

УДК 550.837.76

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ СПУТНИКА
SENTINEL-1 ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ КАРТ СМЕЩЕНИЙ РЕЛЬЕФА
ЗОНЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ТУРЦИИ 6 ФЕВРАЛЯ 2023 ГОДА

О. А. САРГСЯН *, Е. С. МАНУКЯН **

Кафедра картографии и геоморфологии ЕГУ, Армения

Землетрясения являются одним из опасных природных явлений, которые невозможно в точности прогнозировать, вследствие чего они в настоящее время относятся к ряду недостаточно изученных. Причиной их возникновения являются сложные геологические и тектонические процессы, протекающие в недрах Земли. Мгновенно высвобождаемая энергия в очаге землетрясения проявляется в виде сейсмических волн, приводящих к разным видам деформаций и смещений в земной коре, зачастую меняющих форму и облик рельефа. К сожалению, подобного рода сильные землетрясения сопровождаются большими разрушениями и огромными человеческими жертвами. К подобным мощным землетрясениям можно отнести два землетрясения, произошедшие 6.02.2023 в Турции, имевшие катастрофические последствия и повлекшие за собой многочисленные человеческие жертвы.

По мере развития науки и технологий все больше различных инструментов и методов становятся более доступными для изучения природных явлений. Одними из таких методов являются космические геофизические методы и инструменты изучения атмосферы и земной поверхности. Дистанционное зондирование Земли нашло широкое применение в вопросах качественного, количественного изучения и анализа процессов, протекающих в земной коре и отраженных на поверхности Земли. Данная работа посвящена исследованию одному из таких процессов. В частности, на сегодняшний день широкое применение имеет дистанционный метод исследования Земли с использованием радиолокационной аппаратуры на борту искусственных спутников. Современные радары синтезированной апертуры дают широкие возможности для изучения малейших деформаций и смещений рельефа земной поверхности, а также техногенных объектов.

В рамках данного исследования лежит техника интерферометрической обработки InSAR данных радиолокационных снимков спутников Sentinel-1. На основе дифференциальных интерферограмм составлены карты смещений исследуемой области, выраженные в долях метра.

<https://doi.org/10.46991/PYSU:C.2024.58.2.083>

Keywords: earthquakes, synthetic aperture radars, radar images, Sentinel-1, interferometry, displacement map, Anatolian plate.

* E-mail: hov.sargsyan@ysu.am

** E-mail: emanukyan@ysu.am

Введение. Землетрясения, наряду с другими природными явлениями, представляют собой одно из самых опасных природных явлений, нередко приводящих к катастрофическим последствиям. Такими были два мощных землетрясения с огромным количеством афтершоков, произошедшие 6 февраля 2023 г. в Турции. Эпицентры землетрясений находились в провинции Кахраманмараш в юго-восточной части Турции. Столица провинции с населением около 400 тыс. человек имеет одноименное название. Провинция довольно развита в экономическом отношении и является одним из крупнейших центров текстильной промышленности

Район характеризуется довольно сложным геологическим строением и тектонической структурой. В основном территория Турции является частью Альпийско-Гималайского горного пояса, где основными тектоническими структурами являются Северо-Анатолийский и Восточно-Анатолийский разломы. Анатолийская плита, в свою очередь, является одним из основных тектонических элементов региона и имеет среднюю скорость перемещения около 20 см/год в горизонтальной плоскости [1]. В районе ее столкновения с Евразийской и Африканской плитами происходят внутренние деформации земной коры, которыми и обусловлена высокая сейсмоактивность территории Турции [2]. Моментные магнитуды двух мощных землетрясений, произошедших 06.02.2023, достигали до 7,8 M_w . Самое мощное из них носит название Пазарджикское (7,8 M_w), с очагом на глубине 10 км, а второе – Эльбистанское, с магнитудой 7,5 M_w и очагом на глубине 7,4 км. Результатом землетрясений явились огромные разрушения, подвижки и деформации, выраженные на рельефе и повлекшие за собой большие человеческие жертвы. С тектонической точки зрения эти землетрясения пространственно связаны с вышеперечисленными сопряженными разломами [3, 4].

В настоящей работе на основе обработки спутниковых данных ставилась цель выявить и оценить последствия вышеуказанных землетрясений, выраженные в виде деформаций и смещений рельефа земной поверхности в областях, прилегающих к эпицентру.

