https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N11

Co-seismic ground motions from earthquakes in Turkey-Syria as registered by SAR data

Hristo Nikolov[1], Mila Atanasova[2]

[1] Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev St, Bl. 1, 1113 Sofia, Bulgaria, e-mail: hristo@stil.bas.bg
[2] National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev St, Bl. 3, 1113 Sofia, Bulgaria, e-mail: mila_at_zl@abv.bg

Key words: SAR data, ground motions, earthquakes,

Abstract
The objective of this paper is to present the results obtained from SAR data processing used to establish the ground displacements caused by a number of earthquakes that took place on the Turkey-Syria border region. The strongest events were registered on February 6, 2023. As expected, the aftershock activity was serious and up to May 1st the number of quakes with magnitude lager than 4.5 is more 180. The main data sources used in this study are satellite-borne SAR products from the Sentinel-1 mission whose large area coverage allowed production of maps that reveal the scale of the surface disruptions. Along with the said data, other data for the epicenters and regarding the established faults in the investigated region were used, too. Due to the time interval between the data acquisitions the mentioned maps portray the cumulative effect from all mentioned events which means that it is not possible to discriminate the contribution of a single event to the calculated displacements.

Ко-сеизмични движения на земната повърхност вследствие на земетресенията в Турция-Сирия регистрирани по данни от SAR

Христо Николов[1], Мила Атанасова[2]

[1] Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките, ул. „Акад. Г. Бончев“ бл.1, 1113 София, България, ел. поща: hristo@stil.bas.bg
[2] Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките, ул. „Акад. Г. Бончев“ бл.3, 1113 София, България, ел. поща: mila_at_zl@abv.bg

Ключови думи: SAR данни, земни движения, земетресения

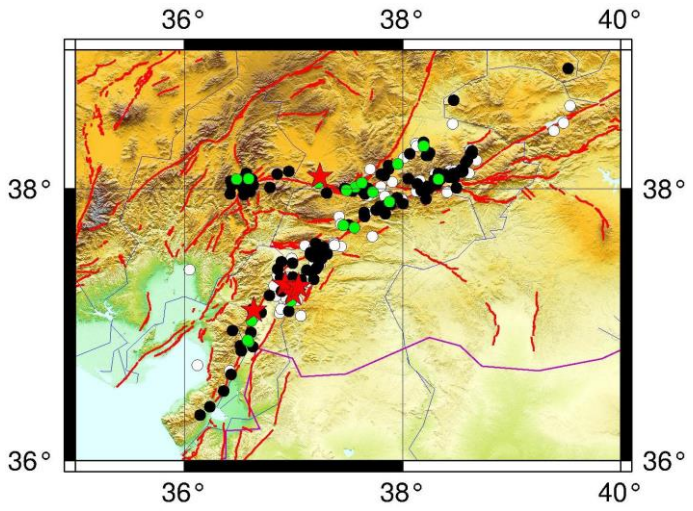
Резюме
В настоящата статия са представени резултатите, получени вследствие обработката на SAR данни, въз основа на които са установени движения на земната повърхност, причинени от поредицата земетресения, които се случиха в граничния регион между Турция и Сирия. Най-силните сеизмични събития бяха регистрирани на 6 февруари 2023 г. Както се очакваше, вторичната поредица от сеизмична активност беше сериозна и до 1 май броят на трусовете с магнитуд над 4,5 е над 180. Основните източници на данни, които бяха използвани в това проучване, са сателитни SAR продукти от мисията Sentinel-1. Тяхното голямо териториално покритие позволи изготвянето на карти, които разкриват мащаба на нарушенията по земната повърхност. Наред с тези данни са използвани и други данни – за епицентровете на земетресенията, както и относно установените разломи в изследвания район. Поради времевия интервал между регистрацията на SAR данните споменатите карти представят кумулативния ефект от всички споменати сеизмични събития, което означава, че не е възможно да се определи приносът на едно събитие към изчислените премествания.

