

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ СО СПУТНИКА SENTINEL-1 ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОПОЛЗНЕЙ**

*Александр Юрьевич Чермошентцев*

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

Реализована методика интерферометрической обработки радиолокационных снимков со спутника Sentinel-1 на территорию Исландии, подверженную влиянию оползневых процессов. Показана возможность применения данной методики для оперативного обнаружения оползней, а также выполнения мониторинга с целью их прогнозирования.

**Ключевые слова:** оползни, радиолокационная съемка, Sentinel-1, оперативное обнаружение.

## **APPLICATION OF SENTINEL-1 DATA FOR RAPID DETECTION OF LANDSLIDES**

*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 technique of interferometric processing of radar images from the Sentinel-1 satellite on the territory of Iceland, which is affected by landslide processes, was implemented. The possibility of applying the methodology for rapid detection of landslides, as well as monitoring to predict them is shown.

**Key words:** landslides, radar survey, Sentinel-1, rapid detection.

### *Введение*

Под оползневым процессом понимается нарушение равновесия грунтового массива, его деформирование под воздействием неуравновешенных сил, отделение части массива трещиной и движение образовавшегося оползневого тела по поверхности скольжения [1]. Термину «оползень» за рубежом соответствует понятие «гравитационные процессы», под которым понимаются также обвалы, сели, осыпи, крип, их комбинации и др. [2, 3].

Оползни классифицируются по характеру нарушения равновесия грунтового массива, скорости распространения и типу переносимого материала. Наиболее подвержены оползням территории с расчлененным рельефом, где они могут быть вызваны как естественными процессами, так и деятельностью человека [4, 5]. Оползни могут привести к повреждению инфраструктуры или блокированию водотоков, а в худшем случае – к гибели людей. Основной движущей силой для оползня является гравитация, но есть и другие факторы, кото-

рые также влияют на устойчивость склона. Во многих случаях оползень вызывается конкретным событием, таким как сильный дождь или землетрясение [6].

Один из крупнейших зарегистрированных оползней, произошедший в Исландии летом 2018 года был вызван большим количеством осадков, его объем составил около 10–20 миллионов м<sup>3</sup> [7]. Этот крупный оползень произошел в отдаленной части Исландии 7 июля 2018 года, и, основываясь на архивных спутниковых данных, нестабильность этого склона была известна с 2015 года [8].

Обнаружение и отслеживание смещений на потенциально опасных склонах до непосредственно наступления критической ситуации позволяет заблаговременно принять меры к стабилизации склона или провести эвакуацию из тех зон, которые могут быть затронуты оползнем. Современные методы интерферометрической обработки радиолокационных снимков позволяют дистанционно идентифицировать и отслеживать потенциальные оползни, дополняя другие наземные методы [9].

В данной работе рассматривается методика применения материалов радиолокационной съемки со спутника Sentinel-1 для оперативного обнаружения оползневых явлений. Для решения этой задачи применяется метод дифференциальной интерферометрической обработки пары радиолокационных снимков [10].

### *Методы и материалы*

В качестве исходных данных использовалась интерферометрическая пара снимков со спутника Sentinel-1, полученных с интервалом 24 дня, в промежутке между которыми произошел сход оползня.

На рис. 1 показано расположение области исследования на территории Исландии. Поиск космических снимков Sentinel-1 осуществлялся с помощью веб-сервиса Copernicus Open Access Hub [11].