Материалы и методы исследований. В качестве исходных материалов, использовались открытые ресурсы картографических сервисов компании ESRI и геологической службы США USGS, а также векторные данные разломов с базы данных Лаборатории неотектоники и современной геодинамики Геологического института РАН [5]. На основе этих данных была скомпилирована схематическая карта исследуемой территории с наложенными разломами и эпицентрами землетрясений (без афтершоков). Пространственное сопоставление эпицентров землетрясений визуально показывает явную связь с разломными структурами района (рис. 1).

Как отмечено выше, в качестве основного метода исследований деформаций и смещений рельефа земной поверхности был выбран метод обработки данных радаров синтезированной апертуры (РСА).

Метод интерферометрической обработки активно развивается на протяжении последних 30 лет и основан на измерениях разностей фаз отраженных сигналов (эхо) при съемке одного и того же участка местности радиолокацион-

ной системой с фазированной антенной. При этом спутник должен производить съемки с повторяющихся орбит. В основном используются два радарных изображения, которые представляют собой интерферометрические пары, полученные в различные интервалы времени. При совместной обработке этих изображений становится возможным выявление любых изменений рельефа земной поверхности, происходивших за интервалы съемок. Радарная интерферометрическая съемка дает возможность выявить малейшие деформации, вплоть до нескольких миллиметров.

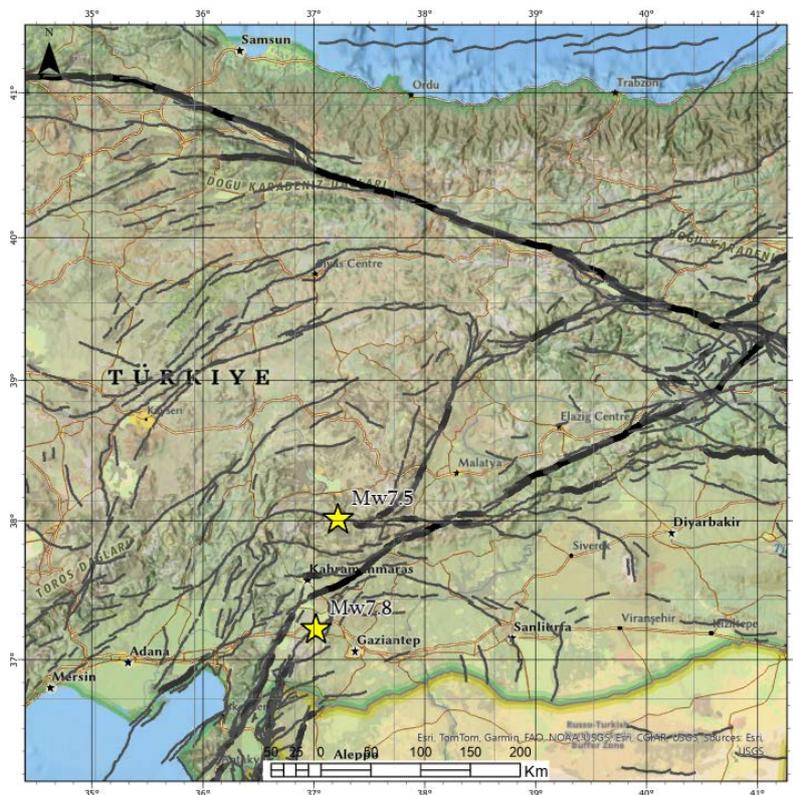


Рис. 1. Схематическая карта разломов и эпицентров землетрясений в провинции Кахраманмараш, Турция.

Продуктом РСА являются радиолокационные изображения (РЛИ). В качестве обработки данных РЛИ нами также была выбрана техника радарной интерферометрии InSAR. Результатом обработки являются дифференциальные интерферограммы, на основе которых были составлены тематические карты смещений в метрах [6, 7].

На данный момент существует большое количество радарных радиолокационных спутниковых систем с синтезированной апертурой как коммерческого типа, так и со свободным доступом к снимкам. Нами были выбраны свободно распространяемые ресурсы на основе семейства спутниковых систем Sentinel-1, которое разработано Европейским космическим агентством для

оперативного мониторинга Земли и атмосферы в рамках проекта “Copernicus”, возглавляемого Европейской комиссией [8].