Въведение

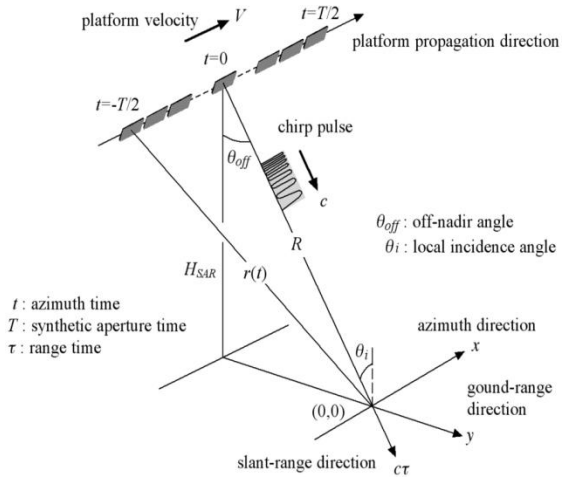
Сеизмичността в Турция се дължи на относителното движение на три големи тектонски плочи (Арабската, Евразийската и Африканската), както и на един по-малък тектоничен блок (Анатолийския). Развитието на района в геоложки времена е следствие от няколко гранични взаимодействия между тези плочи, които включват субдукция, широкомащабни разломи, компресионни планински издигания и разширение на земната кора. При сближаването на Африканската и Арабската плочи Евразийската плоча води до затварянето на Средиземно море и в същото време е причина движението на запад на Анатолийския блок. Това движение се извършва предимно по протежение на разломите на двата Анатолийски разлома – Северния и Източния. [1] Придвижването на Анатолийския блок в западна посока се извършва основно по Северноанатолийската разломна система, свидетелство за което са големият брой земетресения регистрирани през втората половина на миналия век. От друга страна,

https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N11

същият този блок се движи в югозападна посока спрямо Арабската плоча като движението се реализира по Източноанатолийския, където също така са регистрирани земетресения с магнитуд над 7. [2]
В последните години и по двата разлома се регистрират земетресения с магнитуд над 6, но съдейки по реализираното събитие на 27.01.2020 г., както и други от началото на века, може да се каже, че Източноанатолийския разлом е по-активният. [3]
На 6 февруари 2023 г. в Южна Турция близо до северната граница на Сирия се реализира земетресение с магнитуд M 7.8, което беше последвано около 9 часа по-късно от подобно събитие с магнитуд M 7.5 на около 90 км на север от първото. И най-силното, и свързаните с него вторични трусове, се намират в преходната зона между разломните системи на Мъртво море и Източноанатолийския разлом. Предварителното местоположение на земетресението с M 7.8 го поставя в близост до точката, в която се събират Арабската и Африканската плочи и Анадолския блок. Второто по сила земетресение е в сеизмичноактивен район, разположен в западна посока от първия, но с по-слабо проявена до момента сеизмичност. [2] На фигура 1 са показани епицентровете на силните земетресения и последвалите афтършокови събития.



Фигура 1 Поредицата земетресения в Газиантеп и Елбистан от февруари 2023 г. (по данни на AFAD – Турция) [3]



Фигура 2 Схематично представяне на регистрация на данни от РСА [4]

