

Изследване на деформации по планински склонове посредством времева серия данни от радари със синтезирана апертура (РСА)



Христо Николов – ИКИТ – БАН, Мила Атанасова – НИГГГ – БАН

Въведение

Това изследване има за цел да регистрира на движенията на земните пластове на няколко склона разположени в югозападна Стара планина, както и установяване на техните средногодишни стойности. В момента на национално ниво има малък брой проучвания насочени към оперативно наблюдение на планински склонове и в частност на конкретно изследваните от авторите. Този тип обекти са доста специфични за изследване, тъй като тези природни феномени са недостъпни по друг начин или са доста опасни за изследване. От друга страна, движението на земни пластове от планинските склонове причиняват щети на инфраструктурни обекти като пътища, мостове или електропроводи. Следва да се отбележи, че тяхното поведение е трудно за прогнозиране и поради тази причина те могат да се считат за природни опасности.

Получаването на точни данни за споменатите движения се извършва чрез теренни измервания, които включват геодезически ГНСС измервания, наземно лазерно сканиране и геоложки наблюдения, които изискват значителен финансов и човешки ресурс. Поради тази причина в настоящото изследване са използвани данни от сателитнобазирана РСА обработени посредством технология DInSAR, за да анализираме движенията на планински склонове, както и да създадем методика тяхното оперативно наблюдение. Предимство на избрания подход е, че позволява регистрирането на вертикални движения по склона със сантиметрова точност. Той се базира на безплатния достъп до данните от РСА, както и софтуера за тяхната тематична обработка, предоставени от ЕКА. В това проучване се набляга на начина, по който са преодолените препятствията, срещани по време на интерферометричната обработка (например наличие на растителност или топография). От изтегления набор от РСА изображения, обхващащи изследвания регион, бяха създадени два времеви набора данни от възходяща и низходяща орбита на спътника. Резултатите от есенно-зимните двойки показват добра корелация с очакваните измествания на земните пластове по изследваните планински склонове, които има максимални стойности 0,8 m.

Район на изследване

Изследваният район се намира на около 30 км северозападно от столицата на България София (вж. Фигура 1а червеня правоъгълник). Основна геоложка характеристика за района са карстовите образувания, които са продукт на сложна тектонична структура. В същия регион има няколко големи разлома, които са възможен движещ фактор за нестабилността на терена, тъй като са класифицирани като средно опасни за този район. До този момент няма активни свлачища, регистрирани от компетентните национални органи.

Изследваният район се намира в Западна Стара планина. Характерни черти на релефа са редуваната на планински хълмове, последвани от равнинни райони с отрицателни карстови форми, както се разкрива и при теренната проверка направена от авторите (вж Фигура 1б). В северната част на изследваната зона се намира планината Чепан (най-издигнатата точка Петровски кръст 1205,6 m). На юг от билото му надморската височина на терена намалява до Драгоманското блато, а на югоизток намалява до изворите в района на селата Опицвет и Безден (550 м н.в.).