Спутники Sentinel-1A и 1B были запущены на околополярную солнечно-синхронную орбиту в апреле 2014 г. и 2016 г. соответственно. На борту спутников установлена радиолокационная аппаратура с синтезированной апертурой C-SAR, которая работает на частоте 5,405 ГГц (С-диапазон) с длиной волны около 5,5 см. Инструмент C-SAR поддерживает двойную вертикальную и горизонтальную поляризацию (HH + HV, VV + VH). Система производит всепогодную и круглосуточную съемку. Она имеет правостороннюю фазированную антенну с углом обзора от 20° до 45°. Съемка может осуществляться в 4 режимах:

- 1) полосовая съемка (SM);
- 2) интерферометрическая съемка с широкой полосой обзора (IW);
- 3) сверхширокополосная съемка (EW);
- 4) волновой режим (WV).

Ресурсы спутниковых данных поставляются в виде продуктов Level-0 (Raw), Level-1 (SLC, GRD, GRD COG) и Level-2 (OCN).

Для дифференциального интерферометрического анализа нами были выбраны снимки Level-1 SLC (Single Look Complex) уровня обработки в режиме интерферометрической съемки с широкой полосой обзора (IW).

Изучение и анализ радарных данных для исследуемой области проводились в два этапа – выбор, загрузка снимков и интерферометрическая обработка.

Для построения карт смещений (displacement map) земной поверхности была использована вертикальная поляризация (VV) в снимках. Среднее геометрическое разрешение необработанных данных на пиксель в режиме съемки IW составляет 5×20 (м) [9]. В данном режиме производится съемка значений i и q , которые преобразуются в фазу и амплитуду электромагнитного излучения.

РЛИ в режиме IW состоят из трех подполос (sub-swath): IW1, IW2, IW3. Каждая подполоса в свою очередь состоит из нескольких так называемых всплесков (bursts) (рис. 2) [9].

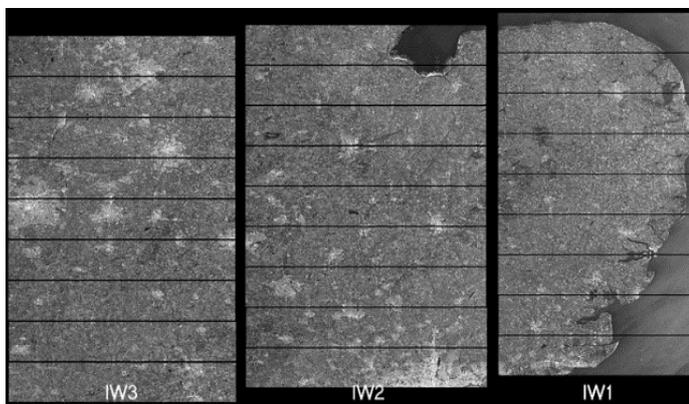
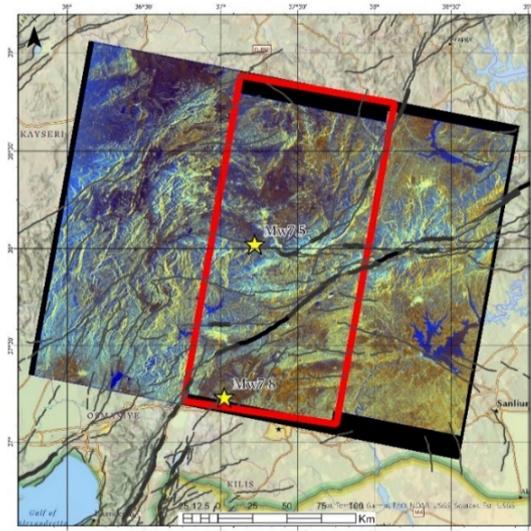
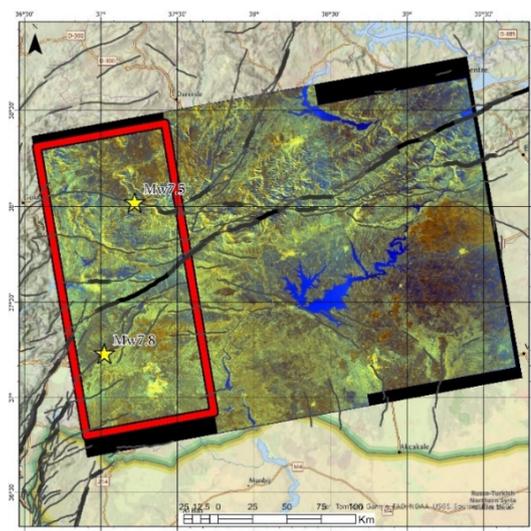


Рис. 2. РЛИ, режим IW, уровень обработки SLC-подполосы (столбцы IW1, IW2, IW3) и всплески [9].