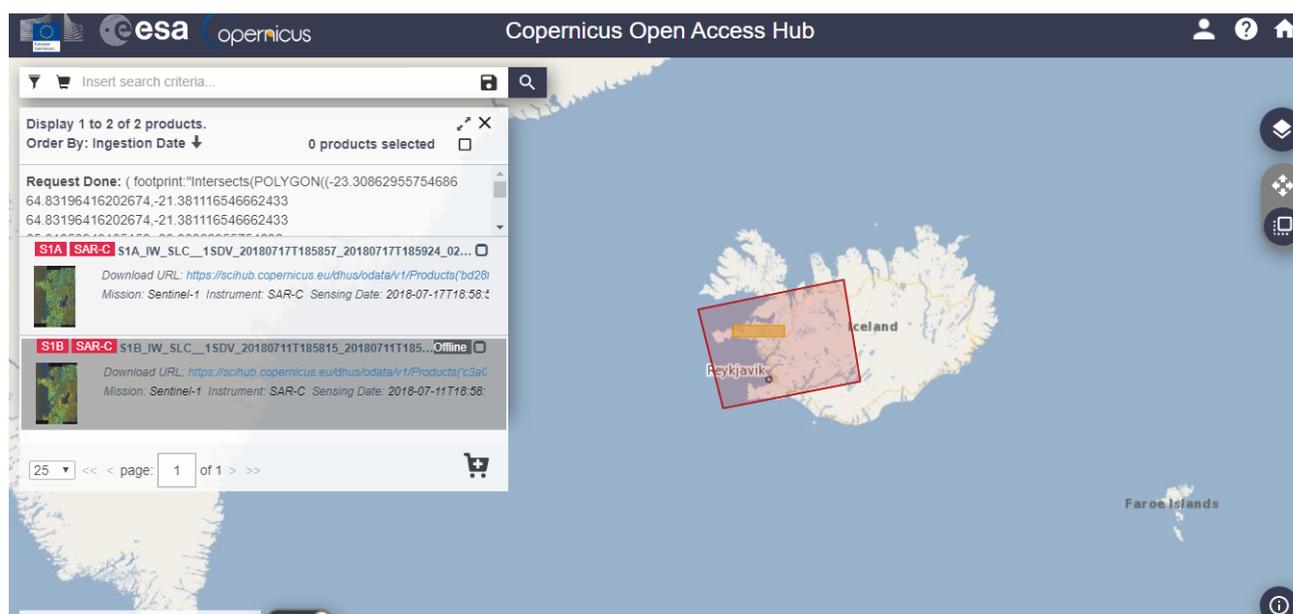


Рис. 1. Границы исследуемой территории на портале Copernicus

Характеристики исходных снимков приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики исходных снимков Sentinel-1

| Идентификатор снимка            | Дата съемки | Орбита | Поляризация | Режим съемки |
|---------------------------------|-------------|--------|-------------|--------------|
| S1A IW SLC 1SDV 20180717T185857 | 17.07.18    | 16     | VV          | IW           |
| S1A IW SLC 1SDV 20180623T185856 | 23.06.18    | 16     | VV          | IW           |

Все основные процессы обработки снимков выполнены в программном продукте Sentinel-1 Toolbox, который входит в пакет Sentinel Application Platform (SNAP) [12]. Последовательность обработки данных Sentinel-1 в программном продукте SNAP включала следующие основные шаги:

- точное совмещение снимков (TOPSAR Coregistration);
- создание интерферограммы;
- объединение полос;
- удаление топографической фазы рельефа;
- фильтрация спекл-шума;
- геометрическая коррекция.

Процесс совмещения выполнялся в автоматическом режиме с помощью процедуры TOPSAR Coregistration, предполагающей выбор одной из трех суб-полос, полученных в режиме Interferometric Wide Swath [13].

Следующие шаги реализованы с помощью инструмента Graph Builder, позволяющего выполнять пакетную обработку большого числа снимков без непосредственного участия оператора. На рис.2 показана технологическая схема основных операций в терминологии программного продукта SNAP.

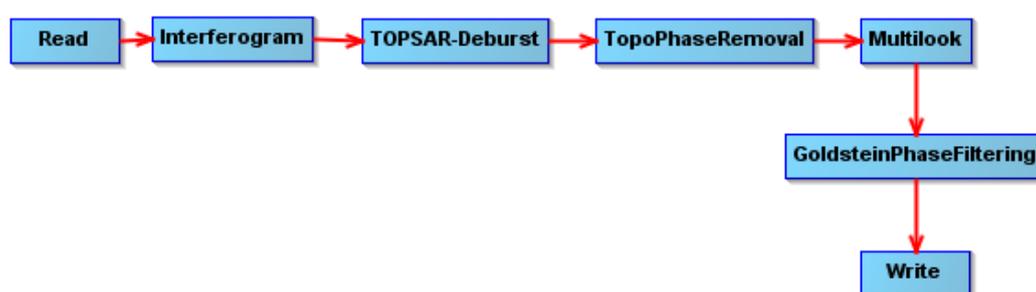


Рис. 2. Порядок обработки снимков в программном продукте SNAP

### Результаты

Результат совмещения с точностью до десятых долей пикселя позволяет выполнить визуальное или автоматизированное дешифрирование снимков [14]. Для визуальной оценки было создано композитное изображение, в качестве крас-

ного и зеленого цветовых каналов которого выступали снимки, полученные соответственно после и до схода оползня. На рис 3. показан результат совмещения снимков в виде псевдоцветного композитного изображения.