Метод и данни

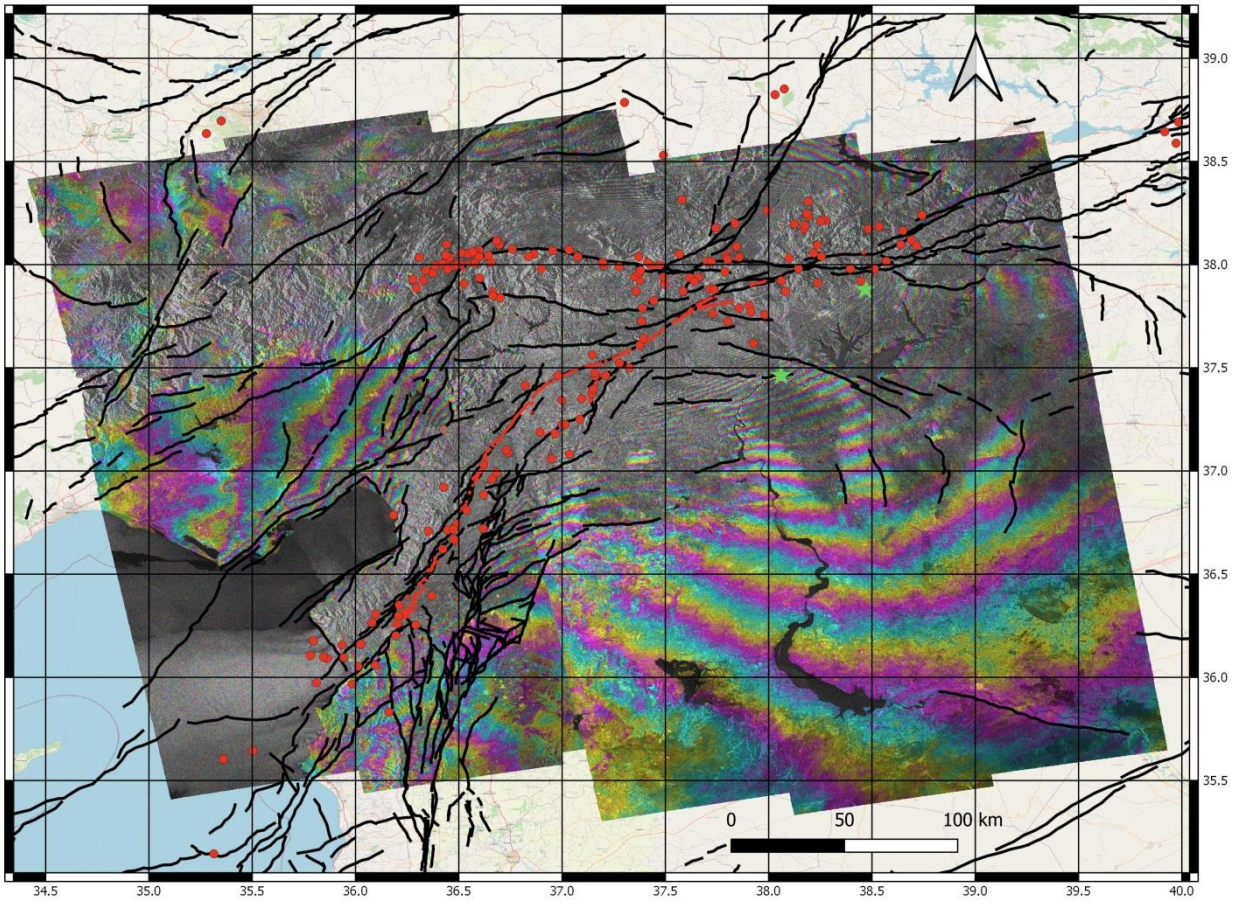
В настоящото изследване за постигане на резултатите е приложен метод на диференциална интерферометрия по данни от радари със синтезирана апертура (DInSAR). Чрез прилагането му земните движения от района на конкретно изследвано събитие могат да бъдат измерени със сантиметрова точност. Изходните данни за създаване на интерферограми са от радари със синтезирана апертура (РСА), най-често на борда на сателити или самолети. Тези активни системи за дистанционни изследвания излъчват линейно поляризирани силно кохерентни електромагнитни вълни с фиксирана дължина на вълната λ към повърхността на Земята и регистрират върнатия към нея сигнал. Интервалът от време между изпращането и получаването на радарния сигнал съответства на разстоянието до обектите на повърхността. Този принцип на регистрация на SAR данни е представен на Фиг. 2. Вижда се, че геометрията на получаване на SAR е наклонена, странично гледаща, с ъгъл на гледане, обозначен с θ, който е ъгълът между надира и посоката на визирната линия на антената (line-of-sight – LOS).
Трябва да се отбележи, че единичен РСА продукт не може да предостави полезна информация за разположението на обектите в единица площ от земната повърхност и затова се налага да се използват поне две изображения, което води до появата на времевия интервал между двете регистрации. След обработка по DInSAR се формира разликово изображение, което предоставя информация за деформациите по земната повърхност възникнали в този интервал от време по LOS. В рамките на споменатата процедура има два важни момента – трансформацията на получените деформации от интервала $[-\pi; \pi]$ в негови кратни и преобразуването от радарни координати в конкретна координатна система (напр. WGS84).

