

УДК 004.021

doi 10.54708/22259309\_2025\_33430

## АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИЙ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Р.И. ЕМАШЕВ<sup>1</sup>, С.Ю. МАКАРОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>thb18@mail.ru, <sup>2</sup>svet\_makarova1@mail.ru

<sup>1-2</sup>ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНТ)

**Аннотация.** Рассматривается применение метода дифференциальной радарной интерферометрии (DInSAR) для мониторинга деформаций земной поверхности в районах нефтедобычи. Обоснована актуальность перехода от точечного геодезического мониторинга к спутниковым методам наблюдения. Представлен автоматизированный алгоритм обработки снимков Sentinel-1 с использованием программ SNAP и SNAPHU, реализованный в среде Python. Подчёркнута возможность получения субсантиметровой точности оценки смещений и визуализации результатов в виде интерферограмм и карт деформаций.

**Ключевые слова:** DInSAR; радарная интерферометрия; деформация грунта; Sentinel-1; автоматизация обработки; SNAPHU; нефтедобыча.

### ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг состояния объектов нефтедобывающей промышленности требует высокой точности и регулярности. Традиционные методы мониторинга, представляющие собой, по сути, наземные геодезические работы, обеспечивают необходимую точность измерений, но имеют ограничения по охвату территории и требуют значительных материальных, временных затрат, а также человеческих трудозатрат. В тех местах, где возможны просадки и смещения грунта, например, на болотистых участках или вблизи трубопроводов, значимость своевременного мониторинга значительно возрастает, так как просадка грунта под установленным оборудованием может привести к повреждению этого оборудования и, соответственно, к авариям, утечкам и негативным последствиям для экологической обстановки.

Альтернативой наземному мониторингу может служить цифровой метод применения дифференциальной интерферометрии синтезированной апертуры (DInSAR), позволяющий оперативно выявлять деформации грунта с точностью до нескольких миллиметров на основе спутниковых снимков местности. Наличие открытого доступа к геоданным, например, в рамках проекта «Миссия Sentinel-1», делает этот метод более доступным и масштабируемым.

### ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Целью исследования является разработка модуля мониторинга деформаций земной поверхности на основе метода DInSAR для ГИС SNAP.

В процессе работы над реализацией поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведен анализ современных методов спутникового мониторинга деформаций;
- разработан алгоритм обработки снимков, полученных со спутника Sentinel-1;
- выполнена автоматизация процесса обработки радарных снимков с использованием языка Python и ядра SNAP GPT;

- получен результат работы алгоритма в виде карт смещений.

### СТЕК ТЕХНОЛОГИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДУЛЯ

В качестве источников данных используются радарные спутники Sentinel-1 (доступ к архиву бесплатный) и TerraSAR-X (при необходимости данных с высоким разрешением). Обработка производится в программном комплексе SNAP (разработан Европейским космическим агентством), включающем модули для предобработки, ко-регистрации и генерации интерферограмм.

Развёртка фаз выполняется с помощью утилиты SNAPHU, обеспечивающей высокую точность при анализе сложных территорий – трубопроводов, болот, районов с рельефом. Все этапы объединены в единый скрипт на языке Python с возможностью пакетной обработки и экспорта результатов.

### АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ

Обработка снимков включает следующие этапы:

1. Предобработка: загрузка пары снимков до и после предполагаемой деформации, применение орбитальных поправок.
2. Coregistration (совмещение): выравнивание изображений по пикселям.
3. Interferogram Generation: построение интерферограммы – изображения фазовых смещений между двумя датами.
4. Filtering: сглаживание интерферограммы (Goldstein фильтр).
5. Phase Unwrapping: развёртка фаз с помощью SNAPHU.
6. Removal of Topographic Phase: удаление топографической составляющей.
7. Конвертация в смещения: перевод фазы в сантиметры деформации (опционально).
8. Визуализация: экспорт изображений в формате GeoTIFF, отображение в ГИС или через веб-интерфейс.

