ДИСТАНЦИОННО АЕРОКОСМИЧЕСКО ИЗУЧАВАНЕ НА ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ

Представят:
Проф. д.т.н. д-р по физика инж. Гаро Мардиросян
Проф. д.т.н. д-р инж. Димитър Димитров
Проф. д-р Лъчезар Филчев

Модератор: д-р Камелия Радева

FPCUP action
“2021-2-8. Copernicus4Schools – The Great Disaster Challenge”

УЕБИНАР: ДИСТАНЦИОННО АЕРОКОСМИЧЕСКО ИЗУЧАВАНЕ НА ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ

- ✓ **ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ - ВЪВЕДЕНИЕ**
- ✓ **ВЪВЕДЕНИЕ В COPERNICUS И СЕИЗМОЛОГИЯТА**
- ✓ **АКТУАЛНО ПРИЛОЖЕНИЕ НА КОСМИЧЕСКИТЕ ТЕХНОЛОГИИ GNSS И РАДАРНАТА ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ INSAR, ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРИРОДНОТО БЕДСТВИЕ ПРИ ОСТРАВ САНТОРИНИ**

European Commission

Copernicus
Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

БАН ИКИТ

Земетресенията са страшни природни бедствия, взели милиони човешки жертви и причинили неизчислими материални щети. За секунди от земните недра се отделя колосална енергия, разрушава се построеното за десетилетия, загиват нищо неподозиращи до този момент хора.

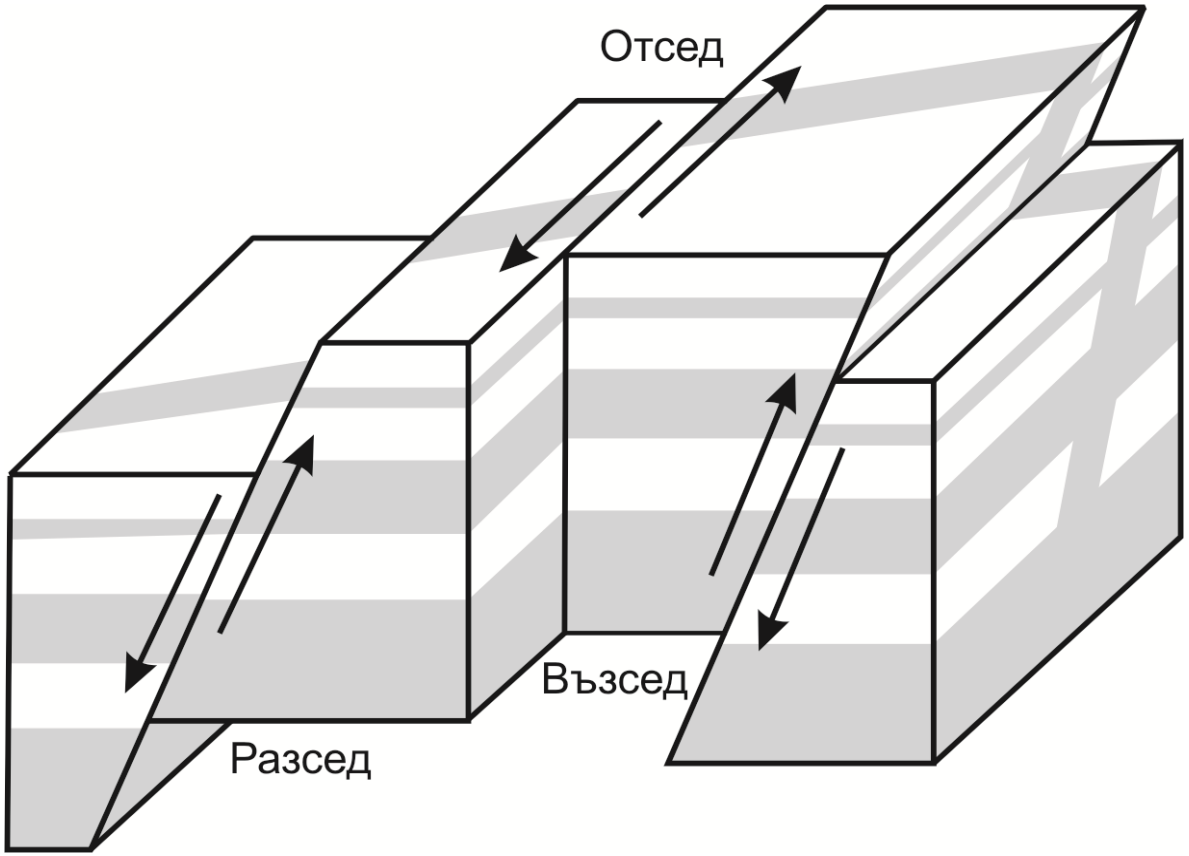
Във физично отношение земетресенията представляват колебание на земната повърхност, дължащо се на различни причини. Съответно може да се направи и класификация на земетресенията според механизма на образуването им: *тектонски, вулкански, обвални, индуцирани.*

European Commission

Copernicus
Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

БАН ИКИТ

Най-често земетресенията се дължат на тектонска активност Отделните литосферни плочи са ограничени от *разломи* местата, където те се трият една в друга и по които става относителното им преместване. Именно в разломите се създават земетръсните *огнища*.



Епицентърът е областта от земната повърхност, намираща се над огнището.

Според дълбочината на огнището земетресенията се класифицират като:

- *дълбокофокусни* с дълбочина на огнището до около 700 km,
- *плиткофокусни* (наричани още и *нормални*) с дълбочина на огнището до 60 km под земната повърхност.

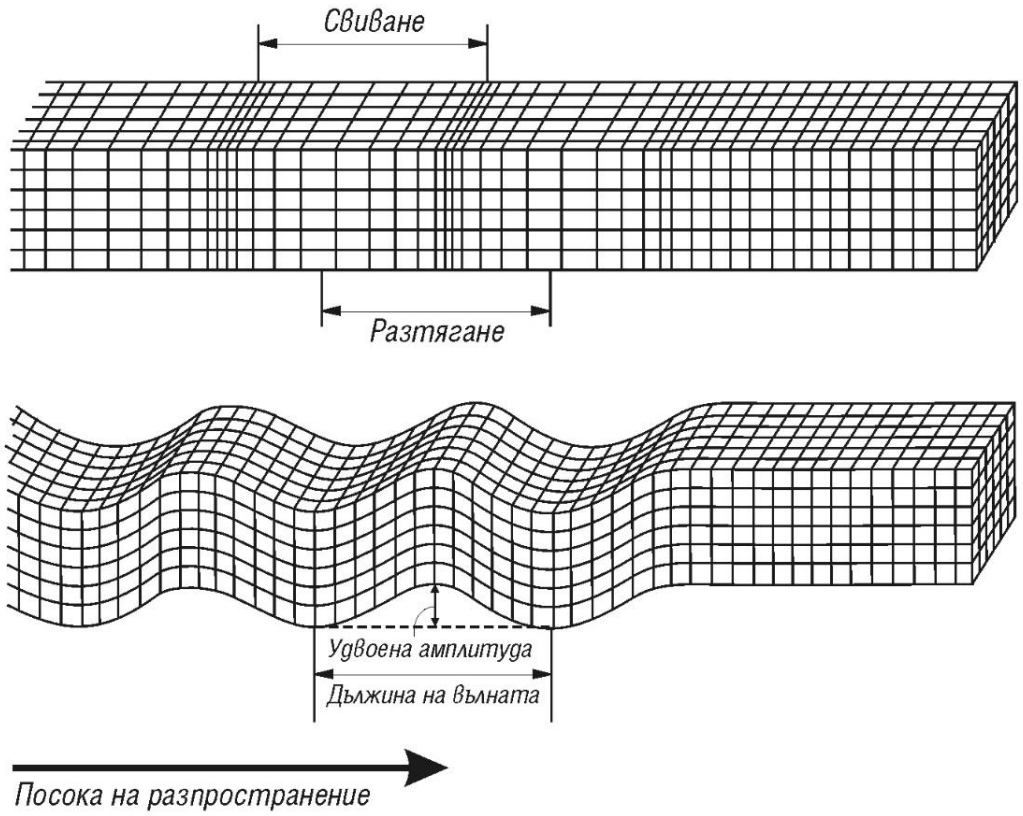
Съществуват и други класификации, при които са формулирани и огнища с междинна дълбочина до 300 km. Около 75 % от цялата сеизмична енергия, отделена ежегодно от земетресения, се пада на плиткофокусните земетресения, които всъщност представляват много по-голяма опасност.

European Commission

Copernicus
Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

БАН ИКИТ

СЕИЗМИЧНИ ВЪЛНИ И РАЗПРОСТРАНЕНИЕТО ИМ



Земетръсното огнище излъчва основно два типа сеизмични вълни. Първият вид се наричат надлъжни и се означават с буква *P* (от primary), защото поради повисоката си скорост на разпространение (от 5 до 13 km/s) тяхното въздействие се усеща най-рано. В *P*-вълните всяка частица на средата се колебае напред-назад по посока на разпространението им. От надлъжните вълни настъпва редуващо се компресиране и разтягане на земната среда. Вторият тип вълни са напречните и се означават с буква *S* (от secondary), защото поради около 1,7 пъти по-малката си скорост на разпространение пристигат след P-вълните. Частиците при *S*-вълните се колебаят перпендикулярно спрямо посоката на разпространение. При тях се предизвиква змиеподобно огъване на средата.

