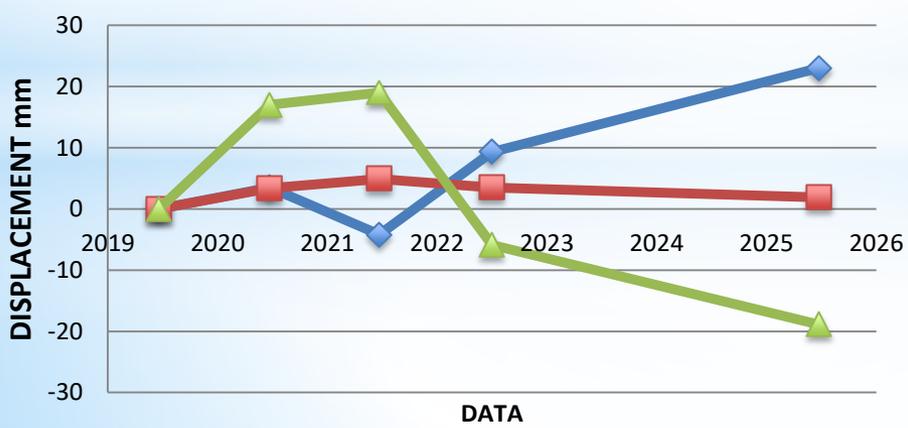


Dataset: A31-058  
Point ID: 1Fxn4J6AW  
Position: 2422776.75 N 5774262.50 E 28.50 m  
Mean velocity: -5.20 mm/year  
Coherence: 0.79  
RMSE: 3.50 mm

- 1. Vertical: 10TXvmqeKM
- 2. East/West: 10TXvmqeKM
- 3. D31-036: 19xAR29iKY
- 4. A31-058: 1Fxn4J6AW



### Time series for 203



от ГНСС наблюдения

- Деформационните карти разкриват значително слягане в по-голямата част от северната част на свлачищния циркус, което се потвърждава от теренни наблюдения, които показват сериозни щети по жилищните сгради и инфраструктурата. Значително движение се наблюдава и в южната част на свлачищния циркус със скорости до 40 мм/година, която се характеризира с наличието на стръмни склонове.
- Приложената методология успешно генерира карти на преместванията, които визуално изобразяват преместванията около свлачищните зони.
- Представените примери за използване на обработени данни от EGMS демонстрират приложението на сателитни технологии за наблюдение на Земята, като InSAR, за изучаване и мониторинг на свлачищните процеси, подчертавайки тяхното значение и предимства при установяване на закономерности в движенията в тези зони. Интерпретацията на пространственото разпределение и анализираниите от EGMS данни значително улеснява процеса на мониторинг и дава представа за геодинамичните процеси в изследваната област.

Atanasova-Zlatareva Mila, Ivanov Anton, Angelova-Koevska Petya, Svetla Filipova. Landslide surface motion monitoring from satellite data and compared with potential European Ground Motion Service. Proceedings Volume 13670, Artificial Intelligence and Image and Signal Processing for Remote Sensing XXXI; 1367014 (2025) Event: Environmental Remote Sensing, 2025, Madrid, Spain, 1367014 (2025), SPIE DIGITAL LIBRARY, 2025, ISSN:0277-786X E-ISSN:1996-756X, DOI:10.1117/12.3070016, 1-12. SJR (Scopus):0.146

# Регистриране на промени на земната повърхност от техногенни процеси.

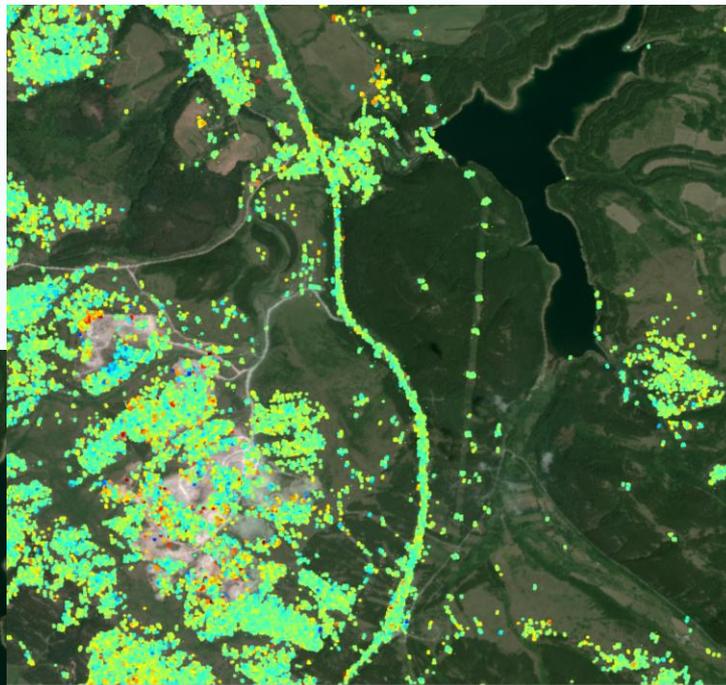
## Наблюдаване на стабилността на инженерни съоръжения.

### Район на изследване



- Изследователският интерес е насочен към откриване на изменения на земната кора вследствие на експлоатацията на кариерата за добив на инертни материали Студена.
- InSAR е ценен инструмент за оценка на гео-риск в случай на активни деформационни процеси при техногенни процеси
- Времеви серии от SAR данни придобити от Сентинел 1А на ЕКА предоставят възможност за откриване на премествания за района на Студена