Алгоритм реализован в виде Python-скрипта с возможностью запуска через GPT-интерфейс SNAP, что обеспечивает высокую воспроизводимость и экономию времени.

Полный алгоритм со всеми нововведениями представлен на рис. 1.

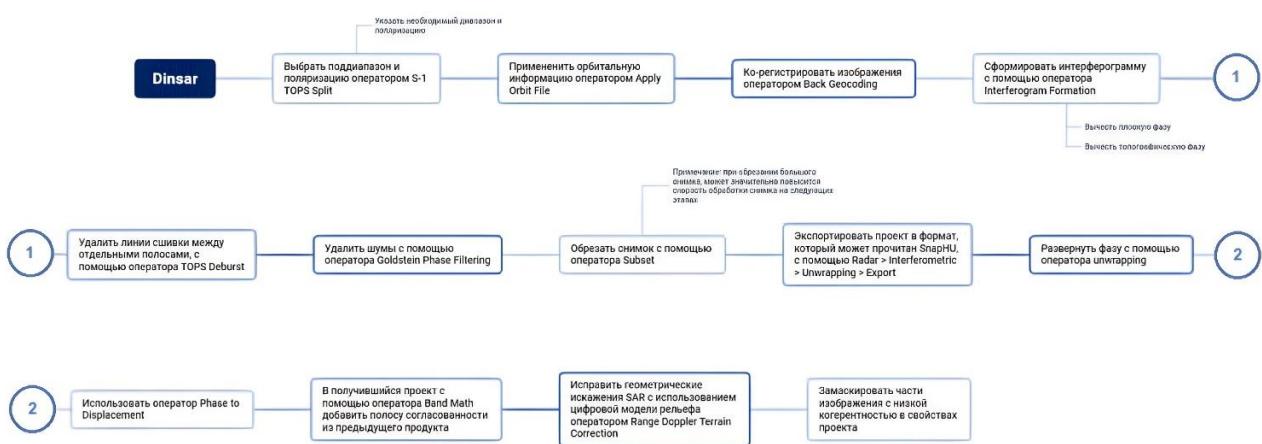


Рис. 1 Алгоритм обработки пар снимков

### ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ

Метод протестирован на территории, пострадавшей от землетрясения в Турции (2020 г.), где были доступны снимки Sentinel-1 до и после события. Полученные интерферограммы и карты смещений подтвердили эффективность подхода: зафиксированы локальные деформации в зоне эпицентра с точностью до 5 мм. Пример представлен на рис. 2.