МАГНИТУД

- Понятието *магнитуд* е въведено от американския сеизмолог проф. Чарлз Рихтер през 1935 г. Магнитудът характеризира количеството на сеизмична енергия, отделена в огнището. Той е безразмерна величина и се определя по експериментален път при регистрирането на дадено земетресение.
- Земетресение може да има и нулев, и отрицателен магнитуд. Земетресения с $M \leq 0$ са много слаби и не само че не представляват опасност, но изобщо не могат да бъдат усетени. Например на земетресение с $M = 0$ съответства енергия $E \approx 10^3$ J, която може да се сравни с енергията на 0,5 kg експлозив.

European Commission
Copernicus Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake
БАН ИКИТ

ИНТЕНЗИВНОСТ

Магнитудът не дава възможност да се оцени директно ефектът на земетресенията върху земната повърхност. Това въздействие се оценява по *сеизмични скàли* за *интензивност*. Интензивността представлява степента на разтърсване в даден район, определена по субективни наблюдения на ефекта от труса върху хората, постройките и земната повърхност.

Съществуват и се използват няколко сеизмични скали за интензивност. През 1964 г. е изработена 12-степенната скала MSK-64, използвана в Източна Европа, включително и в България.

Интензивност на повърхността по скалата MSK-64	***x*, mm**	***v*, cm/s**	***a*, cm/s²**
V	0,8–1,5	1,6–3,0	15–30
VI	1,6–3,0	3,1–6,0	31–60
VII	3,1–6,0	6,1–12,0	61–120
VIII	6,1–12,0	12,1–24,0	121–240
IX	12,1–24,0	24,1–48,0	241–480
X	24,1–48,0	48,1–96,0	481–960

Интензивността в голяма степен качествено понятие, чието значение е преди всичко информационно.

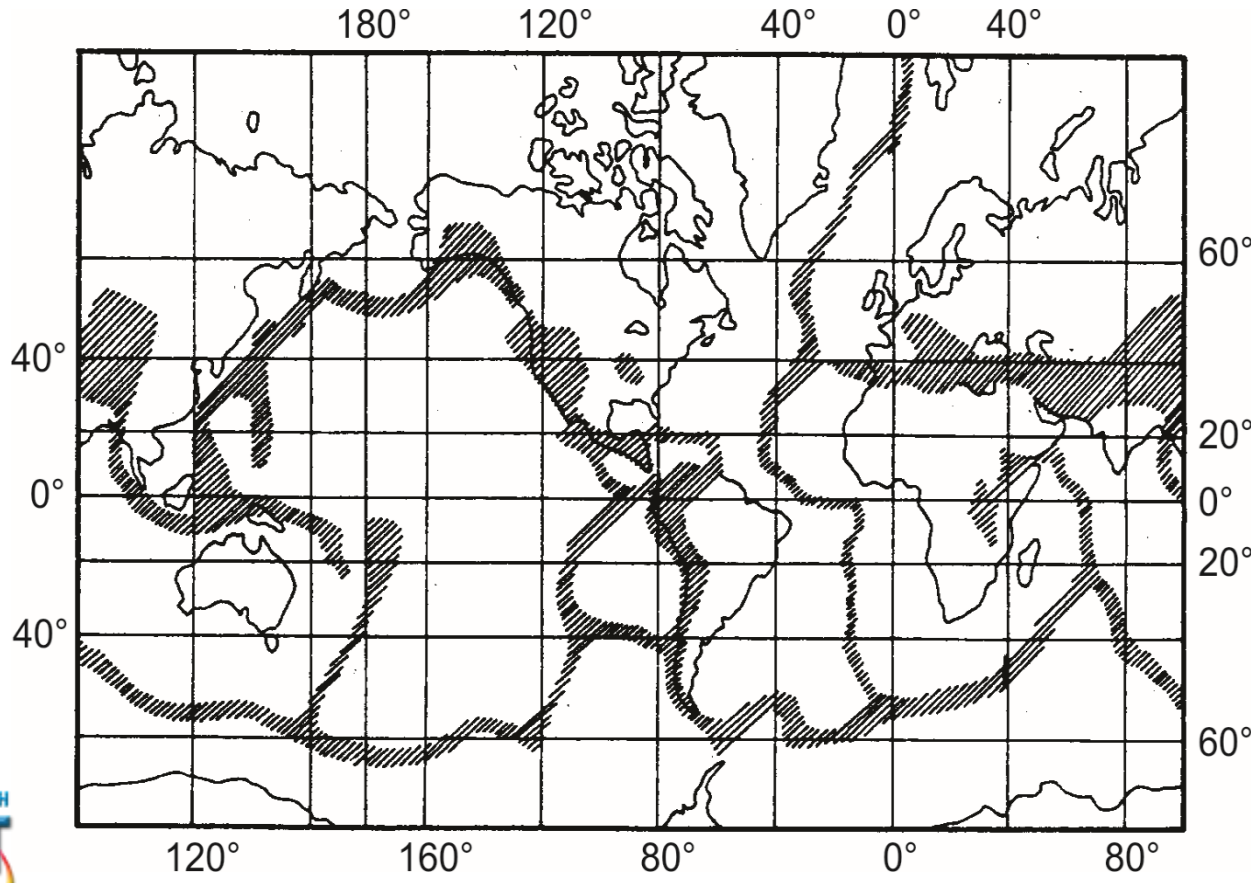
e

ГЕОГРАФИЯ НА ЗЕМЕТРЕСЕНИЯТА

Разпределението на земетресенията по земното кълбо не е нито равномерно, нито безразборно. Сеизмичните огнища се групирани в сравнително тесни ивици *сеизмични пояси,* опасващи Земята на местата, където се развиват съвременните тектонски процеси.

Основните сеизмични пояси на Земята:

- *Тихоокеански*
- *Алпо-Хималайски*
- *Средноатлантически*



European Commission
Copernicus
Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake
БАН
ИКИТ

Според данни на ЮНЕСКО през последната четвърт на XX в. от сеизмични катастрофи са загивали средногодишно по над 100 хил. души, а броят на пострадалите е около 3,5 млн. жертви

Дата	Район на епицентъра	Магнитуд	Интензивност в епицентъра	Приблизителен брой жертви (хиляди)
526	Средиземноморието	–	–	200
1268	Силиджия, Мала Азия	–	–	60
27.09.1290	Чжили, Китай	–	–	100
23.01.1556	Шанси, Китай	8,1	XI	830
16.12.1663	Шемаха, Кавказ	7,5	X	80
11.01.1693	Катания, Италия	7,5	X	90
30.12.1703	Хонсю, Япония	8,1	XI	200
11.10.1737	Калкута, Индия	–	XI	300
01.11.1755	Лисабон, Португалия	8,3	XI	65
04.02.1783	Калабрия, Италия	7,2	X	55
16.08.1868	Еквадор и Колумбия	8,0	X	50
28.12.1908	Месина, Италия	7,5	X	90
16.12.1920	Хансу, Китай	8,5	XII	180
01.09.1923	Канто, Япония	8,3	XI	130
26.12.1932	Хансу, Китай	7,6	X	75
31.06.1970	Чимботе, Перу	7,8	X	55
27.07.1976	Таншан, Китай	7,8	XI	650
08.10.2005	Кашмир, Пакистан	7,6	X	85
12.05.2008	Съчуан, Китай	7,9	X	88
12.01.2010	Порт-о-пренс, Хаити	7,3	X	200
06.02.2023	Турия, Сирия	7,8	X	60

European Commission

Copernicus Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

БАН ИКИТ

ВТОРИЧНИ ЕФЕКТИ ОТ ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ

- Цунами
- Пожари
- Наводнения
- Свличания на лавини
- Свлачища
- Изригване на вулкани

КАТАСТРОФАЛНИ ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ НА ТЕРИТОРИЯТА НА БЪЛГАРИЯ

Територията на България безусловно трябва да бъде причислена към сеизмоопасните зони на нашата планета.

Дата	**Район на епицентъра**	**Магнитуд** ***M***	**Интензивност в епицентралната област, степен**
30.09.1858	София	6,9	IX.
31.03.1901	Калиакра	7,2	X
04.04.1904	Кресненско дефиле	7,8	X
08.10.1905	Струмска долина	6,4	VIII – IX
15.02.1909	Ямбол	6,0	VIII
04.06.1913	Горна Оряховица	7,0	IX X
14.04.1928	Чирпан	6,8	IX
28.04.1928	Поповица	7,0	X