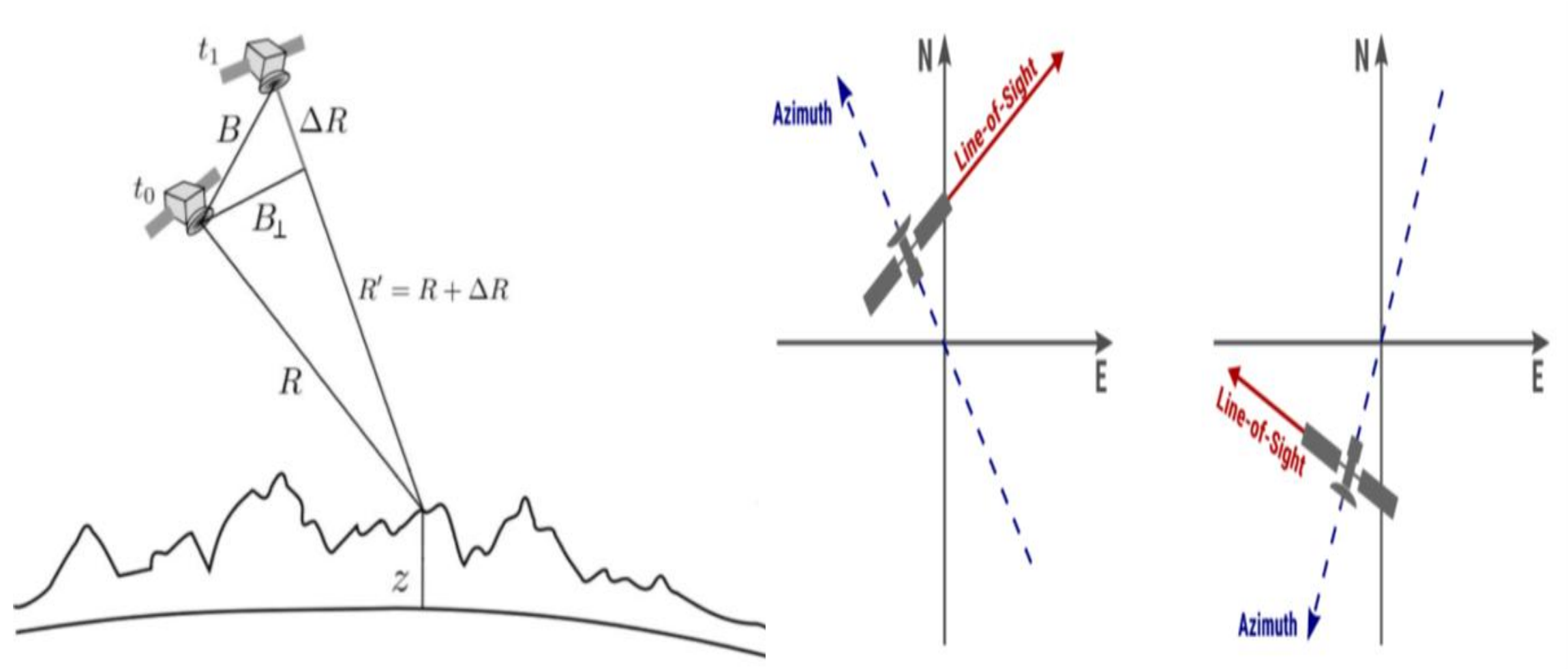


Фигура 1 Район на изследване – а) общо место положение; б) типичен изглед.

Използвани данни и метод

Единственият източник на данни използвани в рамките на това изследване е мисията Sentinel-1 на ЕКА, която предоставя безвъзмезден достъп. Основният апаратен комплекс на борда на сателита е радар в С обхват (5.405 GHz) с дясноориентирана визирна линия, прилагащ метод TOPSAR за получаване на данни. В най-често използвания режим за събиране на данни от РСА ширината на сцената е 250 км, а пространствената разделителна способност на единичен елемент е 5 m x 20 m. Форматът на продукта от РСА данните използван в интерферометричната обработка е SLC. Този продукт съдържа както амплитудата, така и фазата на насочения към земната повърхност и отразен от нея РСА сигнал. След интерферометрична обработка 1D фазов сигнал предоставя информация, отразяваща изместванията на земната повърхност, които са настъпили между две дати на получаване на данните.

За получаване на интерферометричните изображения (ИФИ) е използван метод DInSAR. Той се основава на подход за интерферометрия, използваща повторно преминаване на платформата (фиг. 2а), който регистрира разликата във фазовите сигнали на данни от РСА с различни визирни ъгли, като по този начин предоставя възможност за разкриване на топографски характеристики и премествания на повърхността на Земята. В процеса на създаване на ИФИ се получава мярка за оценка на качеството на обработения фазов сигнал, известна като кохерентност, като тези стойности се използват за да се оцени надеждността на информацията получена от фазовия сигнал. Ниските стойности се дължат главно на различните атмосферни условия към датите на получаване на данните от РСА, наличието на растителност, както и обемното разсейване. Има още едно нещо, което трябва да се има предвид при интерпретиране на фазовата информация - трябва да се вземе предвид, че всички измествания на повърхността трябва да се разглеждат като относителни измествания по визирната линия на радара (фиг. 2б), а не като абсолютни.