# Мониторинг на точки, локализирани в обхвата на каменната кариерата за добив на инертни материали Студена.



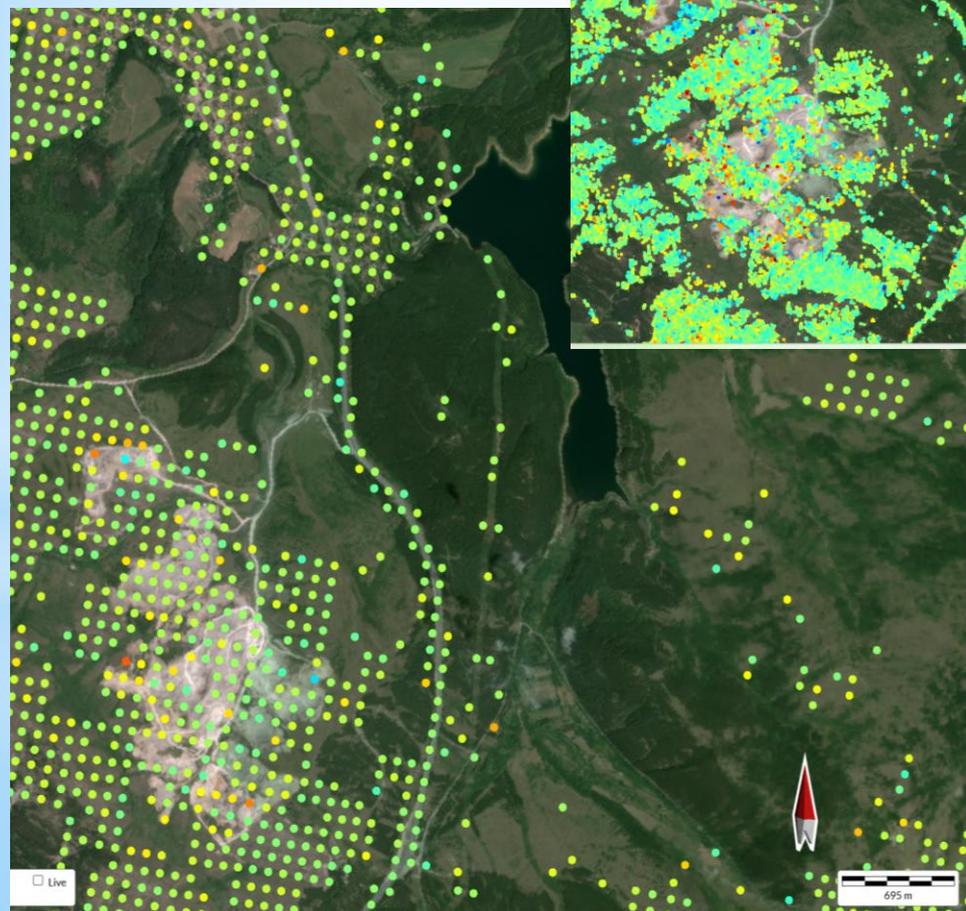
За да определим вертикални и хоризонталните (и-з) премествания са необходими SAR данни от възходяща (29, 102) и низходяща орбита (7, 80) Всяка точка отговаря на регистрираното преместване по визирната линия LOS във времеви интервала

- от 6 дни от януари 2018 до декември 2021
- през 12 дни след януари 2022 до декември 2023.

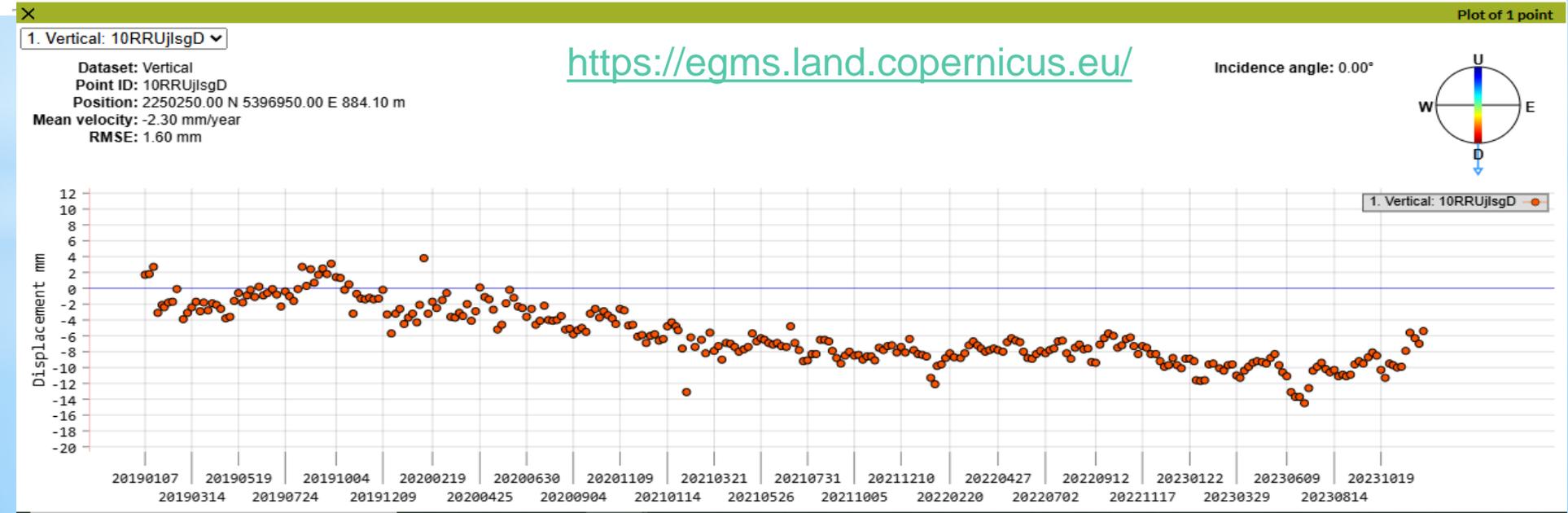
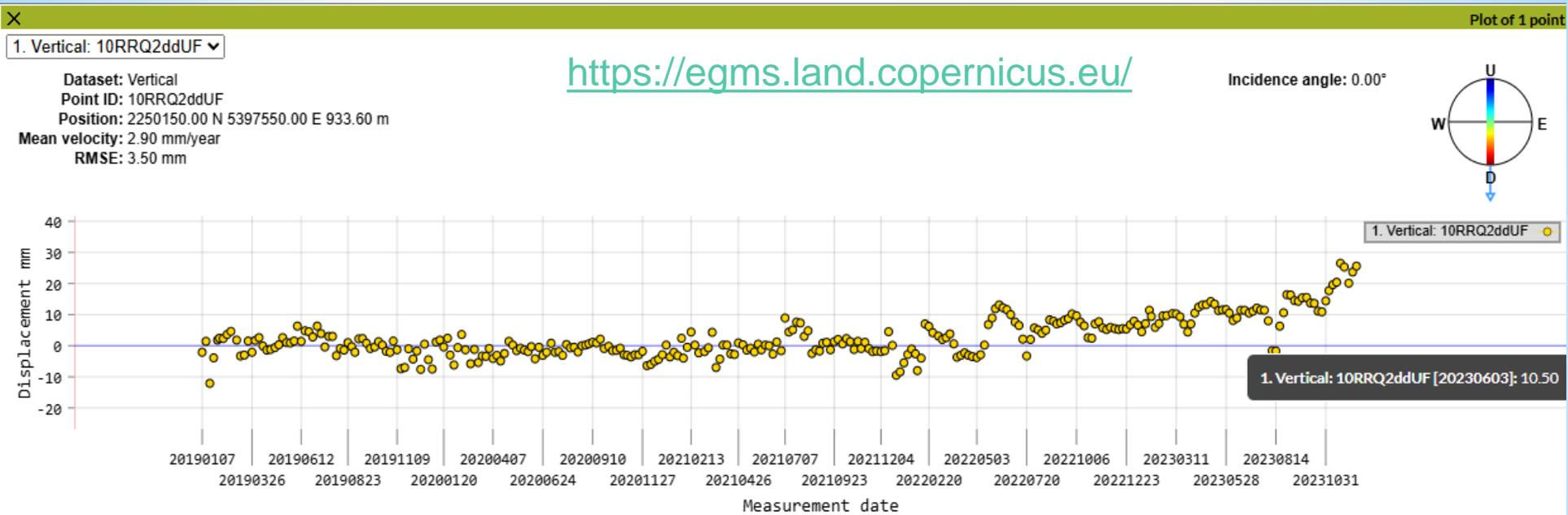
модифицирани от