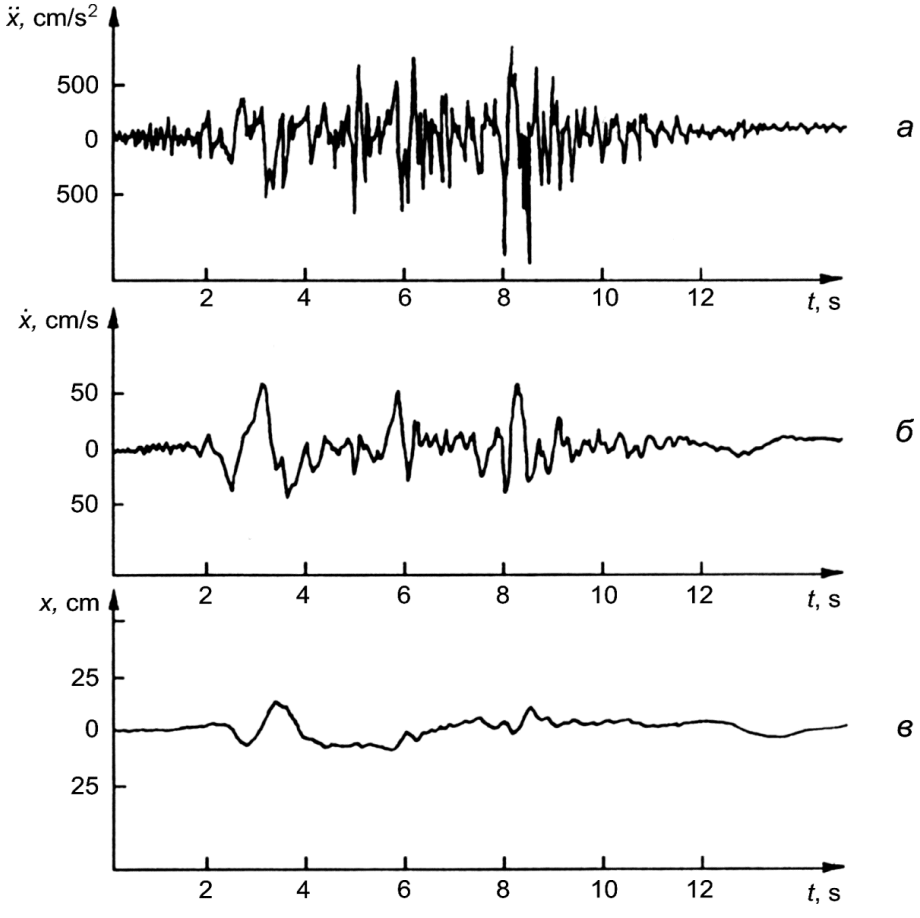
European Commission

Copernicus Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

БАН ИКИТ

РЕГИСТРАЦИЯ НА ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ

Като резултат от регистрирането на едно земетресение се получава *сеизмограма,* която служи за определяне на параметрите на земетресението: местоположението на епицентъра, силата на земетресението, дълбочината на огнището, времето на труса, продължителността на земетресението и др.



ВЪВЕДЕНИЕ В COPERNICUS И СЕИЗМОЛОГИЯТА

Програмата Copernicus предоставя основни данни за наблюдение на Земята чрез своята констелация от сателити Sentinel, създавайки безпрецедентни възможности за мониторинг и реагиране при сеизмични събития.

За сеизмологията тези наблюдения позволяват непрекъснат мониторинг на тектонските движения, откриване на земетресения, оценка на щетите и координация на спешното реагиране в Европа и в глобален мащаб.

Copernicus подпомага целия цикъл на управление на бедствия от земетресения - от подготовката през реакцията до възстановяването, използвайки сложни радарни и оптични технологии за изображения за откриване на движения на земната повърхност с милиметрова прецизност.

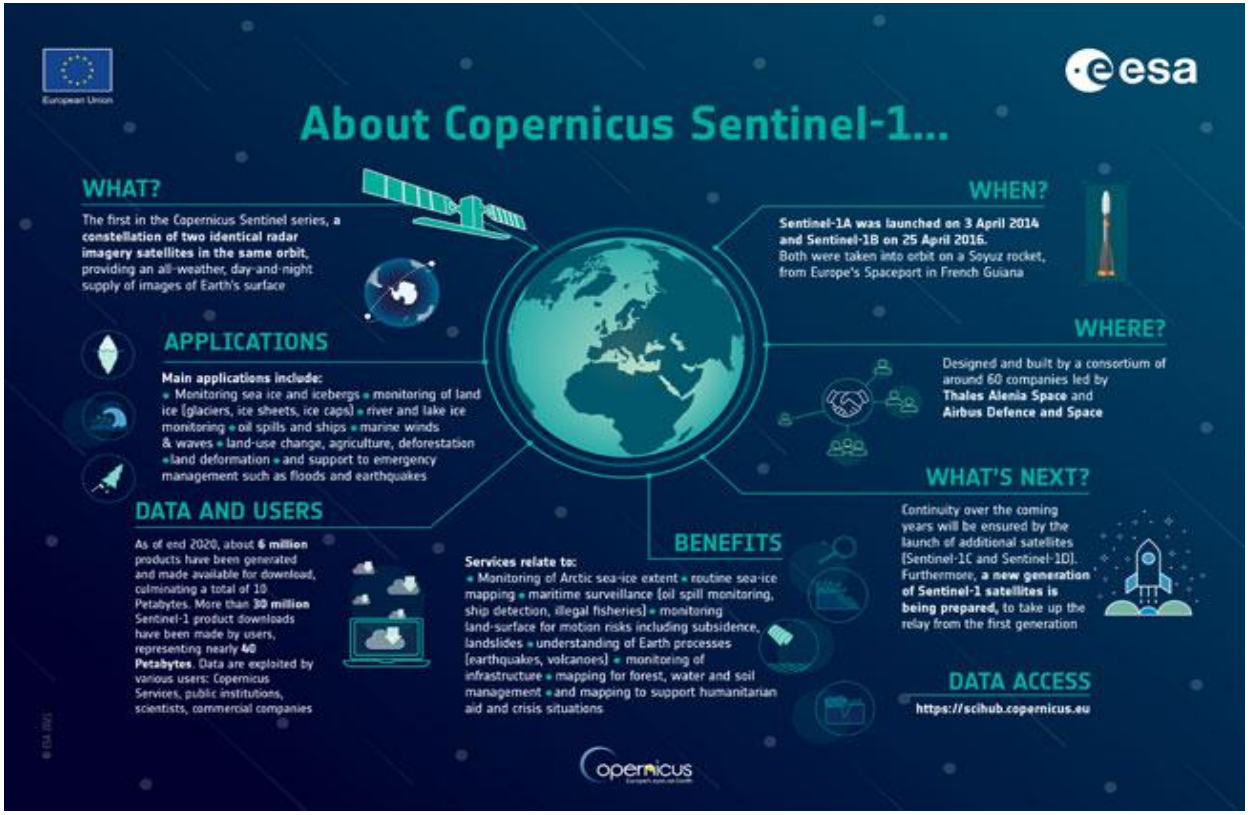
Тази сложна мрежа от системи представлява една от най-напредналите програми за мониторинг на Земята, разработвани някога, с особени предимства при откриването и анализирането на сеизмична активност, която иначе би останала невидима за конвенционалните системи за мониторинг.

European Commission
opernicus
Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake
БАН ИКИТ

Мисията **Sentinel-1** формира крайъгълния камък на възможностите на Copernicus за сеизмичен мониторинг чрез своите двойни радарни сателити, които осигуряват непрекъснати, всепогодни, денонощни възможности за заснемане независимо от облачната покривка или условията на осветеност.

Стартирана като част от програмата Copernicus на Европейския съюз, Sentinel-1 предоставя критични данни за мониторинг на структурната цялост и множество природни опасности, по-специално земетресения, свлачища и вулканична активност, които включват деформация на земната повърхност.

Оборудвани с най-съвременен радар със синтезирана апертура в С-диапазон (SAR), тези сателити улавят данни с висока резолюция, които се оказват незаменими за откриване на фините промени на земната повърхност, които остават невидими за човешките наблюдатели или оптичните сензори.



Последователната стратегия за наблюдение на мисията осигурява редовен мониторинг на сеизмично активни региони, създавайки безпрецедентна непрекъснатост на данните, която трансформира сеизмологичните изследвания и възможностите за оперативен мониторинг.

РАДАРНА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА СЕИЗМИЧЕН МОНИТОРИНГ

- Усъвършенстваната радарна технология на борда на **Sentinel-1** позволява прецизно наблюдение на земните премествания чрез интерферометричен SAR (InSAR), техника, която сравнява радарни изображения, направени в различни моменти, за да открие движението на земната повърхност с изключителна прецизност.

- Първоначално разработена за откриване на самолети, днешната сателитна радарна технология може да измерва земни премествания от порядъка на милиметър—сравними със скоростта на растеж на ноктите— което я прави идеална за откриване на предшестващи движения или деформации след събитие.

- Тази способност работи независимо от метеорологичните условия или времето от денонощието, осигурявайки непрекъснат мониторинг на сеизмичните зони, което би било невъзможно с оптични системи.

- За разлика от точковите GPS измервания, радарът предлага всеобхватно пространствено покритие на цели региони, революционизирайки способността ни да наблюдаваме тектонски дейности в широки области едновременно.

- Интерферометричната обработка създава отличителни модели на ивици, които позволяват на учените да идентифицират разломни линии и да измерват вектори на изместване с изключителна прецизност.

European Commission

Copernicus
Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

БАН ИКИТ

НАМАЛЯВАНЕ НА РИСКА ОТ ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ В РЕАЛНО ВРЕМЕ

Интеграцията на данните от Copernicus подпомага напреднали инициативи като проекта **REAKT (Намаляване на риска от земетресения в реално време)**, който има за цел драстично да подобри ефективността на методите за смекчаване на последиците от земетресения в реално време и техните защитни възможности. Тази ръководена от Европа инициатива разработва методологии, които подобряват прогнозирането на земетресения, ранното предупреждение и системите за оценка на уязвимостта в реално време чрез включване на данни за движението на земната повърхност, получени от сателити.

REAKT интегрира тези разнообразни източници на информация в единна вероятностна рамка, която отчита несигурностите, правейки я подходяща за вземане на решения по време на сеизмични извънредни ситуации. Този всеобхватен подход преодолява разликата между науката за земетресенията и практическите стратегии за намаляване на риска за защита на структури, инфраструктури и населението в региони, застрашени от земетресения в цяла Европа и извън нея. Проектът представлява значителен напредък в преминаването от теоретична наука за земетресенията към практически приложения, които могат да спасят животи и да намалят икономическите въздействия.