Закljučения

В това изследване беше потвърдено, че само въз основа на резултатите, получени от обработката на РСА данни по DInSAR метод е получена надеждна информация за движенията на земната повърхност по югозападните склонове на Чепан планина и рида Три Уши. Нейната надеждност се базира на високите стойности на кохерентността в ИФИ. Настоящото проучване недвусмислено показва, че информацията, получена от сателитни РСА данни ще служи като солидна основа за бъдещи задълбочени геодезически или геоложки проучвания в този район.

Благодарности

Тази работа е подготвена по двустранен договор ИКИ-РАН и ИКИТ-БАН, озаглавен „Развитие на нови технологии в аерокосмическите дистанционни изследвания на земната повърхност“ и по договор № D01-161/28.08.2018 (Проект „Национален геоинформационен център“, финансиран от Националната пътна карта за научна инфраструктура 2017-2023).

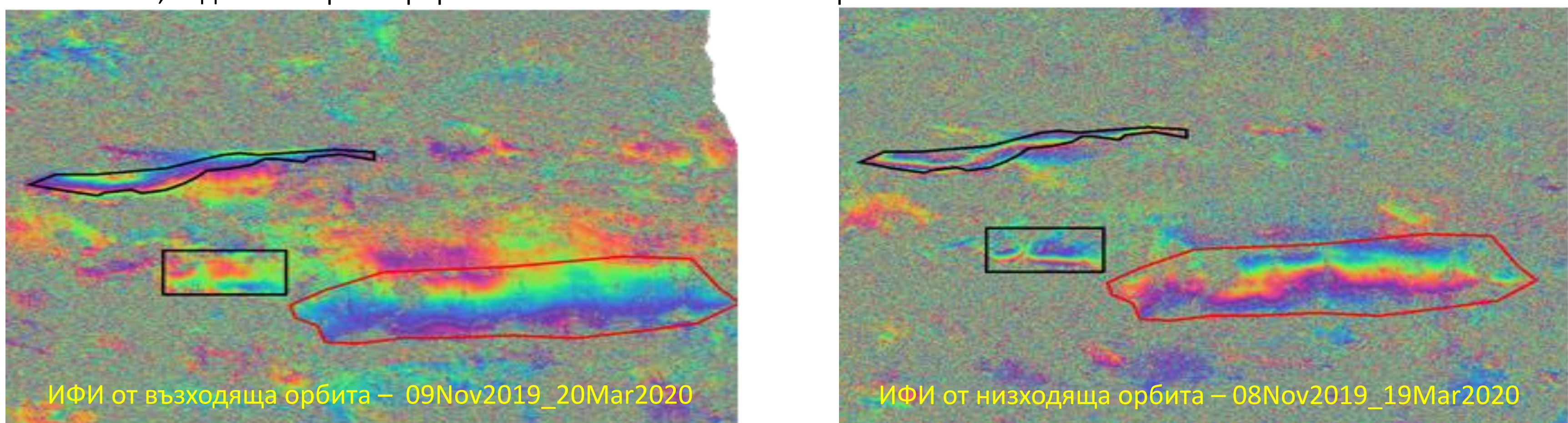
Резултати

При създаването на ИФИ бяха използвани данни от двата типа сателитни орбити (възходяща и низходяща). За това изследване беше създаден набор от 10 ИФИ получени вследствие съвместната обработка на 20 РСА изображения от сателитите Sentinel-1A/B, като първото е от ноември 2015 г., последното от март 2020 г. За създаване на ИФИ за 2015 и 2016 г. бяха използвани само данни от Sentinel-1A, докато за останалите ИФИ използвани данни и от двата сателита. Тази взаимозаменяемост стана възможна благодарение на добре поддържаните орбитални параметри на двата сателита. Интервалът от време на всеки две сцени, използвани за създаване на единичните ИФИ беше избран да бъде четири месеца през зимния сезон, тъй като беше необходимо да се сведе до минимум ефектът от растителността, присъстваща в изследвания район, което води до повишаване на качеството на получената информация от ИФИ. В таблица 1 са представени параметрите на РСА изображенията, използвани в процеса на обработка на DInSAR и създаването на времевите редове от ИФИ. Стойностите за изчислената кохерентност са предпоставка, че първоначалните двойки данни от РСА, които са избрани от създадения архив (съдържащ около 250 SAR SLC изображения), ще предоставят надеждна информация. В последната колона на таблицата високите стойности на неяснотата на височината на параметъра гарантират, че точността на ЦМР използва по време на DInSAR обработката е достатъчна, за да осигури достоверни резултати.

Таблица 1. Описания на използваните при на DInSAR обработката РСА данни.

Дати на изображенията	Тип орбита	$V_{\text{перп}}$ [m]	$V_{\text{темп}}$ [дни]	Изчислена кохерентност [-]	Height ambiguity [m]