Область выборки спутниковых данных была составлена на основе интерактивной каталог-карты землетрясений Национальной геологической службы США [10]. На основе угловых координат полигональной выборки и дат землетрясений в базе данных спутниковых изображений “Copernicus” были отфильтрованы и загружены соответствующие две пары снимков. Одна пара была отснята по нисходящей (descending) орбите, а вторая – по восходящей (ascending). Выбор двух орбит обусловлен тем, что для исследуемой области съемка производилась под разными углами.



Пара А (нисходящая орбита)



Пара Б (восходящая орбита)

Рис. 3. Пары снимков А и Б, где красным выделены выбранные подполосы в изображениях Sentinel-1А области землетрясений 06.02.2023.

Анализ области землетрясений по снимкам, сделанным под разными углами, дает возможность получения более объективного результата и снижения затененности исследуемых участков.

На основе каталога USGS были взяты координаты эпицентров землетрясений с магнитудой 7,8 M_w и 7,5 M_w произошедших 6 февраля 2023 г. Соответствующие снимки, которые были выбраны до и после землетрясения, датируются от 29 января до 28 февраля 2023 г. включительно (рис. 3).

Обработка радарных снимков. В качестве основной среды обработки данных было выбрано свободно распространяемое ПО Snap Desktop (Sentinel Application Platform, проект “Copernicus”) [11]. Инструментарий Sentinel-Toolbox специально предназначен для обработки данных со спутников Sentinel [12, 13]. На наш взгляд, данное ПО является одним из лучших решений для обработки данных спутниковых систем семейства Sentinel. Кроме этого, в ходе проведения работ также было использовано ПО ГИС компании ESRI – ArcGis Pro [14].

Метод обработки снимков InSAR. Базовой для методов интерферометрической обработки является фазовая составляющая InSAR. Для построения дифференциальной интерферограммы необходимо как минимум два одновременных изображения исследуемой области [7, 15–17].

В каждой паре один из снимков (более поздний) был выбран главным (master), а более ранний – вспомогательным (slave). Во время исследования была опробована перестановка снимков местами с главного на вторичный. На результатах это не отразилось. Следовательно, по нашему мнению, очередность выбора главного и вспомогательного снимков (при использовании двух снимков) не имеет принципиальной разницы. При использовании метода малых базовых линий (SBaS) для обработки многопроходных снимков выбор главного снимка будет более детально изучен в последующих работах.

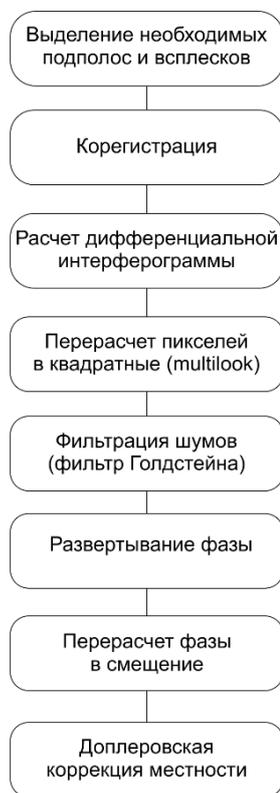


Рис. 4. Основные шаги обработки РЛИ Sentinel-1A.

Процесс составления тематической карты смещений (displacement map) представляет из себя пошаговую обработку двух и более изображений. Основные этапы обработки РЛИ и построения дифференциальной интерферограммы представлены на рис. 4. РЛИ интерферограмма генерируется по пиксельным перекрестным умножением главного снимка (master) с комплексно-сопряженным вспомогательным снимком (slave). Затем путем пространственного совмещения и вычитания интерферограмм разных пар РЛИ формируется дифференциальная интерферограмма [6].

Интерферограммы представляют из себя карты относительных изменений поверхности, которые могут быть причиной влияния как природных (например тектонических), так и техногенных факторов. Интерпретация интерферограмм, по сути, является расчетом интерференционных колец (fringes). Интерферограммы отражают смещения между спутником и снимаемым участком на земле.

Интересующая территория на снимках находится на второй и первой подполосах соответственно (IW2, IW1). Функцией S-1 TOPS (Terrain Observation with Progressive Scans) Split в Snap Desktop были выделены необходимые всплески (рис. 5). Для расчета и построения дифференциальных интерферограмм карт смещений использовали вертикальную поляризацию (VV) подполос.

