

## **МЕТОДИКА МОНИТОРИНГА СМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ**

*Сухроб Джамишедович Муродов*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (999)468-29-19, e-mail: suhrob-1994bat@mail.ru

*Александр Юрьевич Чермошенцев*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: fdz2004@bk.ru

Статья посвящена мониторингу деформаций сооружений с использованием метода интерферометрии постоянных рассеивателей по данным со спутника Sentinel-1. Описана методика Persistent Scatterers Interferometry, используемая для обработки интерферометрических пар снимков в программных продуктах SNAP и StaMPS. В результате получены дифференциальные интерферограммы, характеризующие изменение высоты отдельных точек за определенный период времени.

**Ключевые слова:** деформации сооружений, радиолокационная съемка, постоянные рассеиватели, мониторинг.

## **METHODOLOGY FOR MONITORING DISPLACEMENTS OF BUILDINGS AND STRUCTURES USING SPACE RADAR SURVEY**

*Suhrob D. Murodov*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Graduate, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (999)468-29-19, e-mail: suhrob-1994bat@mail.ru

*Alexander Yu. Chermoshentsev*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383) 361-08-66, e-mail: fdz2004@bk.ru

The article is devoted to monitoring the deformation of structures using persistent scatterers interferometry according to the satellite Sentinel-1. The Persistent Scatterers Interferometry technique is described, which is used for processing interferometric pairs of images in SNAP and StaMPS software. As a result, differential interferograms characterizing the change in the height of individual points over a certain period of time are obtained.

**Key words:** displacement of buildings, radar survey, persistent scatterers monitoring.

### ***Введение***

Для мониторинга быстропротекающих геодинамических процессов, таких как оползни и тектонические подвижки, в последние годы активно применяются спутниковые радиолокационные снимки [1]. Среди методов особенно выделя-

ется Persistent Scatterers Interferometry (PSI) – это новая методика обработки радиолокационных данных, позволяющая измерять и отслеживать смещения и деформации точек земной поверхности, являющихся постоянными рассеивателями радиосигнала. В качестве таких точек, зачастую, выступают здания и искусственные сооружения [2].

Целью данной работы является реализация методики обработки и данных по методу PSI на примере снимков со спутников Sentinel-1. На радиолокационных спутниках Sentinel-1 применена новая технология сканирования Terrain Observation with Progressive Scans SAR (TOPSAR). По сравнению с предыдущими миссиями Европейского космического агентства, технология TOPSAR обеспечивает повышенную пропускную способность сбора данных [3], что приводит к увеличению потенциала мониторинга деформаций. Используя режим широкополосной интерферометрической съемки Interferometric Wide Swath, который является стандартным режимом съемки Sentinel-1, обеспечивается ширина полосы захвата 250 км. За счет этого достигается высокое временное разрешение: один спутник имеет 12-дневный цикл повторного посещения, в то время как с использованием двух спутников цикл становится 6-дневным. Это обстоятельство способствует снижению временной декорреляции данных и, как следствие, улучшению когерентности интерферометрических пар снимков. Немаловажным является доступность исходных данных, определяемая открытой политикой распространения в рамках программы Copernicus.

### *Методы и материалы*

Методика обработки состоит из следующих основных этапов:

1) предварительная обработка. Из-за особенностей технологии TOPSAR данные Sentinel-1 нуждаются в дополнительной обработке. Это главным образом влияет на этап совмещения снимков, который из-за высокой скорости доплеровского сдвига, должен быть очень точным [4]. Предварительная обработка выполняется в пакетном режиме, затем следует объединение для формирования субполос интерферограмм и амплитудных изображений;

2) выбор точек, используемых в качестве постоянных рассеивателей Persistent Scatterer (PS). Здесь используется критерий дисперсии амплитуды точек PS, характеризующихся умеренным пространственным изменением фазы для обеспечения последующей правильной развертки фазы [5];

3) развертка пространственной двумерной фазы с использованием метода потока минимальной стоимости [6, 7] выполняется над несколькими интерферограммами. На этом этапе генерируется набор из развернутых фазовых изображений, которые упорядочены по времени в соответствии с датами обработанных изображений;

4) атмосферная фильтрация. Выполняется с использованием набора пространственно-временных фильтров [8];

5) определение скорости деформации и оценка точности. Скорость деформации и оценка точности выполняется по развернутым интерферограммам. До-

полнительно для учета теплового расширения может быть использована двухпараметрическая модель [9-11];

б) географическая привязка результатов PSI.

В данной работе методика обработки по методу PSI реализована с помощью программного пакета Stanford Method of Persistent Scatterer (StaMPS), интегрированной в программный продукт SNAP. В качестве исследуемой территории была выбрана область интереса с известными деформациями, расположенная в Мехико [12-14]. Для минимизации используемых ресурсов обработки были выбраны относительные орбиты спутника, обеспечивающие полный охват территории в пределах одной суб-полосы. В таблице приведены сводные характеристики данных.