European Commission

Copernicus
Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

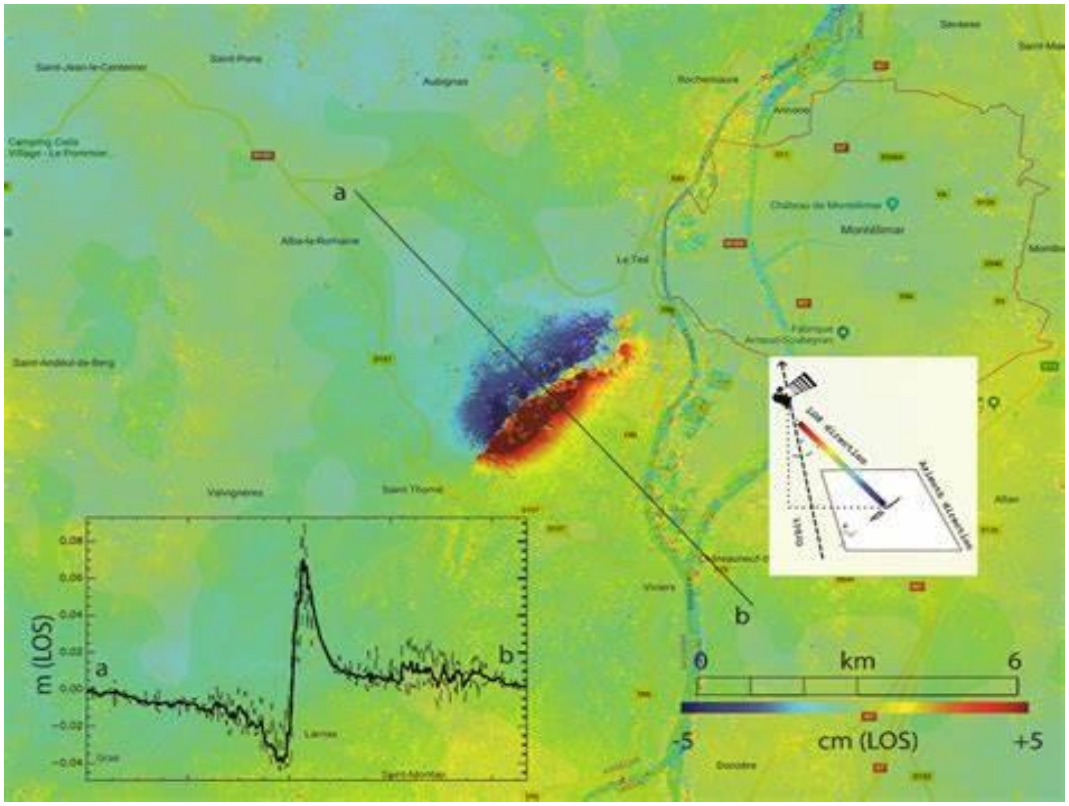
БАН ИКИТ

ПРИМЕРИ ЗА МОНИТОРИНГ НА ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ

Sentinel-1 успешно е открил и анализирал множество сеизмични събития, демонстрирайки оперативната си стойност за сеизмологията.

Франция: радарната интерферометрия идентифицира разлома, отговорен за земетресението в Le Teil, който преди това не е бил известен като сеизмично активен.

Сателитните данни разкриха поредица от интерферометрични ивици западно от Le Teil и измериха преместване на земната повърхност, показващо до 8 сантиметра издигане в южната част на разлома. Тези данни се оказаха решаващи, тъй като земетресението имаше плитък епицентър между 1 и 3,5 километра под повърхността, което прави деформацията на повърхността особено изразена.



Полевите изследвания на Френската геологическа служба (BRGM) потвърдиха тези констатации, демонстрирайки как сателитните наблюдения могат да насочват изследванията на място и да подобрят разбирането на механизмите на земетресенията в региони със сложни или преди това неидентифицирани разломни системи. Бързата наличност на тези данни чрез Платформата за експлоатация на геоопасности позволи на научната общност бързо да картографира местоположението на разлома и да потвърди механизма на земетресението.

European Commission

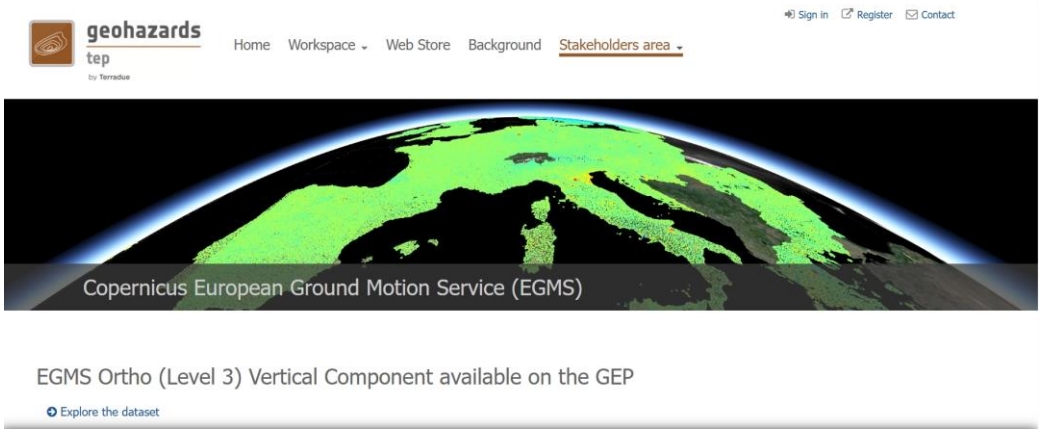
Copernicus
Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

БАН ИКИТ

ПЛАТФОРМАТА ЗА ГЕООПАСНОСТИ

Платформата за геоопасности (GEP) представлява технологичен пробив, който позволява автоматична обработка на огромни количества данни от Sentinel-1 за непрекъснат сеизмичен мониторинг. Тази базирана в облака изчислителна система обработва приблизително 50 двойки изображения дневно в европейските тектонски региони, наблюдавайки площ от три милиона квадратни километра в блокове от 200 метра.

Услугата за бързо преглеждане автоматично идентифицира области, показващи движение на земната повърхност, които заслужават по-нататъшно проучване, създавайки безпрецедентна система за ранно откриване на сеизмична активност.



Бъдещите планове целят да разширят това покритие глобално до 2026 г., като в крайна сметка ще се наблюдават всички тектонски региони по света—приблизително една четвърт от земната повърхност.

Това амбициозно разширение ще обработва около 130 двойки изображения дневно, обработвайки приблизително един терабайт данни на ден, за да произвежда както широкомащабен мониторинг, така и подробни анализи на конкретни региони. Това безпрецедентно покритие представлява ключов напредък към овластяване на обществото да намали рисковете от земетресения чрез ранно откриване на движения на земята.

ИЗТОЧНИЦИ

Copernicus Emergency Management Service. (2025). Home | Copernicus EMS On Demand Mapping. Retrieved from https://mapping.emergency.copernicus.eu

Copernicus: Sentinel-1. (2020). Copernicus: Sentinel-1 2019 - eoPortal. Retrieved from https://www.eoportal.org/satellite-missions/copernicus-sentinel-1-2019

Emergency - Sentinel Online - Copernicus. (2023). Retrieved from https://sentinels.copernicus.eu/copernicus-data/services/emergency

European Space Agency. (n.d.). Keep an automatic eye on seismic zones - ESA. Retrieved from https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Keep_an_automatic_eye_on_seismic_zones

European Space Agency. (2024). Copernicus Sentinel-1: radar vision for Copernicus -YouTube. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=WKsPRRmyFWw

REAKT Project. (2011). Strategies and tools for Real Time EArthquake RisK ReducTion. Retrieved from http://www.copernicus.eu/en/documentation/research-projects/strategies-and-tools-real-time-earthquake-risk-reduction

SM – Seismology. (2021). Browse by session - Copernicus.org. Retrieved from https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU25/sessionprogramme/5527

SM – Seismology. (n.d.). Browse by session - Copernicus.org. Retrieved from https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU23/programme/SM

European Commission

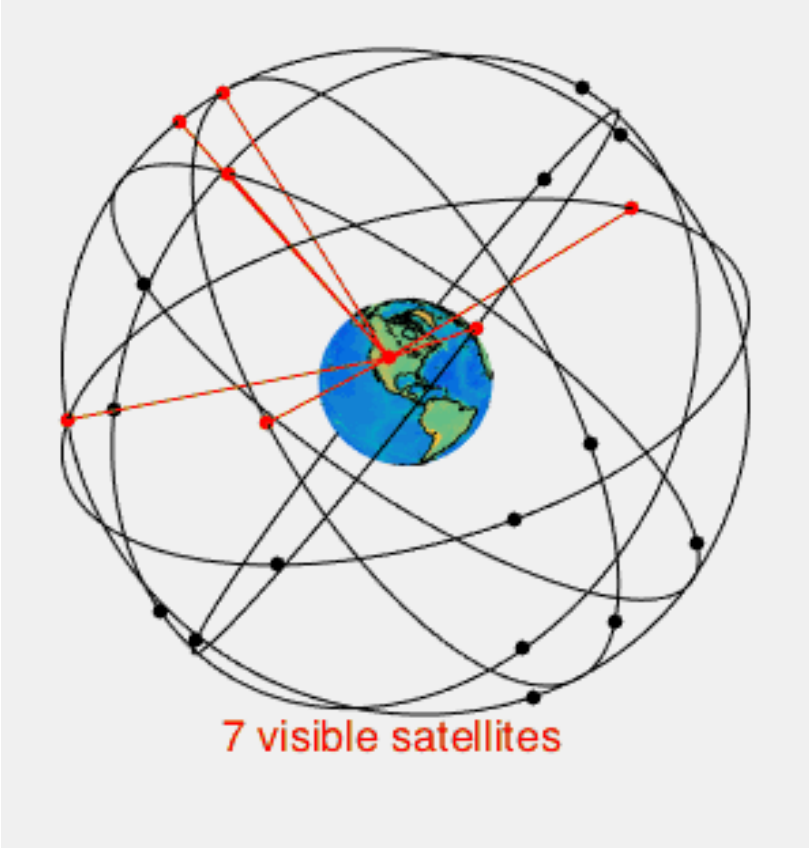
copernicus
Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