В результате обработки изображений были получены дифференциальные интерферограммы смещений. На приведенных интерферограммах четко выделяются деформации земной поверхности, максимальные значения которых пространственно совпадают с основными линиями разломов (рис. 6).

В процессе интерферометрической обработки получают значения когерентности, которые характеризуют стабильность поверхности объекта в

течение некоторого времени. Полученные дифференциальные интерферограммы двух пар снимков показали хорошую когерентность области землетрясений. Что, в свою очередь, является показателем хорошей взаимной корегистрации пар снимков.

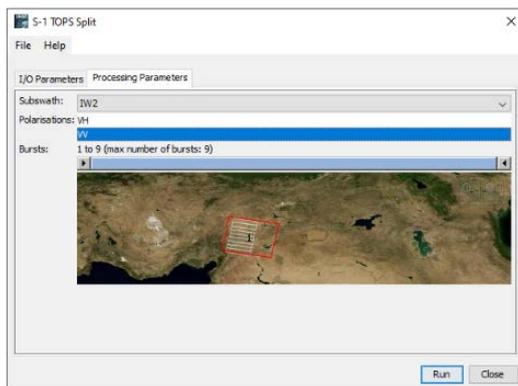


Рис. 5. Выбор подполосы и выделение всплесков в подполосе S-1 TOPS Split.

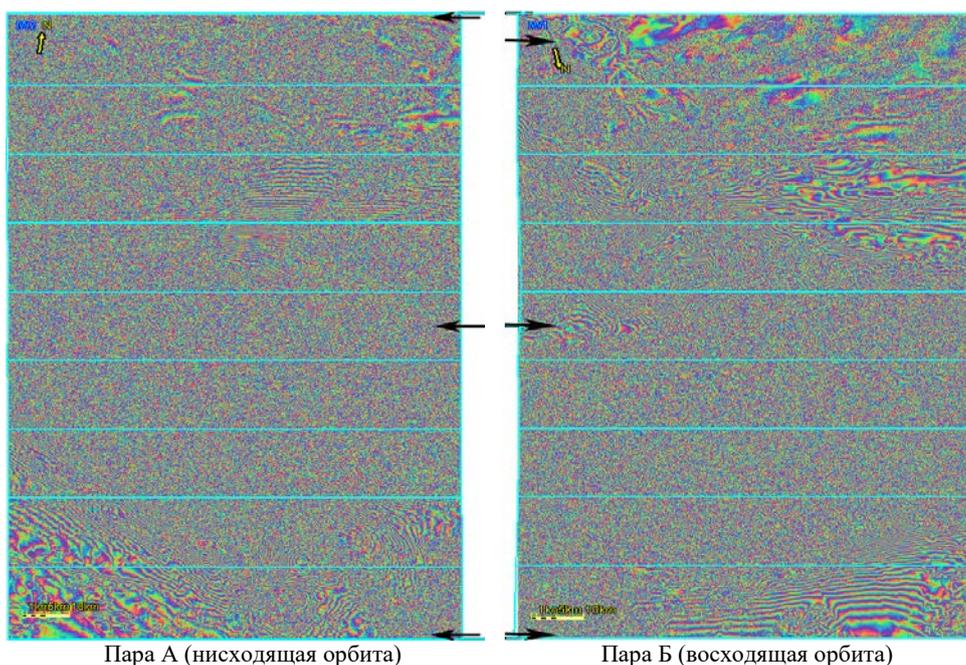
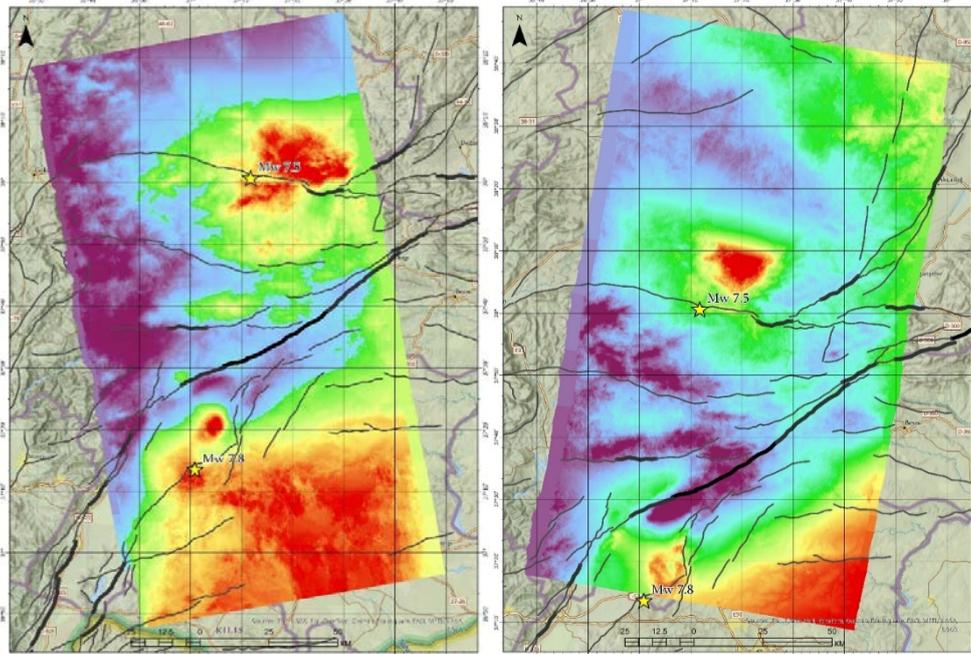