<https://egms.land.copernicus.eu/>

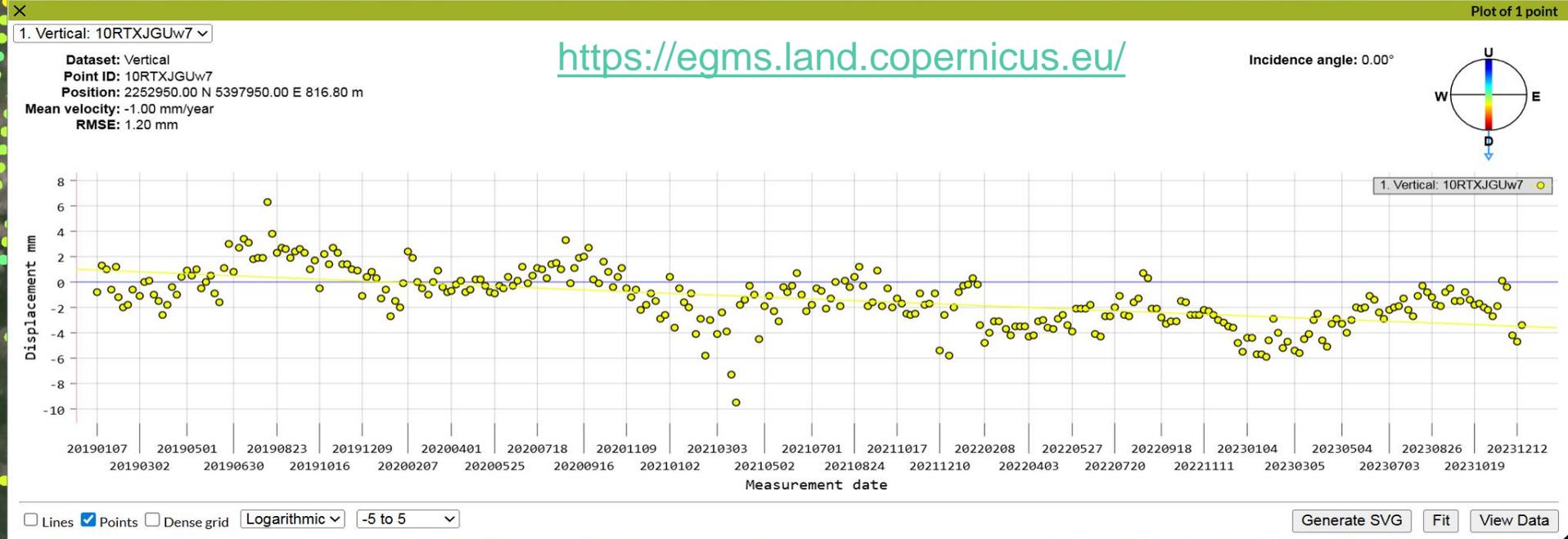
Вертикалните премествания за района на каменна кариера Студена и на язовирна стена на язовир Студена



# Времеви серии на вертикални премествания за точки от района на каменната кариера



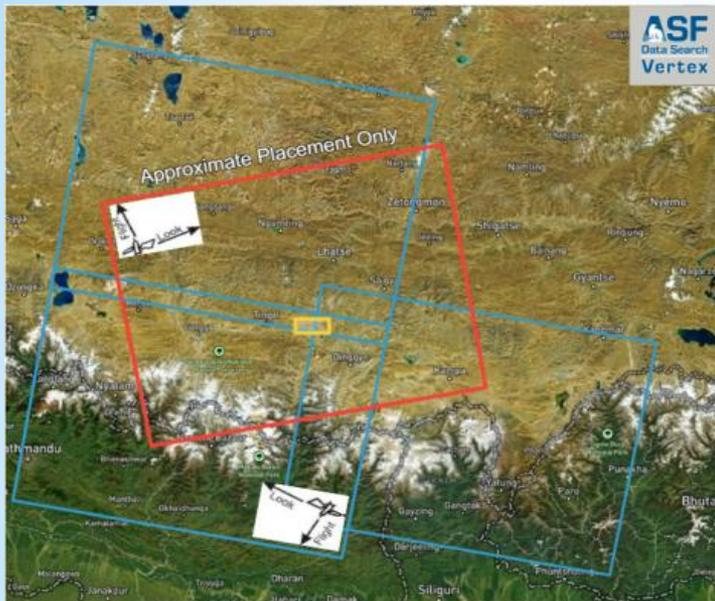
# Вертикалните премествания на точка от язовирна стена



- Благодарение на сателитните данни и приложения съвременен InSAR метод много ясно е видима динамиката в изменението на земната повърхност само в границите на каменна кариера Студена, дължаща се на добивните дейности на инертни материали и използваната взривна техника и други антропогенни процеси. Разгледани и анализирани са резултатите от достатъчно дълъг времеви ред (5 години), какъвто е необходим за надеждна оценка.
- Категорично може да се твърди, че настъпилите земни изменения са вследствие на добивните технологии, а не са косеизмични премествания. В световната научна литература е установено, че косеизмични деформации се регистрират по този метод при земетресения с магнитуд над  $M > 5$ . През последните 5 години в този район не са регистрирани земетресения с магнитуд над 3.0.
- От представения пример за мониторинг на деформационни процеси на язовирната стена на язовир Студена, много ясно е изразена стабилността на язовирната стената и липсата на регистрирани премествания за последните 5 години.