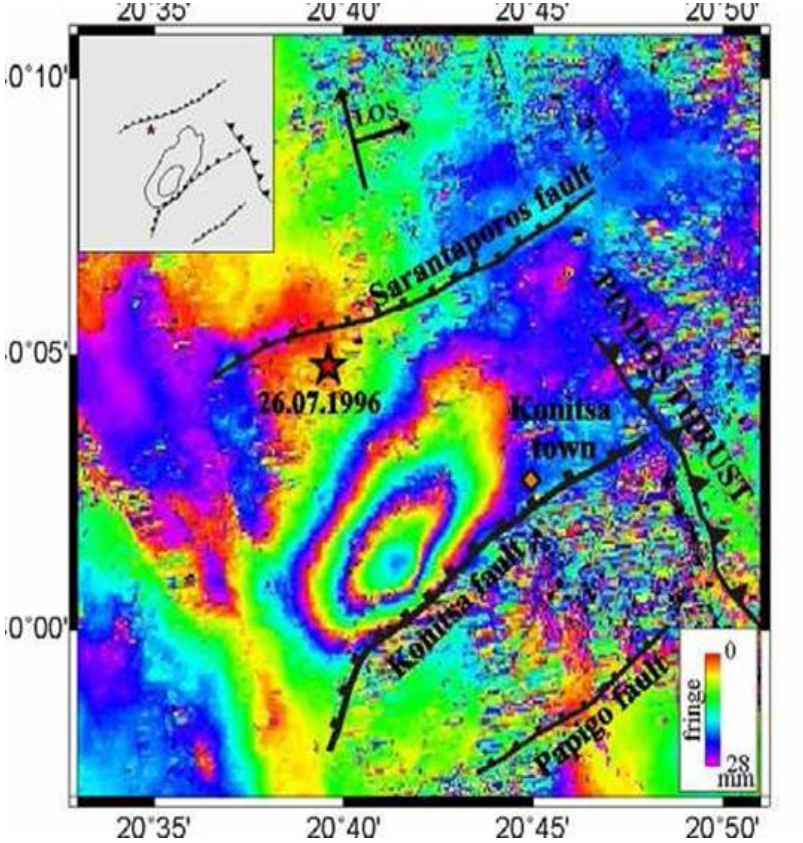
БАН ИКИТ

Актуално приложение на космическите технологии

GNSS и радарната интерферометрия InSAR,

за изследване на природното бедствие при остров Санторини

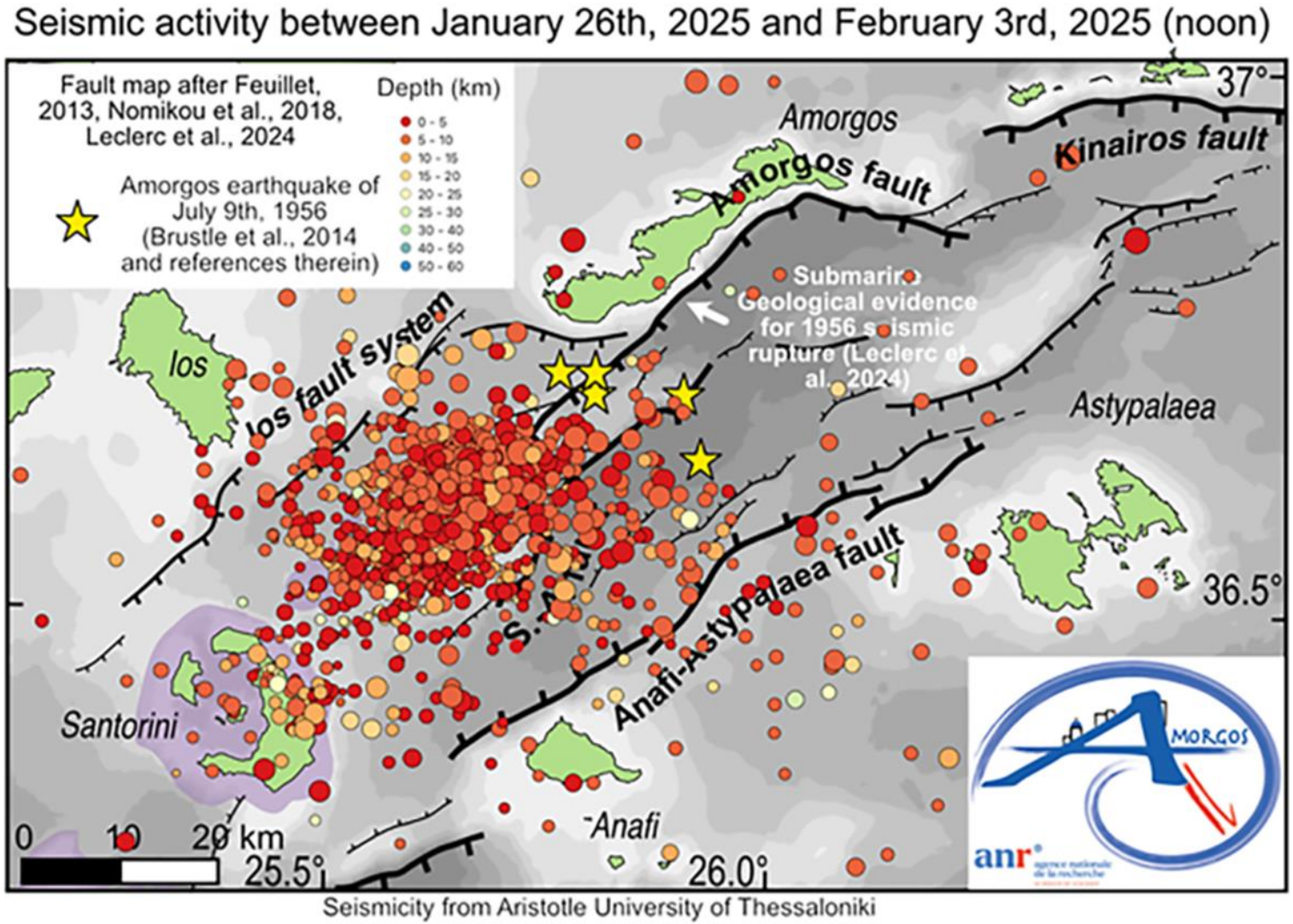




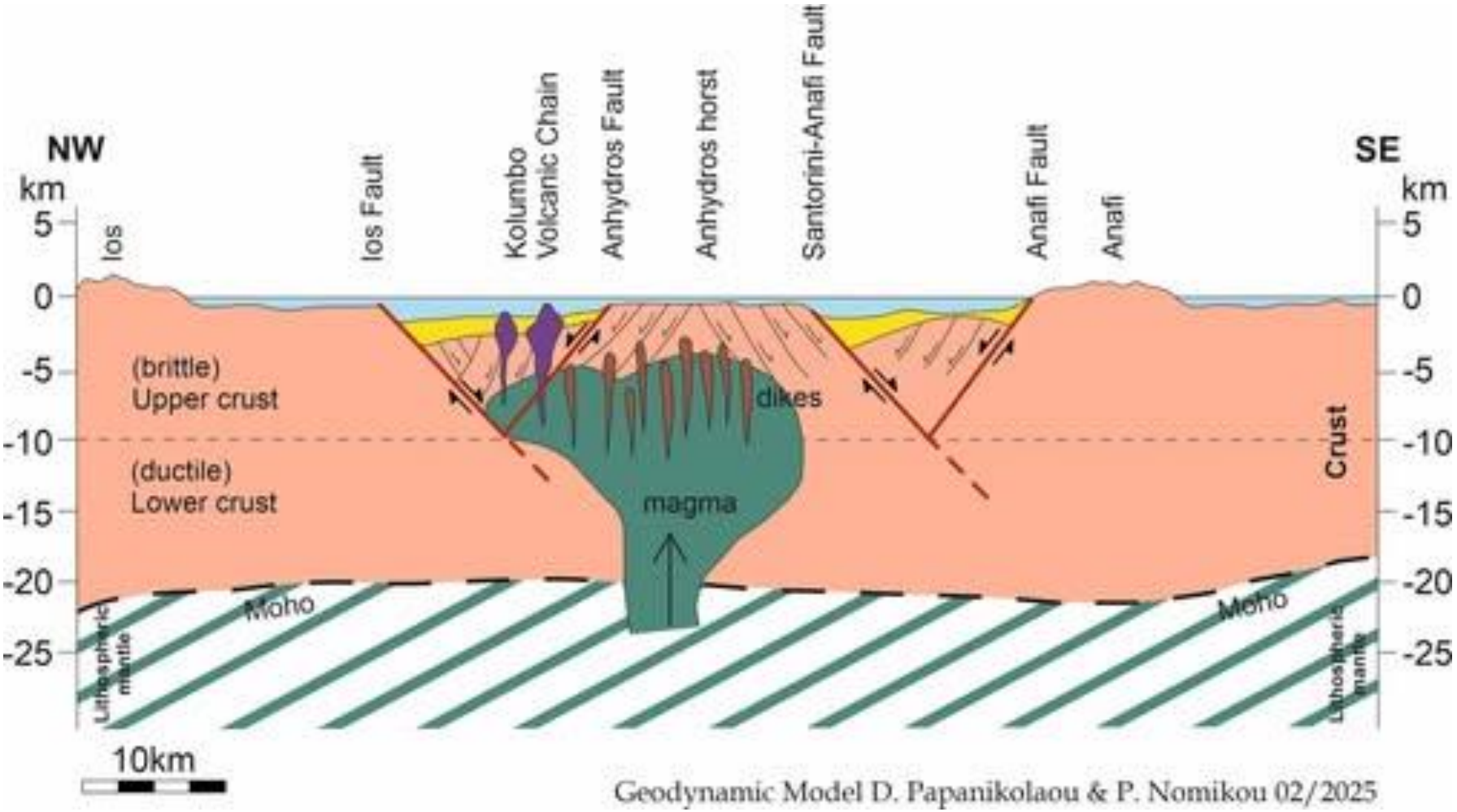
European Commission

Copernicus
Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

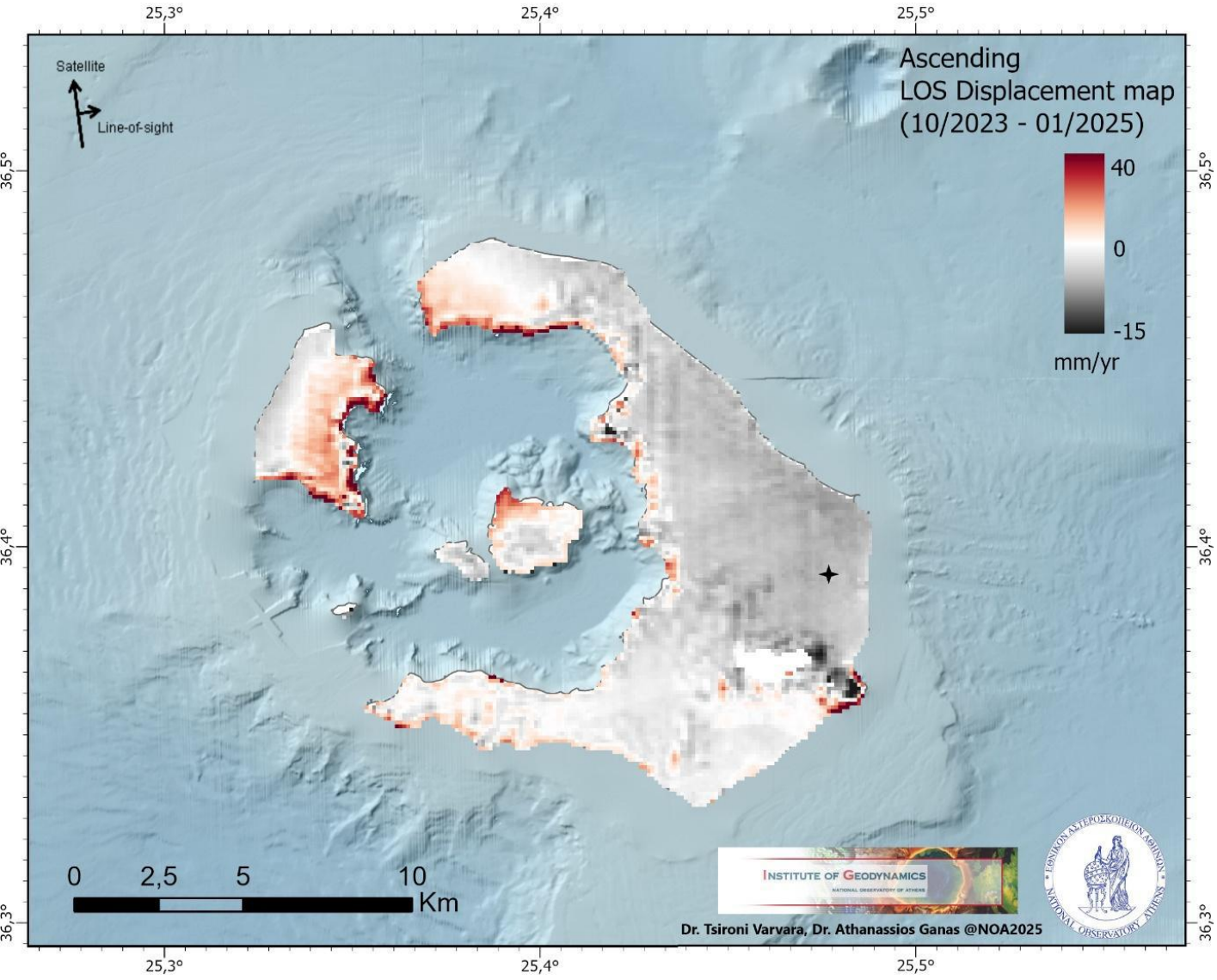
БАН ИКИТ



Рой земетресенията от 26.01.2025 до 03.02.2025 г. максимална M = 5.3



Геодинамичен модел на роя земетресения до остров Санторини 02/2025 г.



Карта на повърхностните скорости на остров Санторини

10.2023 – 01.2025 г.

от спътника Сентинел-1

- възходяща орбита

Dr. A. Ganas and Dr V. Tsironi
aganas@noa.gr vtsironi@noa.gr

European Commission

Copernicus
Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

БАН ИКИТ

Повърностни деформации

10/2023 – 02/2025 г.