Рис. 6. Дифференциальные интерферограммы области землетрясений. Стрелками показаны линии обзора (LOS) зоны землетрясений.

Далее полученные интерферограммы подверглись разворачиванию фазы. Развертка фазы интерферограмм представляет из себя реконструкцию рельефа, то есть пересчет относительной фазы (от 0 до 2π). Разворачивание фазы является сложным математическим процессом [18, 19] и ее обсуждение выходит за рамки данной работы. В ПО Snap Desktop не предусмотрена данная операция, но с помощью встраиваемой дополнительной утилиты SNAPHU

(Statistical-Cost, Network-Flow Algorithm for Phase Unwrapping) имеется возможность пересчета значений фаз в смещения, выраженные в метрах. По сути, данная утилита реализует алгоритм развертывания значений фаз, свернутых по модулю 2π [20].



Пара А (нисходящая орбита)

Пара Б (восходящая орбита)



Рис. 7. Тематические карты смещений для области землетрясений в метрах.

После введения поправок на топографию местности вычисляется разность фаз. Разность фаз характеризует изменение расстояний до спутника, то есть смещения вдоль линии обзора LOS (Line of sight). Окончательным продуктом обработки РЛИ являются тематические карты смещений, на которых смещения представлены в долях метра (рис. 7). К сожалению, для авторов невозможны полевые исследования данной области с целью сопоставления полученных количественных данных с натурными наблюдениями.

Относительные смещения в пределах исследуемой области составляют около 1,9 м. Составленные карты смещений показали, что области максимальных значений смещений совпадают с основными направлениями разломов (рис. 7).

Заключение. В статье рассматриваются вопросы выявления смещений земной коры от землетрясений дистанционными методами обработки космических снимков Sentinel, а также сопоставление полученных данных с известными тектоническими разломами. Данная работа является началом обширной темы, в которой требуются дальнейшие исследования для уточнения полученных результатов. По результатам исследований сделаны следующие выводы:

1. Радиолокационная съемка является ценным источником информации, особенно для труднодоступных мест, а также своей независимостью от погодных условий и солнечного освещения. РЛИ позволяет получать количественные показатели динамики процессов рельефа (в данном случае смещений).

2. В ходе проведенного анализа пришли к мнению, что при обработке одной пары РЛИ Sentinel-1 выбор одного из изображений в качестве главного и вторичного не имеет принципиального значения.

3. Результатом обработки РЛИ стали тематические карты смещений области двух мощных землетрясений, выраженных в долях метра.

4. Основываясь на полученных результатах, максимальные смещения на рельефе в пределах одной подполосы вдоль линии съемки составили около 1,9 м.

5. Изображения InSAR наглядно оконтурили пространственное распределение сейсмических деформаций. Основные участки деформаций пространственно совпали с основными направлениями разломов.