*Atanasova-Zlatareva Mila Application of the MT-SAR method for monitoring ground movements in the area of the Studena-quarry for the extraction of inert materials.. XII National Geophysical Conference with international participation, 29-30 September 2025., CD 12, National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences Sofia, , Bulgarian Geophysicists' Society, 2025, ISSN:1314-2518, 1-4*

# Приложение на SAR данни за откриване на косеизмични деформации

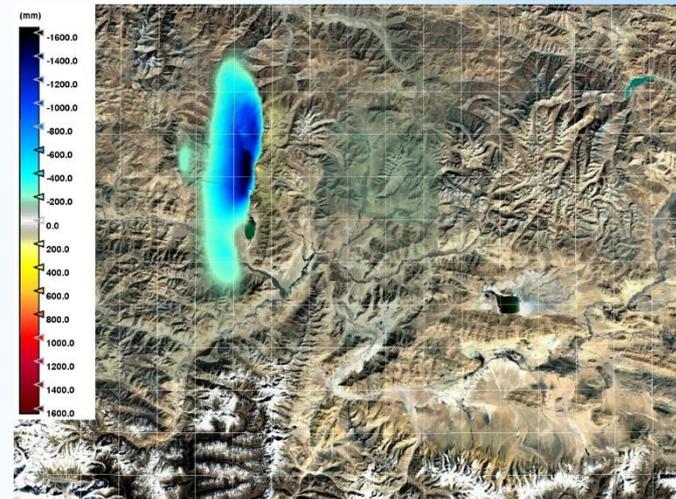
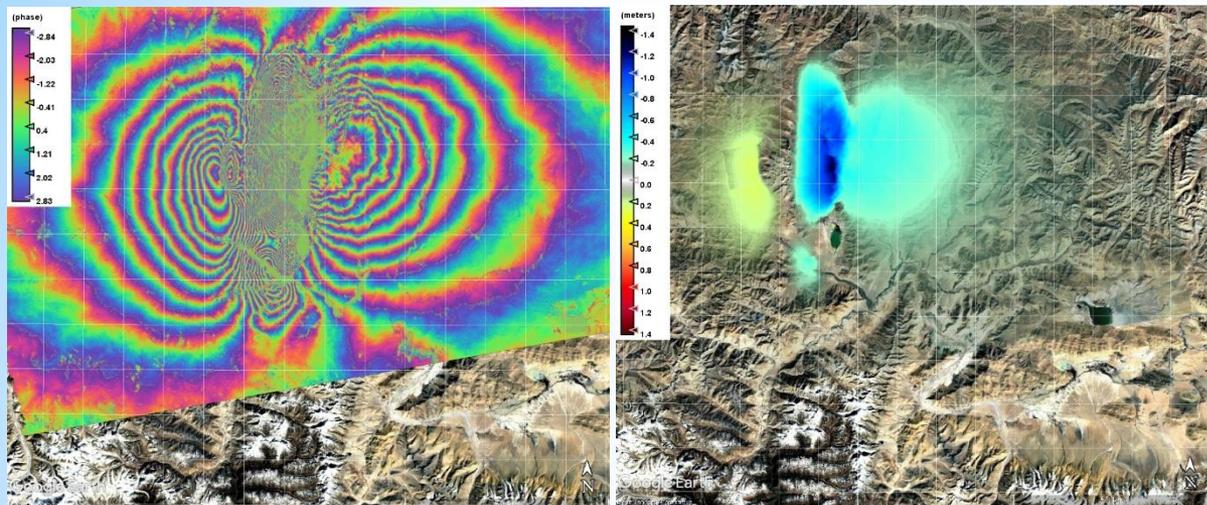


На 7 януари 2025 г. е регистрирано земетресение с магнитуд 7,0 (на разлома Хайнза-Dinggyê в Южен Тибет.

Няколко земетресения с магнитуд  $> M_w 5,0$  са регистрирани в този района около епицентъра. Земетресенията са чести силно усещани в региона поради сблъсъка между Индийската и Евразийската плочи, което причинява издигането на Хималайските планини.

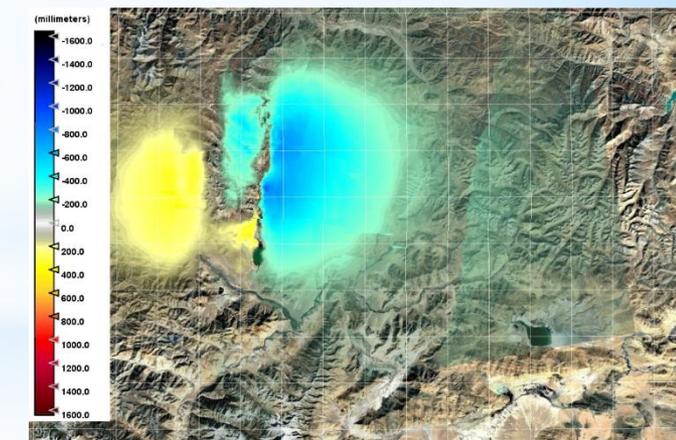
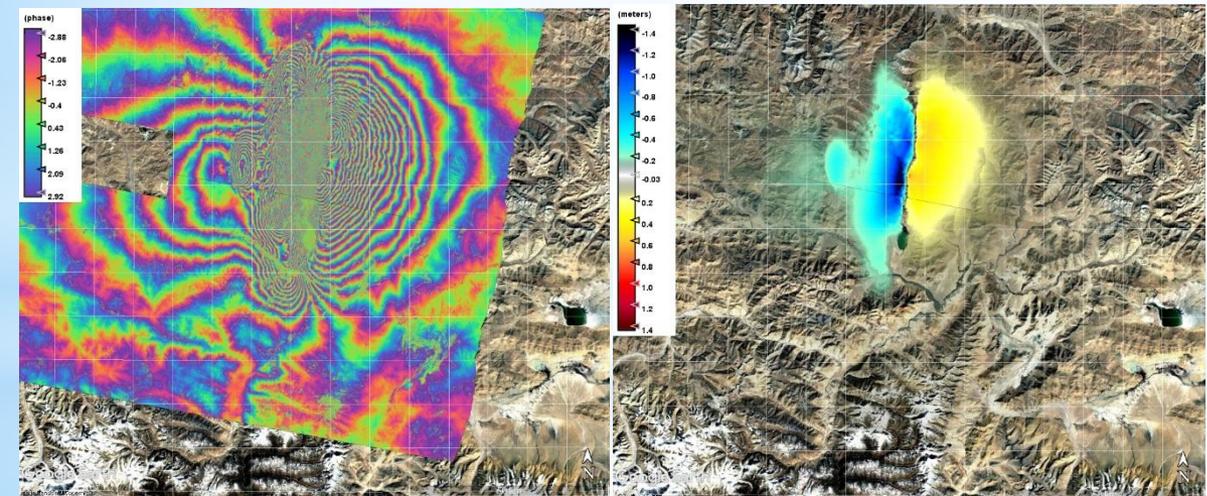
Sensor	Orbit	Master	Slave	Track	Perp. Baseline [m]	Time Baseline [d]
Sentinel-1A	Des.	01.01.2025	13.01.2025	T121	49.0	12
Sentinel-1A	Des.	27.12.2024	8.01.2025	T48	15.0	12
Sentinel-1A	Asc.	05.01.2025	17.01.2025	T12	57.0	12