на остров Санторини

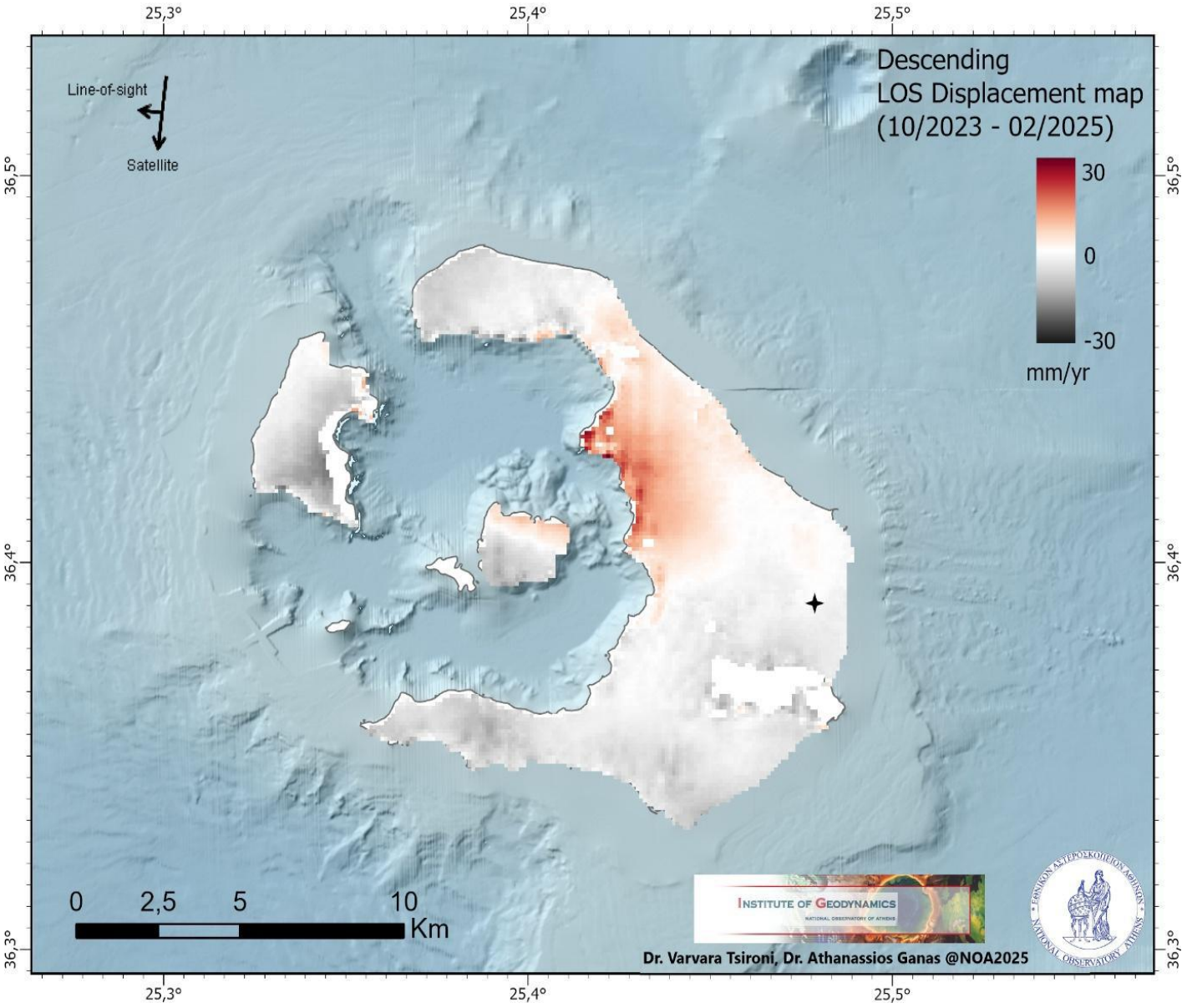
- **низходящя орбита**

от времевата InSAR серия

от спътника Sentinel-1A

на Европейската космическа агенция

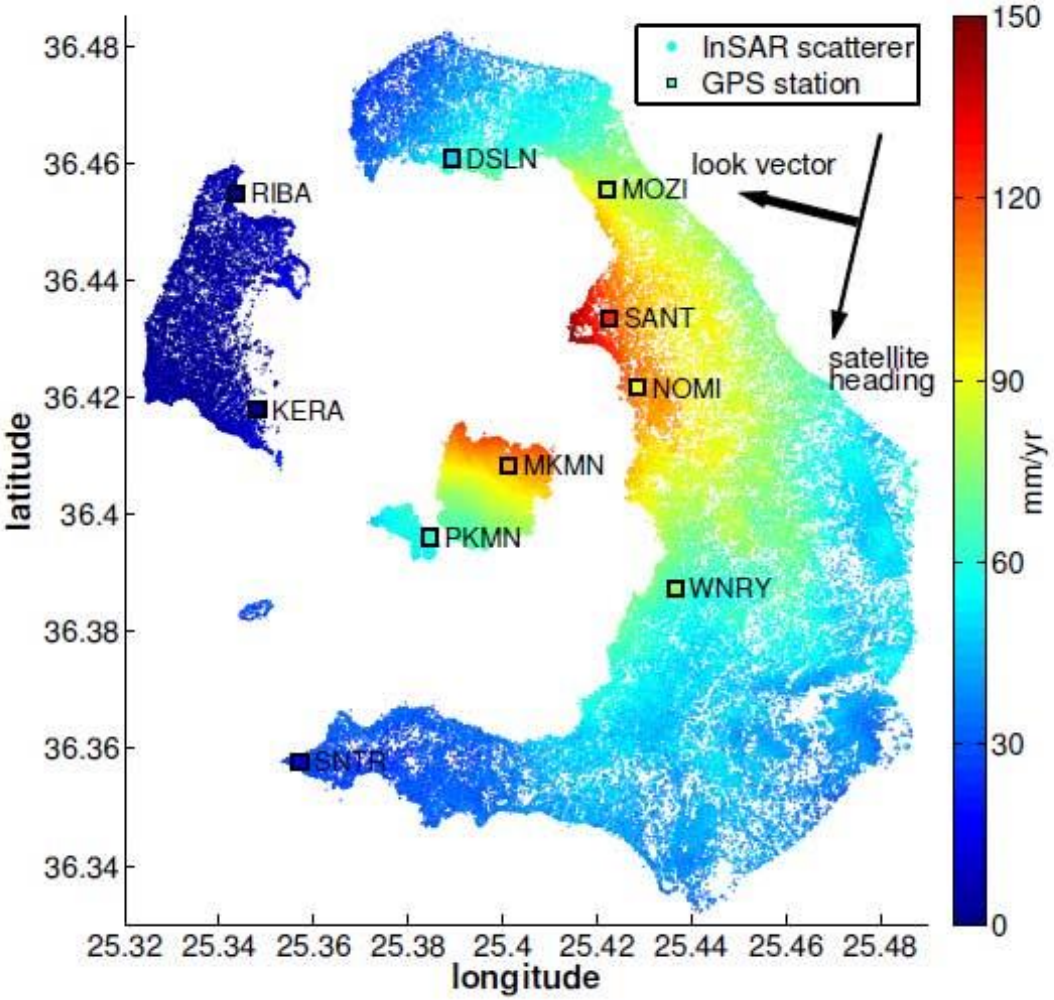
Dr. A. Ganas and Dr V. Tsironi
aganas@noa.gr
vtsironi@noa.gr



European Commission

Copernicus
Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

БАН ИКИТ



LOS velocities for the coherent pixel cloud identified by PSI and SBAS techniques. The MOZI station corresponds to the reference area, and the colored squares represent the GPS LOS projected velocities.