Поступила 06.06.2024

Получена с рецензии 04.07.2024

Утверждена 15.07.2024

ЛИТЕРАТУРА

1. GPS Constraints on Continental Deformation in the Africa-Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of Plate Interactions. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 111. B05411. 10.1029/2005JB004051. Reilinger, Robert & McClusky, Simon & Vernant, Philippe & Lawrence, Shawn & Ergintav, Semih & Cakmak, Rahsan & Ozener, Haluk & Kadirov, Fakhraddin & Guliyev, Ibrahim & Stepanyan, Ruben & Nadariya, Merab & Hahubia, Galaktion & Mahmoud, Salah & Sakr, K. & ArRajehi, Abdullah & Paradissis, Demitris & Al-Aydrus, A & Prilepin, Mikhail & Guseva, Tamara & Karam, Gebran (2006).
2. Ioganson L.I., Ovsyuchenko A.N., Dontzova G.Yu. Seismic Activations in Turkey in the 17th – Early 21st Centuries and Kahramanmarash Earthquakes on February. *Russian Journal of Seismology* 6 (2023), 20–40.
<https://doi.org/10.35540/2686-7907.2023.4.02>
3. He L., Feng G., et al. Coseismic Kinematics of the 2023 Kahramanmaras, Turkey Earthquake Sequence from InSAR and Optical Data. *Geophysical Research Letters. Advancing Earth and Space Sciences*.
<https://doi.org/10.1029/2023GL104693>
4. Тихоцкий С.А., Татевосян Р.Э., и др. Караманмарашские землетрясения 2023 г. в Турции: сейсмическое движение по сопряженным разломам. *Докл. РАН. Науки о Земле* 511 (2023), 228–235.

- <https://doi.org/10.31857/S2686739723600765>
5. Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Neotectonics and Recent Geodynamics.
http://neotec.ginras.ru/index/english/database_eng.html
 6. Rosen P.A., Hensley S., et al. Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Proceedings of the IEEE* **88** (2000).
<https://doi.org/10.1109/5.838084>
 7. Балдина Е.А., Михайлюкова П.Г., Трошко К.А. Опыт использования данных радиолокационной космической съемки для создания тематических карт. *Вестник московского университета. Серия 5: География*. **4** (2019) 110–118.
 8. <https://www.copernicus.eu/en>
 9. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/instrument-payload>
 10. <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/earthquakes>
 11. <https://step.esa.int/main/download/snap-download/>
 12. Meyer F.J. *Sentinel-1 InSAR Processing using the Sentinel-1 Toolbox, Adapted from coursework developed*. Ph.D. Thesis. Alaska Satellite Facility, **5.4** (2019).
https://asf.alaska.edu/wp-content/uploads/2019/05/generate_insar_with_s1tbx_v5.4.pdf
 13. Sentinel-1 Toolbox. Snap|SentinelApplication Platform. ESA, Skywatch.
 14. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/index-geonet-allcontent.html>
 15. https://esamultimedia.esa.int/multimedia/publications/TM-19/TM-19_InSAR_web.pdf
 16. <https://www.usgs.gov/programs/VHP/insar-satellite-based-technique-captures-overall-deformation-picture>
 17. An Q., Feng G. Three-Dimensional Deformation of the 2023 Turkey Mw 7.8 and Mw 7.7 Earthquake Sequence Obtained by Fusing Optical and SAR Images. *Remote Sens.* **15** (2023), 2656.
<https://doi.org/10.3390/rs15102656>
 18. Шувалов Р.И. *Развертка фазы радиолокационных топографических интерферограмм*. Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана, Наука и Образование.
<https://doi.org/10.7463/0712.0423364>
 19. Шувалов Р.И. Математическое моделирование в задаче развертки фазы радиолокационных топографических интерферограмм. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Естественные науки* (2012).
 20. Chen C.W., Zebker H.A. Network Approaches to Two-dimensional Phase Unwrapping: Intracability and Two New Algorithms. *Journal of the Optical Society of America A* **17** (2000), 401–414.
<https://doi.org/10.1364/josaa.17.000401>

Հ. Հ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ե. Ս. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

SENTINEL-1 ԱՐԲԱՆՅԱԿԻ ՌԱԴԻՈԼՈԿԱՑԻՈՆ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒԲԱՐԹԵՐԻ ԲՈՒՐՔԻԱՅԻՆ 2023 ԹՎԱԿԱՆԻ ՓԵՏՐՎԱՐԻ Գ-Ի ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ԳՈՏՈՒՄ ՌԵԼԻԵՖԻ ՏԵՂԱՇԱՐԺԵՐԻ ԶԱՐՏԵՉՆԵՐԻ ԿԱԶՄՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Ա մ փ ո փ ու մ