# Интерферограми и карти на премествания от данни от Sentinel-1



възходяща орбита 12 и преместване по LoS

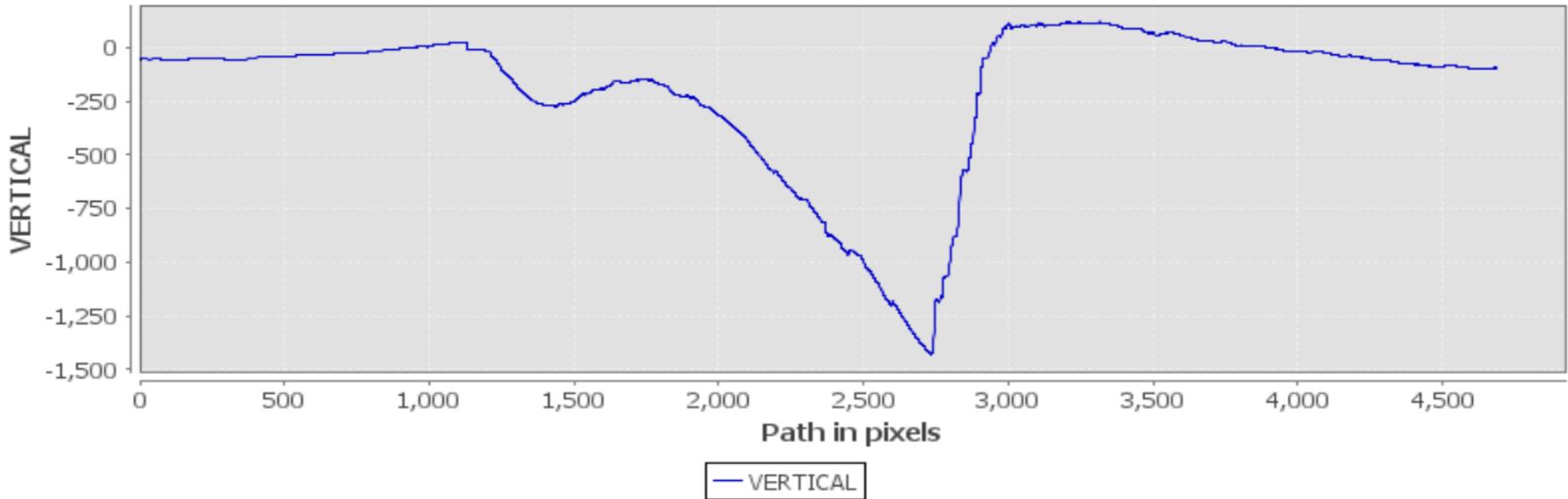
Карти на вертикалните премествания



низходяща орбита 121и преместване по LoS

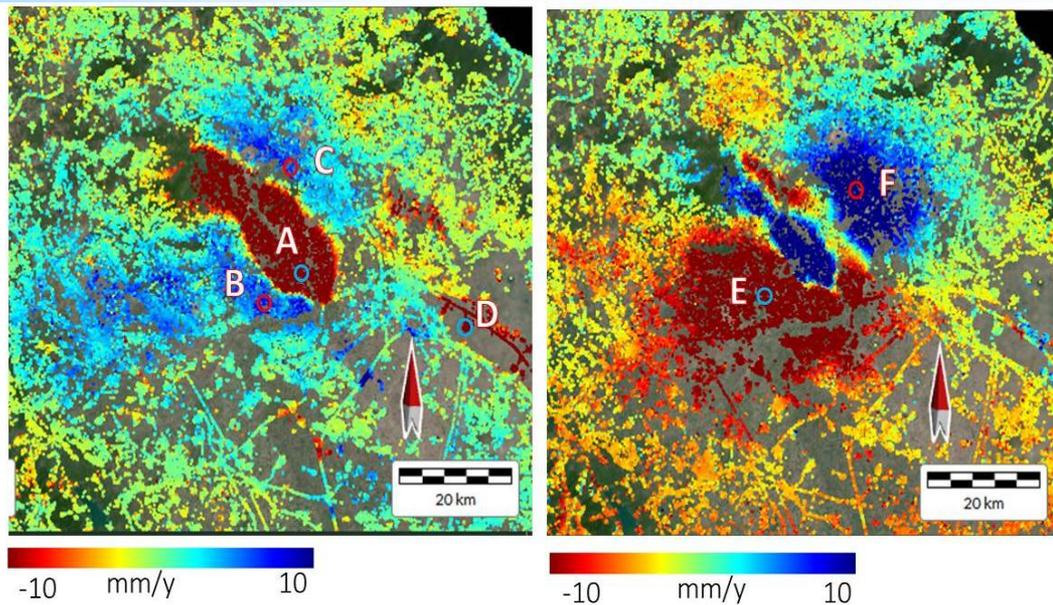
Карти на хоризонталните (и-з) премествания