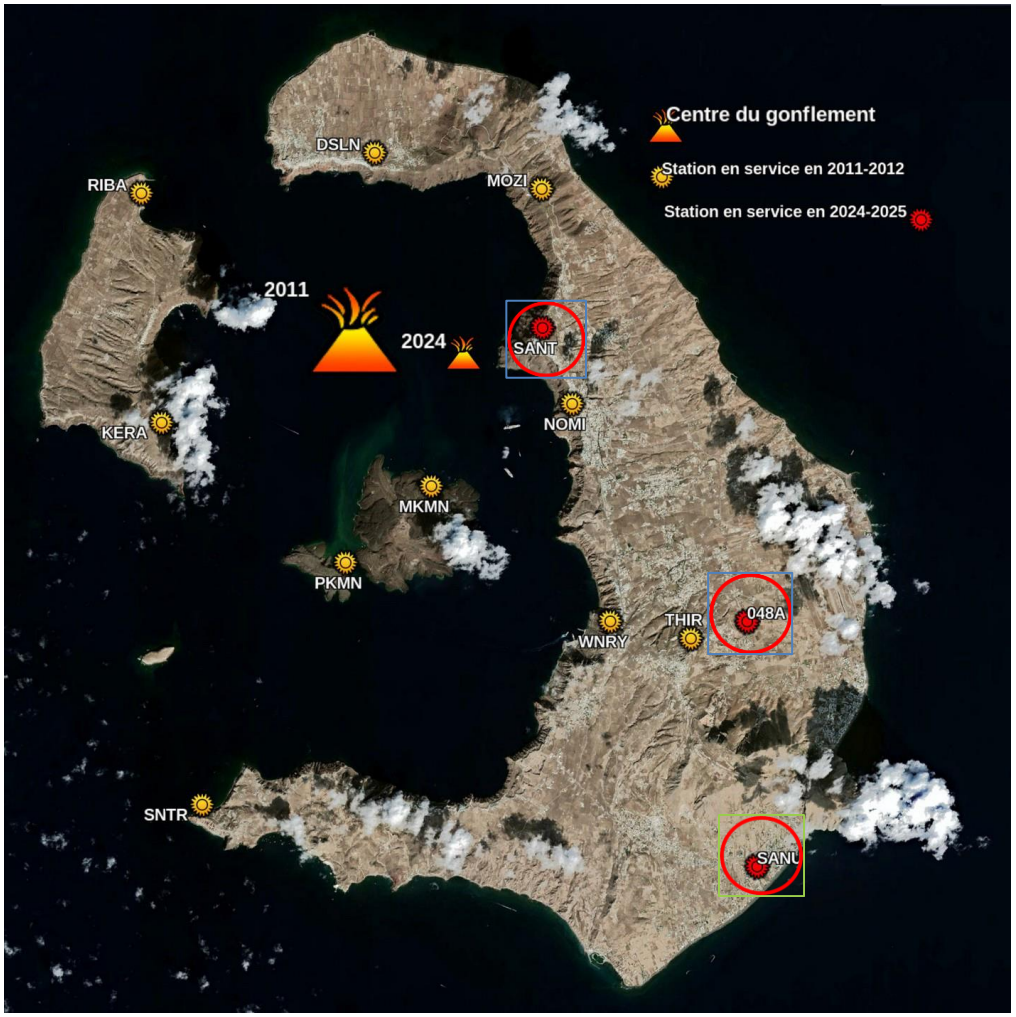
Резултати от InSAR

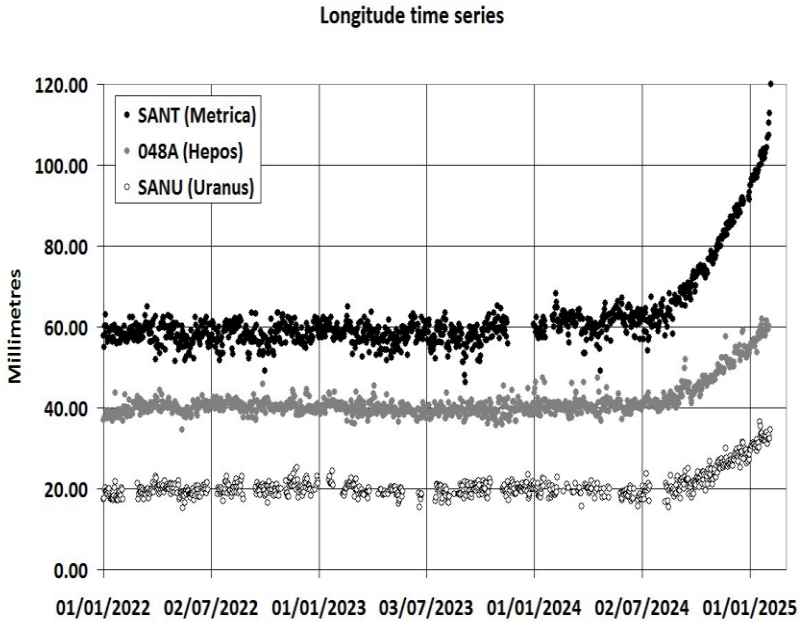
Мониторинга на остров Санторини

European Commission

Copernicus Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

БАН ИКИТ



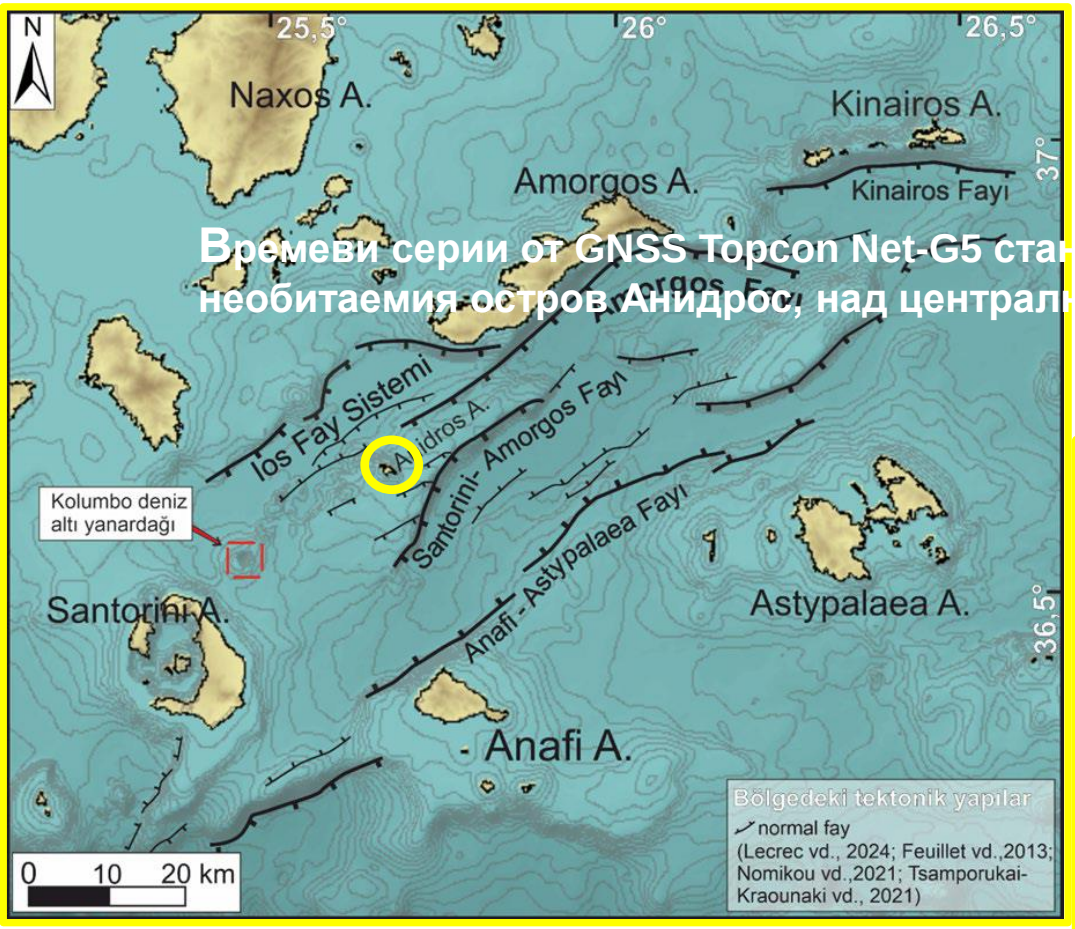


Времеви серии 2022-2025 г. на Перманентните GNSS станциите SANT, 048A и SANU Компонента Север - Юг

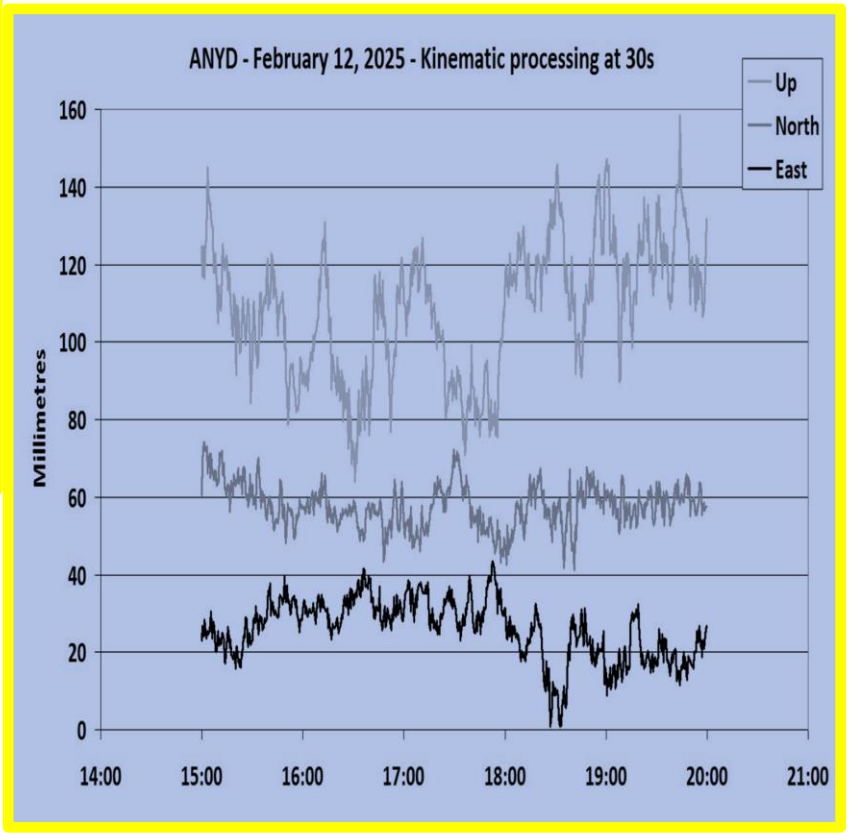
European Commission

Copernicus Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

БАН ИКИТ



Времеви серии от GNSS Topcon Net-G5 стан
необитаемия остров Анидрос, над централ



European Commission

Copernicus
Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake

БАН ИКИТ

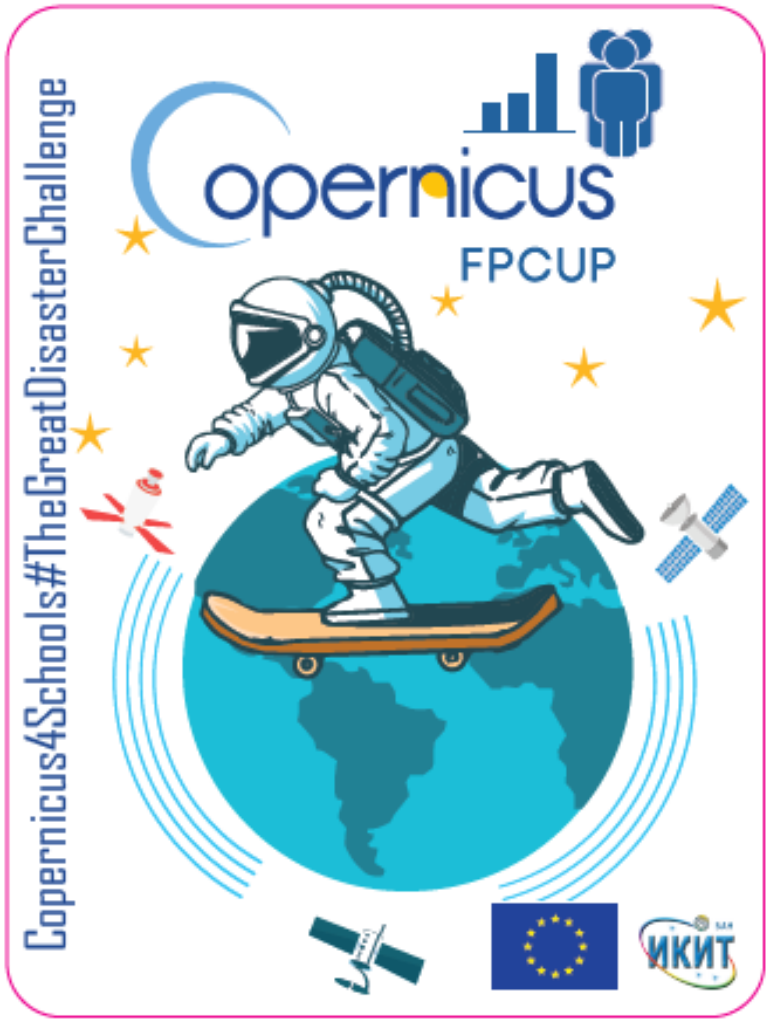
ВЪПРОСИ&ОТГОВОРИ

https://www.copernicus-user-uptake.eu/
https://www.space.bas.bg/

copernicus4schools@gmail.com

Copernicus4schools.BG

YouTube https://www.youtube.com/@Copernicus4SchoolsBG



БЛАГОДАРЯ ЗА ВНИМАНИЕТО!

КООРДИНАТОР FPCUP ИНИЦИАТИВИ в БЪЛГРИЯ:
ИНСТИТУТ ЗА КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ КЪМ БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

Инициатива„2021-2-8: Copernicus4Schools – The Great Disaster Challenge“ (Коперник за училищата – Голямото предизвикателство при природни бедствия) се финансира чрез Рамковото споразумение за партньорство Каролин Хершел относно стимулиране на потребителите на програма "Коперник" на Европейският съюз (Framework Partnership Agreement for Copernicus User Uptake), специфично споразумение за предоставяне на безвъзмездна помощ SGA N°20 - 2022/SI2.879178-SI2.879180/20