Երկրաշարժերը պատկանում են բնական վտանգավոր երևույթների շարքին, որոնք անհնար է ճշգրիտ կանխատեսել, ինչի արդյունքում ներկայումս գտնվում են անբավարար ուսումնասիրվածների շարքում: Դրանց առաջացման պատճառը Երկրի ընդերքում տեղի ունեցող բարդ երկրաբանական և տեկտոնական պրոցեսներն են: Երկրաշարժի օջախից ակնթարթորեն անջատված էներգիան արտահայտվում է սեյսմիկ ալիքների տեսքով՝ հանգեցնելով երկրակեղևի տարբեր տեսակի դեֆորմացիաների և տեղաշարժերի՝ հաճախ

ձևափոխելով ռելիեֆի տեսքը: Ցավոք, նման ուժեղ երկրաշարժերն ուղեկցվում են հսկայական ավերվածություններով և մարդկային զոհերով: Նման հզոր երկրաշարժերի թվին կարելի է դասել 2023 թվ.-ի փետրվարի 6-ին Թուրքիայում տեղի ունեցած երկու երկրաշարժերը, որոնք աղետալի հետևանքներ են ունեցել և հանգեցրել բազմաթիվ զոհերի:

Գիտության և տեխնոլոգիաների զարգացմանը զուգընթաց տարբեր գործիքներ և մեթոդներ դառնում են առավել հասանելի բնական երևույթներն ուսումնասիրելու համար: Մթնոլորտն ու երկրի մակերեսն ուսումնասիրելու համար նման մեթոդներից են տիեզերական երկրաֆիզիկական մեթոդներն ու գործիքները: Երկրի հեռահար զոնդավորումը լայն կիրառություն է գտել Երկրի ընդերքում տեղի ունեցող և Երկրի մակերեսին արտացոլվող պրոցեսների որակական, քանակական ուսումնասիրության և վերլուծության մեջ: Ներկայացված աշխատանքը նվիրված է նման պրոցեսներից մեկի ուսումնասիրմանը:

Մասնավորապես, այսօր լայնորեն կիրառվում է Երկրի ուսումնասիրման հեռահար մեթոդը՝ արհեստական արբանյակների վրա տեղադրված ռադարային սարքավորումների միջոցով: Ժամանակակից սինթետիկ ասպերտուրայով ռադարները լայն հնարավորություններ են ընձեռնում երկրի մակերևույթի, ինչպես նաև տեխնածին օբյեկտների նվազագույն դեֆորմացիաներն ու տեղաշարժերը ուսումնասիրելու համար:

Հետազոտության հիմքում ընկած է Sentinel-1 արբանյակների ռադարային պատկերներից տվյալների ինտերֆերոմետրիկ մշակման InSAR տեխնիկան: Դիֆերենցիալ ինտերֆերոգրամների հիման վրա կազմվել են ուսումնասիրվող տարածքի տեղաշարժերի քարտեզները՝ արտահայտված սանտիմետրերով:

H. H. SARGSYAN, Ye. S. MANUKYAN

IMPLEMENTATION OF THE SENTINEL-1 SATELLITE RADAR'S IMAGES TO MAP THE RELIEF DISPLACEMENTS IN THE EARTHQUAKE ZONE IN TURKEY ON FEBRUARY 6, 2023

Summary

Earthquakes are one of the dangerous natural phenomena that can not be accurately forecast, so, they are currently among the insufficiently studied. Complex geological and tectonic processes occurring in the bowels of the Earth are the reason for their appearance. The instant released energy at the earthquake source manifests in the form of seismic waves, causing different types of deformations and displacements in the Earth's crust, often changing the shape and appearance of the relief. Unfortunately, strong earthquakes of this type are accompanied by great destruction and enormous human victims. Similar powerful earthquakes can include two earthquakes that were occurred on February 6, 2023 in Turkey, which had catastrophic consequences and resulted in numerous human victims.

As science and technology advance, more and more different tools and methods become more available to study natural phenomena. One of these methods are space geophysical methods and tools for studying the atmosphere and the Earth's surface. Remote sensing of the Earth has found wide application in matters of qualitative, quantitative study and analysis of the processes occurring in the Earth's crust and reflected on the Earth's surface. This work focuses on the study of one of these processes.

In particular, the methods of Earth observation and remote sensing by synthetic aperture radars on the satellite base are widely used. Modern synthetic aperture radars give as wide range of opportunities for studying the slightest deformations and displacements on the Earth's surface as well as man-made objects

The scope of this research is the InSar technique of interferometric processing of radar images derived from the Sentinel-1 satellites. Based on differential interferograms, have been mapped the studied area's displacements, expressed in centimeters.