## Profile Plot for VERTICAL



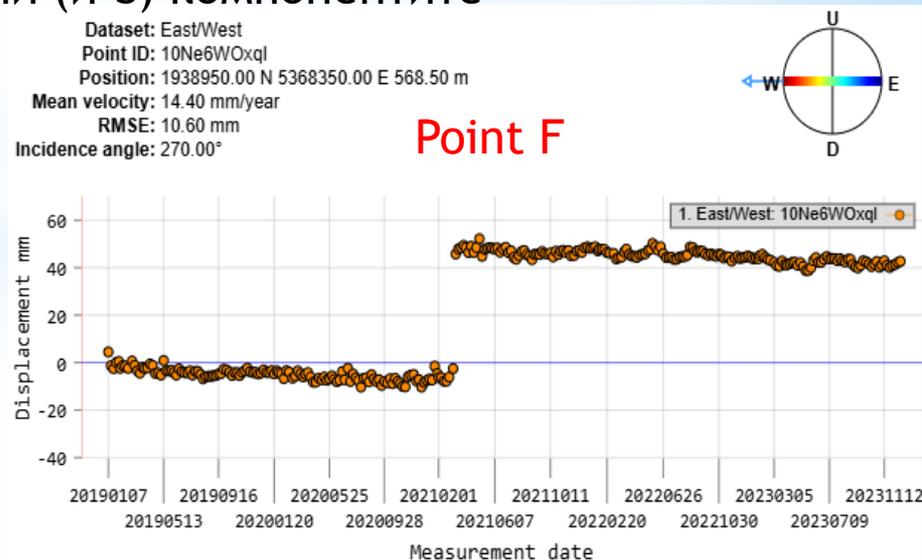
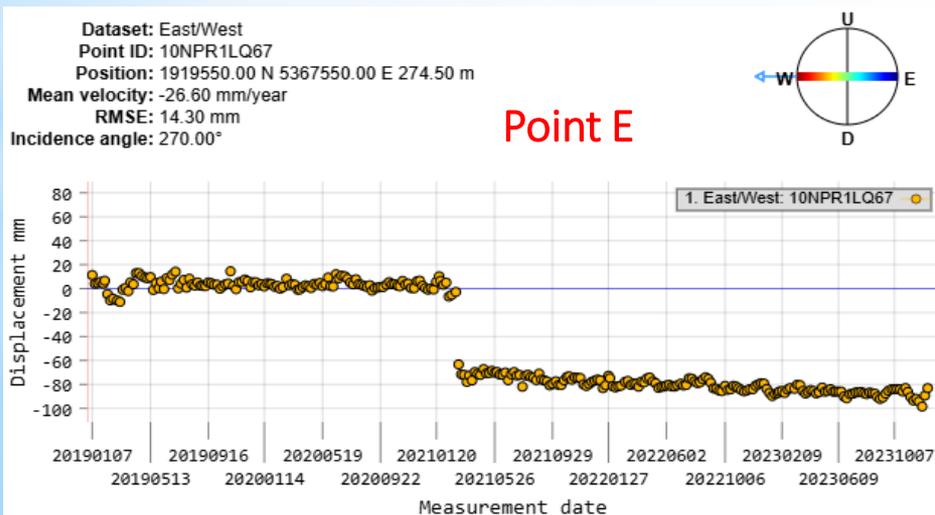
**Atanasova-Zlatareva Mila, Angelova-Koevska Petya.** Application of the DInSAR method for determining coseismic displacement after the earthquake on January 7, 2025, in the South Tibet region. Proc. SPIE 13816, Eleventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2025), 138161H, 13816, SPIE DIGITAL LIBRARY, 2025, ISSN:0277-786X E-ISSN:1996-756X, DOI:10.1117/12.3073136, 1-7. SJR (Scopus):0.152