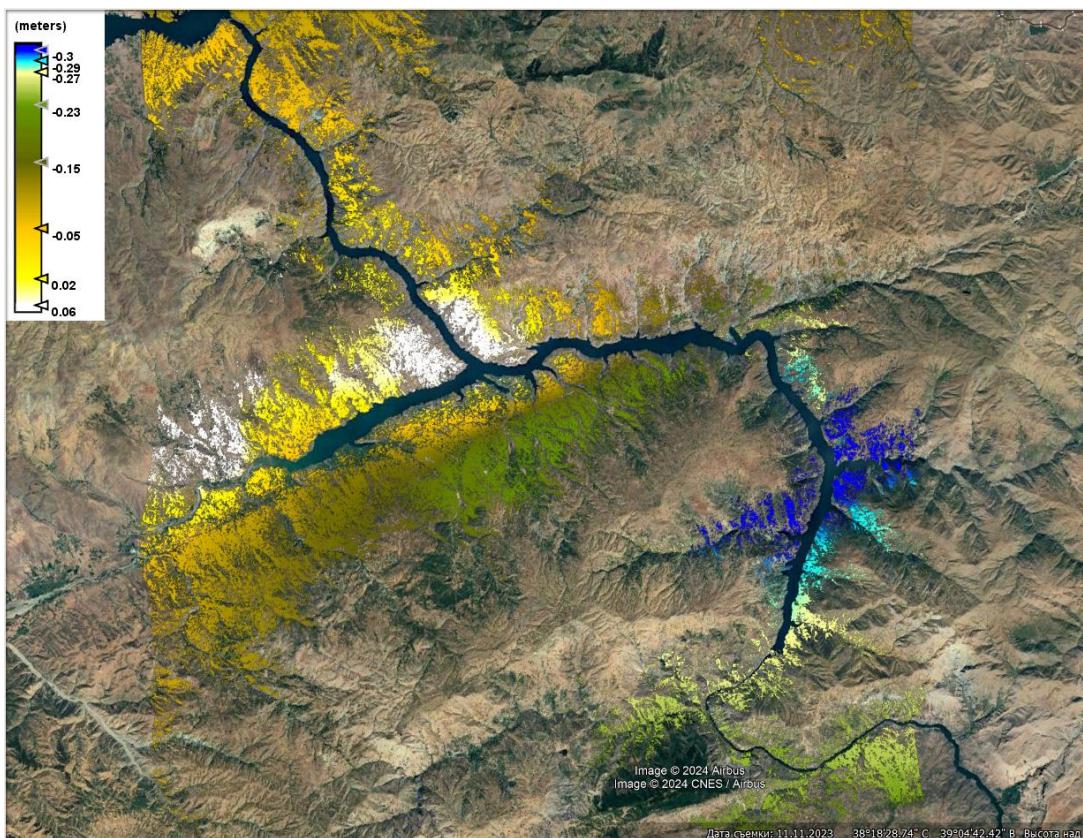


Рис. 2 Карта деформаций на примере землетрясения в Турции (2020 г.)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод DInSAR демонстрирует высокую точность и применимость для мониторинга объектов нефтедобычи, особенно в труднодоступных или потенциально опасных зонах. Автоматизация обработки значительно снижает затраты и позволяет перейти от точечного мониторинга к комплексному пространственному анализу. В перспективе возможна интеграция с системами раннего оповещения и подключение обучающихся моделей для прогнозирования рисков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ferretti A., Prati C., Rocca F. Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2001.
2. SNAP ESA Toolbox [Электронный ресурс]. URL: <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>
3. SNAPHU – Statistical-Cost Network-Flow Phase Unwrapping [Электронный ресурс]. URL: <https://web.stanford.edu/group/radar/softwareandlinks/sw/snaphu/>
4. Hanssen R. F. *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*. Kluwer Academic, 2001.
5. Sentinel-1 User Guide [Электронный ресурс]. URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar>

## ОБ АВТОРАХ

ЕМАШЕВ Рустэм Ильшатович, студент каф. ГИС.

МАКАРОВА Светлана Юрьевна, старший преподаватель каф. ГИС.

## METADATA

**Title:** Automated Monitoring of Oil Extraction Infrastructure Using Differential Interferometric SAR (DInSAR)

**Author:** R.I. Emashev<sup>1</sup>, S.Y. Makarova<sup>2</sup>

**Affiliation:**

<sup>1,2</sup> Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>thb18@mail.ru, <sup>2</sup> svet\_makarova1@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 3 (34), pp. 30-33, 2025. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** This paper discusses the application of Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) for monitoring ground surface deformations in oil extraction areas. An automated workflow based on Sentinel-1 radar data is implemented using the SNAP and SNAPHU toolkits, with full integration in Python. The proposed approach provides millimeter-level accuracy in detecting ground displacement and visualizes the results in the form of interferograms and displacement maps. This method enhances safety and reliability in areas such as pipelines and swamps, where subsidence poses significant risks.

**Key words:** DInSAR; SAR interferometry; surface deformation; Sentinel-1; automated processing; SNAPHU; oil infrastructure.

**About authors:**

**Emashev Rustem Ilshatovich**, student, Department of Geoinformation Systems and Technologies, Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

**Makarova Svetlana Yurievna**, senior lecturer, Dept. of GEOINFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES (UUST).