Характеристики исходных снимков

Номер относительной орбиты	Число снимков	Дата начала съемки	Дата окончания съемки
143	17	15.11.2015	11.09.2016

### Результаты

Весь рабочий процесс обработки разработан с использованием интерфейса SNAP Graph Builder и сохранен в виде нескольких файлов XML (рис. 1). Graph Builder позволяет пользователю собирать графики из списка доступных операторов и подключать узлы операторов к их источнику. Разделение рабочего процесса на отдельные файлы XML облегчает использование вычислительных ресурсов.

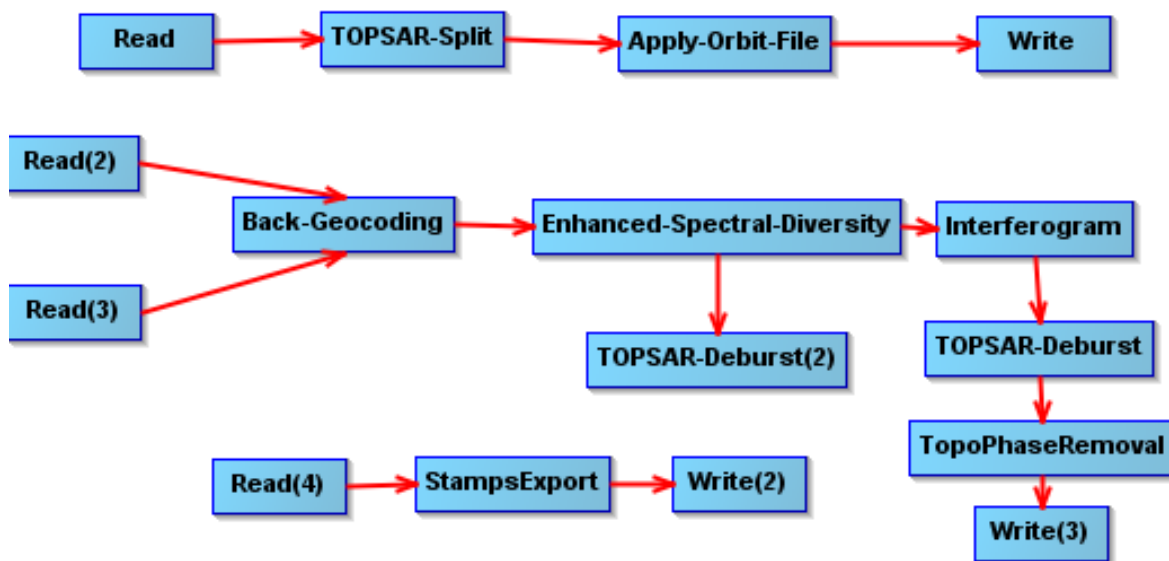


Рис. 1. Схема обработки в программе SNAP

Результатом является экспортированный набор данных, в формате, совместимом со StaMPS, упорядоченный в структуру папок. Процедура запускается с помощью сценария `mt_prep_gamma`, в ходе которого происходит обнаружение исходных точек, являющихся постоянными рассеивателями и извлечение соответствующих данных (фаза, высота и т. д.). Результатом являются дифференциальные интерферограммы в виде растровых файлов, которые могут быть экспортированы в виде файла KMZ для отображения в ГИС или веб-сервисах. На рис. 2 продемонстрирована модель, характеризующая изменение высот точек, которая была загружена в программу Google.Планета Земля.