# Приложения на EGMS продукти за откриване на косеизмични премествания за района на Лариса

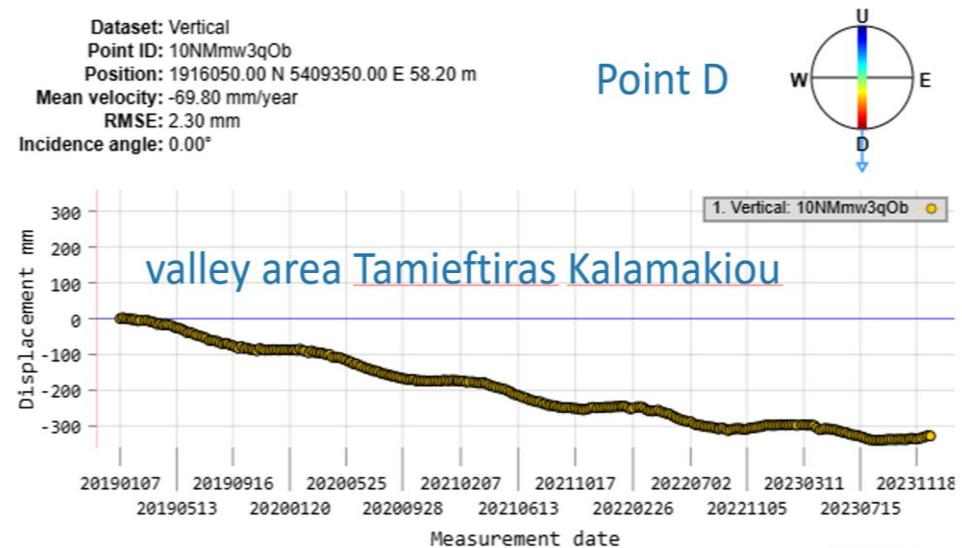
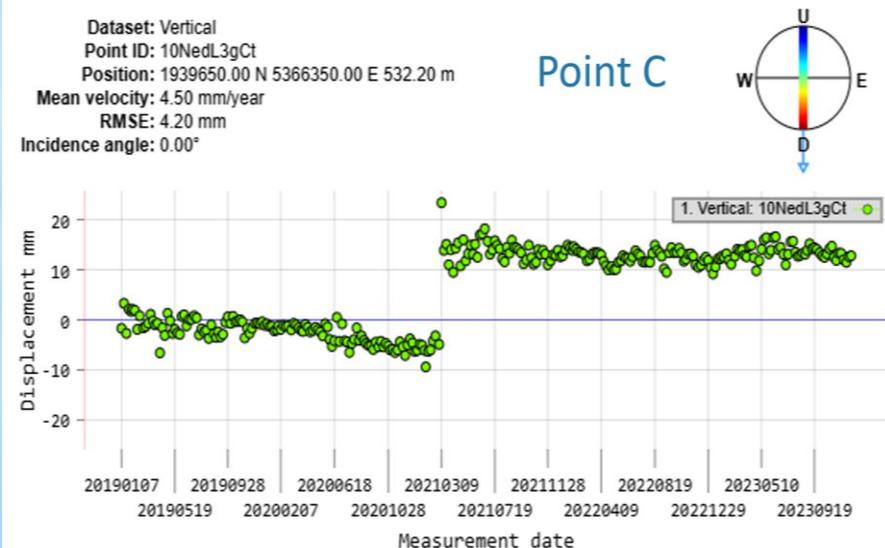
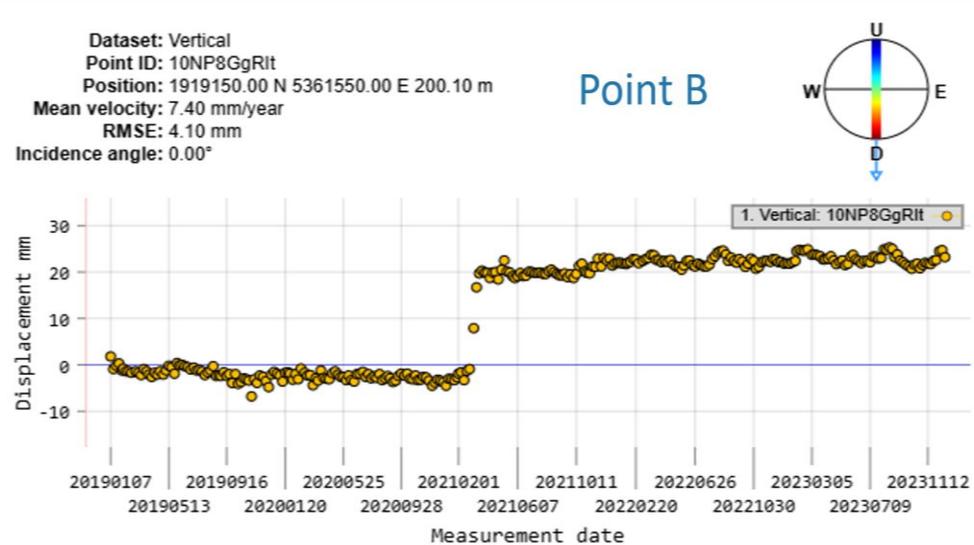
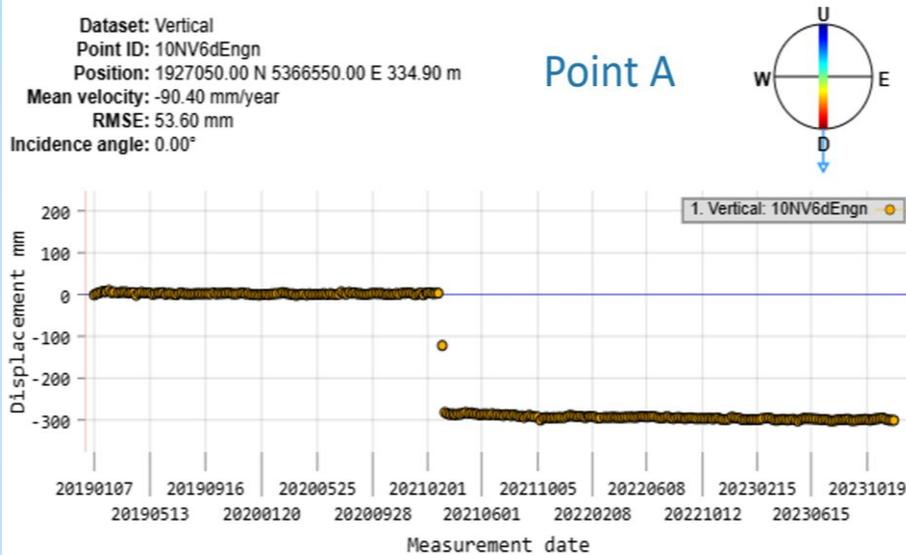


Вертикални и хоризонтални (и-з) компонентите на регистрираните премествания определени от MT-SAR за периода 2019-2024 г. от EGMS за района на Лариса.