https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N11

За получаване на резултатите от това изследване бяха използвани продукти, получени от апаратурния РСА комплекс, разположен на борда на сателита Sentinel-1, разработен и експлоатиран от Европейската космическа агенция (ЕКА). Данните се регистрират в режим IW по метод TOPS и се съхраняват под формата на предварително обработени и калибрирани информационни продукти във формат Single look complex (SLC), които се предоставят от ЕКА за по-нататъшна тематична обработка от потребителите. Включените в тези продукти изображения имат комплексни стойности, които представляват амплитудата и фазата на отразения от повърхността на Земята радарен сигнал, които заедно със съответните метаданни образуват един РСА продукт. За да е възможна обработка по DInSAR, наличието на фазовата компонента е от ключово значение, тъй като само въз основа на нея е възможно да се получи информация за промените в разстоянието до наблюдаваните обекти от повърхността на Земята, т.е. настъпилите деформации.

Резултати

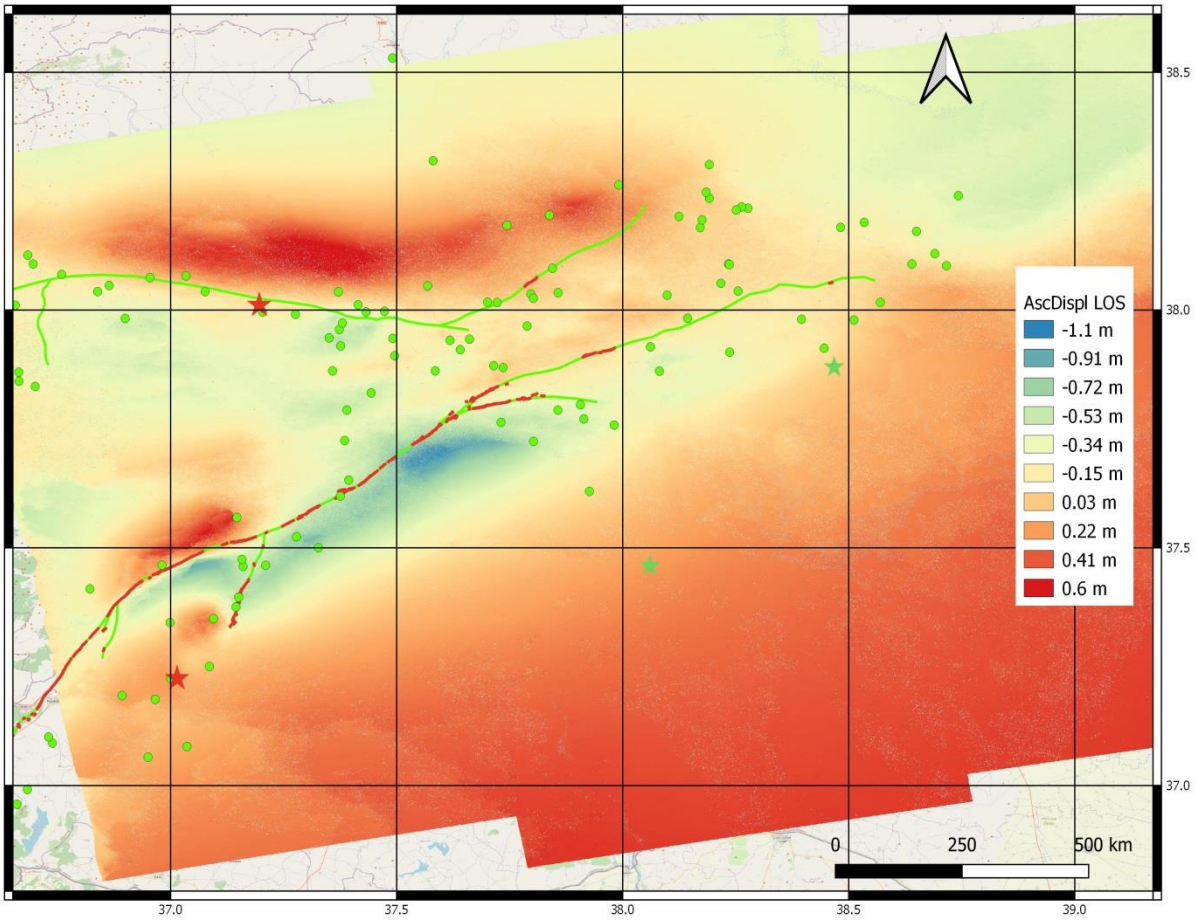
Показаните на фигури 3 и 4 резултати са получени при обработка РСА данни по DInSAR низходяща орбитална пътечка 21, а номерата на възходящите орбитални пътечки са две 14 и 116, тъй като изследваната площ е регистрирана и в двете. Датите на регистрация за орбита 21 обхващат периода от 29 януари 2023 г. до 10 февруари 2023 г. и от тях е получена интерферограмата представена на фиг. 3 след обработка по DInSAR. В нея интерферометричните ивици предоставят информация за регистрираните деформации, които са получени като резултат от сеизмичните събития за периода. Визуално интерферометричната ивица се представя посредством градиентно преливане на цветове от определена палитра, достигаща до същия цвят, от който е започнала – например от жълто към жълто. Всяка една от ивиците съответства на изместване от 28 mm по визирната линия на РСА.