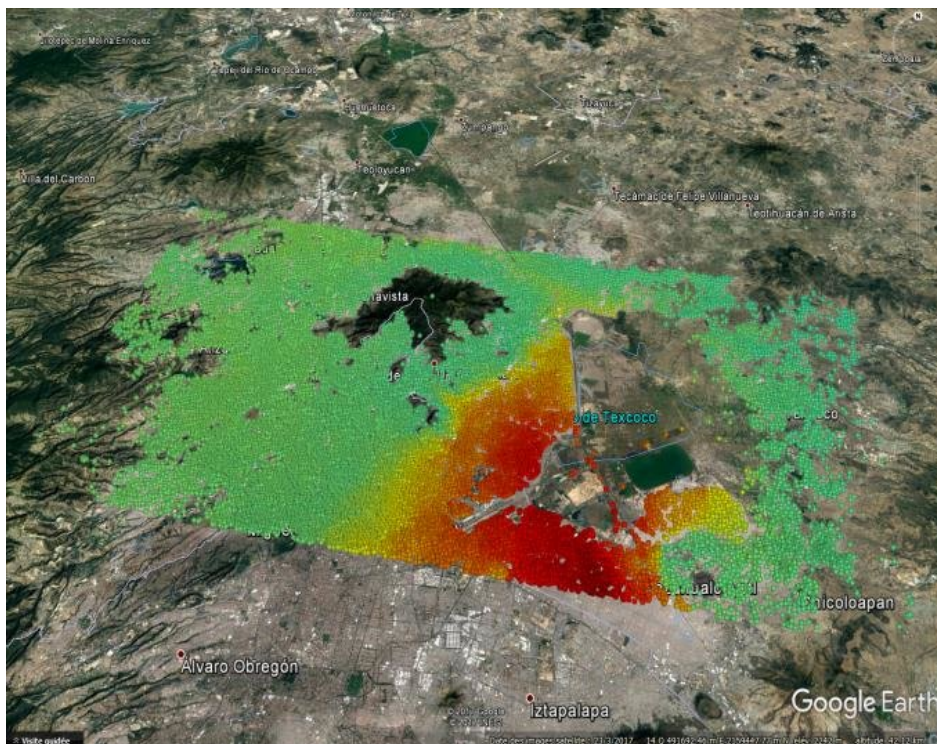


Рис. 2. Результат экспорта в Google.Планета Земля

### *Заключение*

По результатам проведенных исследований были определены параметры и основные этапы методики обработки радиолокационных снимков со спутника Sentinel-1 с использованием постоянных рассеивателей радиосигнала.

По результатам можно сделать следующие выводы:

- значительная часть процесса обработки практически автоматизирована с помощью SNAP Graph Builder и программного пакета StaMPS, для подбора каждой интерферометрической пары требуется действие оператора;
- несмотря на пространственную неравномерность размещения постоянных рассеивателей радиолокационного сигнала на исследуемой территории, плотность рассеивателей достаточно велика и превышает любую возможную плотность контрольных точек (реперов) при наземных геодезических наблюдениях;

– частота съемок достаточна, чтобы определить не только итоговые смещения, но и проанализировать их динамику за полгода;

– некоторые участки территории при съемке только на восходящем витке орбиты остаются засвеченными вследствие эффекта переналожения. Эту проблему можно решить, используя съемку сразу с двух витков орбиты.

Технология радиолокационной интерферометрии постоянных рассеивателей является эффективным дополнением к традиционным наблюдениям за смещениями инструментальными методами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Деформации зданий и сооружений и порядок их выявления. Молодой ученый [Электронный ресурс] / отдел «Майкопский гос. технологический ун-т. – М., 2018. – Режим доступа <https://moluch.ru/archive/134/37529>.

2. Космический радарный мониторинг смещений земной поверхности и сооружений на Жезказганском месторождении меди / В. А. Мансуров [и др.] // Геоматика. – 2012. – № 1. – С. 73 – 77.

3. Кантемиров, Ю. И. Обзор современных радарных данных ДЗЗ // Геоматика. – 2013. – № 2. – С. 69 – 72.

4. Torres R., Snoeij P., Geudtner D. GMES Sentinel-1 mission. Remote Sensing of Environment, 120, 9–24. doi:10.1016/j.rse.2011.05.028.

5. Prats-Iraola P., Scheiber R., Marotti L. TOPS interferometry with TerraSAR-X. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 50(8), 3179–3188. doi:10.1109/TGRS.2011.2178247.

6. Devanthery N., Crosetto M., Monserrat O. An approach to Persistent Scatterer Interferometry. Remote Sensing, 6, 6662–6679. doi:10.3390/rs6076662.

7. Costantini M. A novel phase unwrapping method based on network programming. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36, 813–821. doi:10.1109/36.673674.

8. Costantini M., Farina A., Zirilli F. A fast phase unwrapping algorithm for SAR interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 37, 452–460. doi:10.1109/36.739085.

9. Ferretti A., Prati C., & Rocca F. Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39(1), 8–20. doi:10.1109/36.898661.

10. Monserrat O., Crosetto M., Cuevas M. The thermal expansion component of Persistent Scatterer Interferometry observations. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 8, 864–868. doi:10.1109/LGRS.2011.2119463 .

11. Osmanoglu T. H., Dixon S. Mexico City subsidence observed with persistent scatterer InSAR,” International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13(1), pp. 1-12, 2011.

12. Devanthery N., Crosetto M. Data analysis tools for persistent scatterer interferometry based on Sentinel-1 data // Procedia Computer Science, Volume 100, 2016, Pages 1121-1126. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1554981>

13. Devanthery N., Crosetto M. Deformation Monitoring Using Persistent Scatterer Interferometry and Sentinel-1 SAR Data <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.263>

14. Blasco J., Foumelis M. Measuring Urban Subsidence in the Rom Metropolitan Area (Italy) with Sentinel-1 SNAP-StaMPS Persistent Scatterer Interferometry. Remote Sens. 2019, 11, 129; doi:10.3390/rs11020129

© С. Д. Муродов, А. Ю. Чермошенцев, 2020