24Nov2015_23Mar2016	Възходяща	-84.69	-120	0.83	-186.44
12Nov2016_04Apr2017	Възходяща	-88.43	-144	0.80	178.08
07Nov2017_19Mar2018	Възходяща	18.34	-132	0.86	-866.68
08Nov2018_20Mar2019	Възходяща	-89.37	-132	0.81	177.82
09Nov2019_20Mar2020	Възходяща	-53.52	-132	0.84	294.05
23Nov2015_22Mar2016	Низходяща	35.84	-120	0.86	-442.69
17Nov2016_17Mar2017	Низходяща	-59.09	-120	0.84	268.54
07Nov2017_07Mar2018	Низходяща	-146.07	-120	0.78	107.52
13Nov2018_13Mar2019	Низходяща	-135.04	-120	0.79	116.8
08Nov2019_19Mar2020	Низходяща	-32.58	-132	0.85	482.91

На фигурата по-долу са представени части от получените ИФИ от за едни и същи интервали от време, но различен тип орбити. Вижда се, че низходящата орбита дава повече доказателства, че има земни измествания по склоновете в очертаните с черен контур обекти (особено в зоната, разположена вътре в черния правоъгълник, където интерферометричните ивици са ясно видими). Това е причината резултатите от обработените SAR данни от низходящи орбити да се считат за по-надеждни в настоящото изследване. Друг аргумент в подкрепа на твърдението, че низходящите орбити осигуряват по-добра информация е фактът, че не беше възможно да се оцени точната посока (ИЗ или СЮ) на склоновете, където бяха регистрирани изместванията земната повърхност.



На фигурата по-долу са показани части от получените ИФИ за същите интервали от време за четири последователни есенно-зимни периода - от 2015 до 2020 г. Контурите очертани в черно съответстват участъци от земната повърхност, където по данни от визуално дешифриран с разположени открити скали по склонове на планински масиви, докато вътре разположеният червен полигон е зоната с малък наклон, заета от пасища с оскъдна растителност и открити варовикови камъни (вж. фигура 1б). Последното може да бъде описано като подобно на карстовата форма на варовикова настилка, намираща се в планината Понор, разположена в непосредствена близост до изследвания район, но тъй като няма конкретни изследвания по този въпрос в изследваната зона, няма достатъчно доказателства да се твърди, че и двете природни явления имат един и същ произход. Както може да се види на същата фигура, откритите движения не повторяем модел, т.е. като се вземе предвид броят на интерферометричните ивици изследваните склонове, ясно се забелязва, че те не се движат с една и съща скорост за всеки регистриран период. Възможно обяснение за това поведение може да се намери в различни валежи през годините или нерегистрирани тектонични характеристики като локални разломи.