Фигура 3 Интерферометрично изображение с насложени върху него – сеизмични събития с магнитуд над М 4.5 за периода 01.02.2023 – 01.05.2023 (червени точки), регистрирани разломи (черни линии) по данни от [5] и видимо разкъсване по повърхността (червени линии) по данни от [6].

https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N11

На фиг. 4 са показани в увеличен мащаб спрямо фиг. 3 изчислените хоризонтални премествания по визирна линия на РСА, които очаквано са концентрирани в зоните около основните разломи в района.



Фигура 4 Регистрирани премествания по визирна линия на РСА с насложени – най-силни сеизмични събития (червени звезди), сеизмични събития с магнитуд над М 4.5 за периода 01.02.2023 – 01.05.2023 (зелени точки), основни разломи (зелени линии) и видимо разкъсване по повърхността (червени линии) по данни от [6]

Освен показаните по-горе резултати от възходяща орбита са получени и резултати от низходящата орбита, които показват сходни стойности като разликите се дължат на положението на сателита, съответно променена геометрия, в момента на регистрация на данните.

Използвана литература:

1. Kalafat D., A. C. Zülfikar and S. Okuyan Akcan , "Seismicity of Turkey and Real-Time Seismology Applications in Determining Earthquake Hazard", Academic Platform Journal of Natural Hazards and Disaster Management, vol. 2, no. 2, pp. 96-111, Dec. 2021, doi:10.52114/apjhad.1039670
2. https://storymaps.arcgis.com/stories/355bfc8b3c5941e683d4f258e8fb2dfa
3. Utkucu M. Et al., A preliminary report on the 2023 Gaziantep (Mw=7.7) and Elbistan (Mw=7.5), earthquakes in Southeast Türkiye, February 2023, doi: 10.13140/RG.2.2.17088.40963
4. Ouchi, K. Recent Trend and Advance of Synthetic Aperture Radar with Selected Topics. Remote Sens. 2013, 5, 716-807. https://doi.org/10.3390/rs5020716
5. Basili R., V. Kastelic, M. B. Demircioglu, D. Garcia Moreno, E. S.Nemser et al. (2013) The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE, https://doi.org/10.6092/INGV. IT-SHARE-EDSF.
6. Reitman N, ет ал. (2023) Preliminary fault rupture mapping of the 2023 M7.8 and M7.5 Türkiye Earthquakes. DOI: https://doi.org/10.5066/P985I7U2