<https://egms.land.copernicus.eu/> хоризонтални (и-з) компонентите

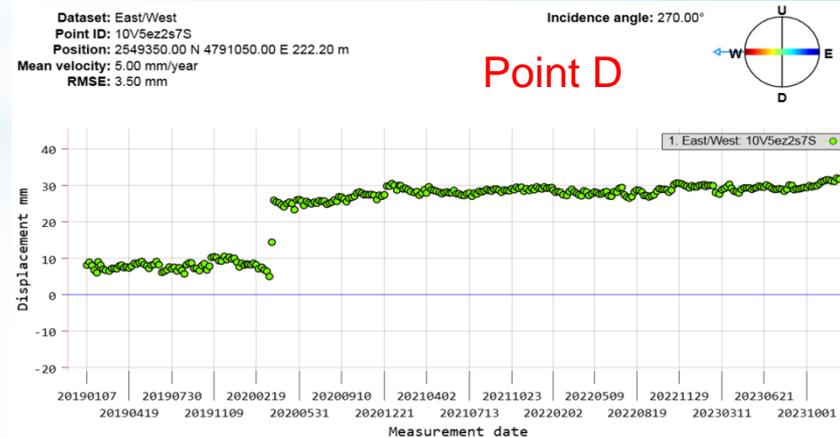
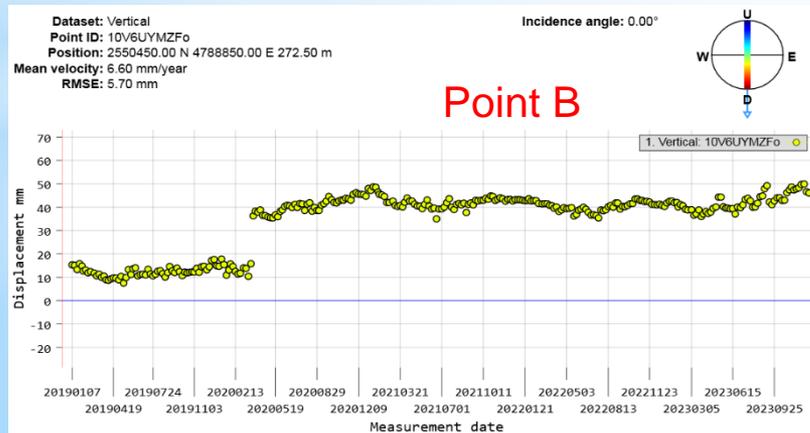
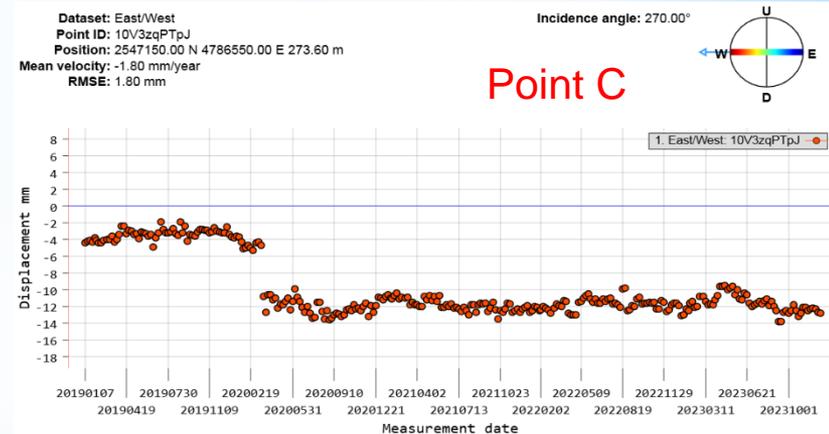
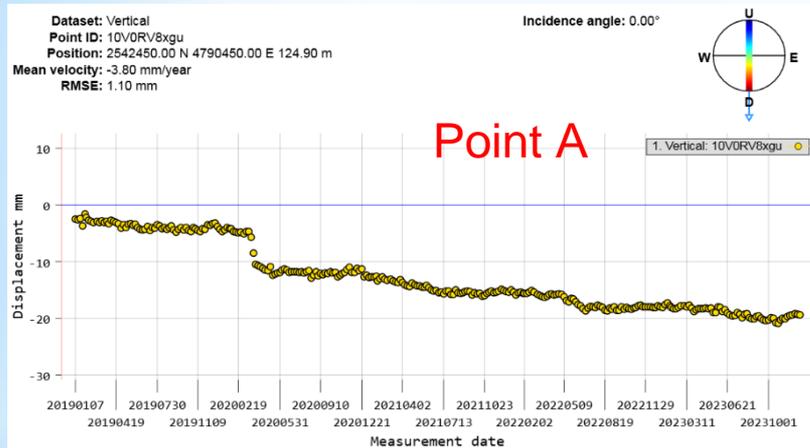
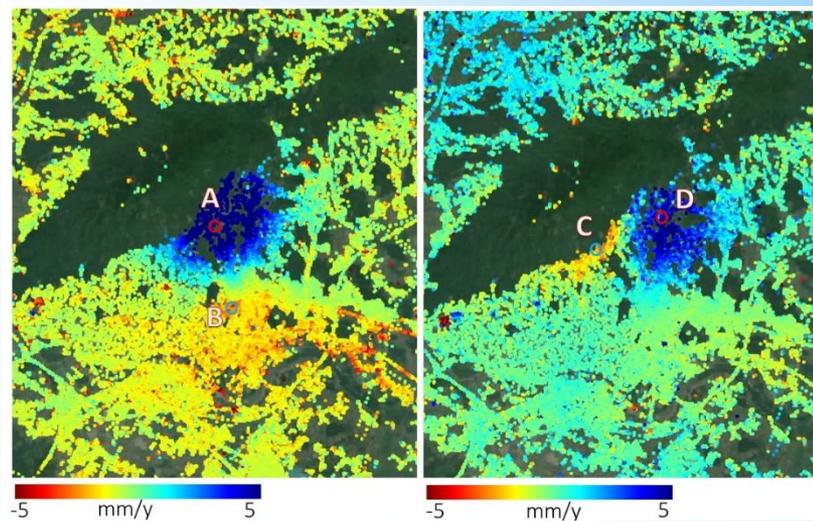


# Вертикални премествания по MT-SAR от EGMS за периода 2019-2023 г. за точките в района на Лариса



# MT- SAR данни и времеви редове от EGMS за периода 2019-2023 г. за региона на Загреб

На 22 март 2020 г. земетресение разтърси Загреб, с магнитуд 5,3 Mw и 5,5 ML с епицентър на 7 км северно от центъра на града. <https://egms.land.copernicus.eu/>



# Заклучение

- Основна задача е да се установи размера на засегнатата територия и величината на деформациите на земната повърхност и да се изготвят карти на преместванията.
- Чрез използване на DInSAR се постигна представяне на поведение на свлачищните процеси в „Дългия яр“ - Северното Черноморско крайбрежие чрез верифициране с ГНСС данни
- Определени са промените настъпили на земната повърхност в района на каменна кариера Студена чрез мулти-темпорална обработка на DInSAR антропогенни дейности.
- SAR може да се използва за наблюдение на повърхностните премествания на инженерни съоръжения и по този начин може да се използва за предотвратяване на непосредствена нестабилност на споменатите съоръжения.
- Получените интерферометрични карти като краен резултат разкриват цялостната стабилност на терена на изследвания регион около язовирната стена на язовир „Студена“. Тези карти могат да обслужват за нуждите на компетентните местни власти, както и на други оператори с цел повишаване безопасността на населението, живеещо в района.
- Мониторингът на действителното поведение на движенията на земната кора е от съществено значение за оценката и прогнозирането на риска от бедствия.
- Определени са косеизмичните деформации настъпили след земетресението, случило се в Тибет на 7 януари 2025 г., като първите резултатите са представени през март на международна конференция в Кипър.
- Определени са косеизмични деформации на земната кора, настъпили след земетресения в районите на Балканския полуостров след 2019г. по данни от EGMS.
- Изследването и прогнозирането на съвременните геодинамични движения на земната кора, базирано на SAR данни представляват значителен интерес за Геонауките.

# Научните публикации свързани с тема 9

2 статии публикувани в реферирани списания в **Scopus**

1 доклад от Националната геофизична конференция с международно участие

1 статия под печат - ще излезе в издание на **Springer** и ще се реферират в Scopus

*Mila Atanasova-Zlatareva, Petya Angelova-Koevska Applications of EGMS products for detection of coseismic displacements on the Balkan Peninsula, MedGU - 5th Mediterranean Geosciences Union (MedGU2025) Athens 10-12 Nov 2025*

Представяне на резултатите на научни форуми:

- 2 доклада
- 2 постера

Благодаря за  
вниманието !