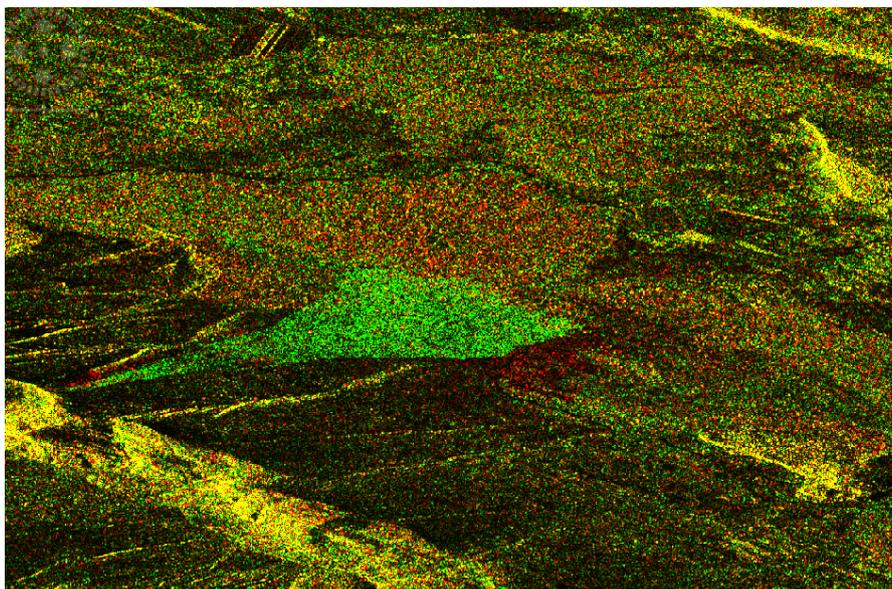


Рис. 3. Псевдоцветное композитное изображение участка схода оползня

Результат создания интерферограммы и расчета значений когерентности, показывающих степень произошедших изменений, приведен на рис. 4.

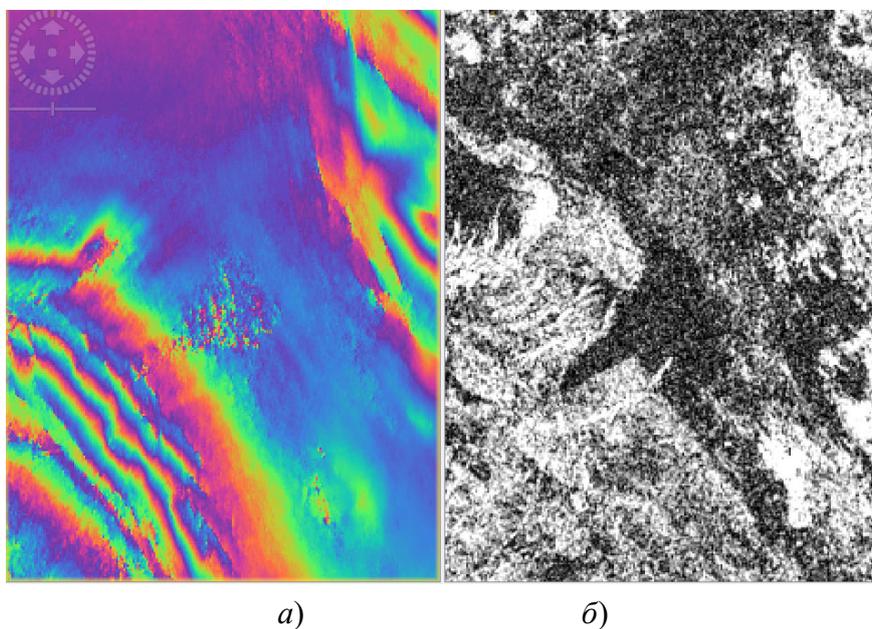


Рис. 4. Интерферограмма (а) и значения когерентности (б)

Также была создана интерферограмма по паре снимков, полученных до схода оползня, для сравнения с имеющейся интерферограммой. На рис.5. приве-



сирован крупный оползень, получены изображения, на которых явно выделяются области, претерпевшие смещения земной поверхности. Определена площадь тела оползня, которая составила 2 км<sup>2</sup>. Помимо визуального или автоматизированного распознавания области распространения стихийного бедствия, созданная интерферограмма содержит численные значения имевших место смещений земной поверхности, свидетельствующие о масштабах возможных разрушений [17]. Выполнение мониторинга путем последовательного создания и сравнения интерферограмм на потенциально опасные оползневые районы с интервалом, соответствующим временному разрешению спутника Sentinel-1, позволит на заблаговременно выявлять небольшие смещения и прогнозировать вероятность схода оползня [18, 19]. Для формирования полноценного прогноза также потребуется привлечение метеорологических данных, в частности количества осадков.

### *Заключение*

Применение интерферометрической обработки радиолокационных космических снимков со спутника Sentinel-1 позволяет выполнять оперативное обнаружение оползневых явлений [20]. Преимуществами данной методики является всепогодность радиолокационной съемки, высокая степень автоматизации обработки и доступность как самих данных, так и программного обеспечения широкому кругу пользователей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оползни. Основные определения. [Electronic resource]. Mode of access : <http://opolzni.ru/%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B7%D0%BD%D0%B8-%D1%87%D1%82%D0%BE-%D1%8D%D1%82%D0%BE/> (дата обращения: 18.04.2020).
2. Cruden D.M., Couture, R. More comprehensive characterization of landslides : Review & additions Proceedings, 11th IAEG Congress, Auckland, New Zealand. – 2010. – pp 1033–1042.
3. What is a landslide and what causes one? [Electronic resource]. Mode of access : [https://www.usgs.gov/faqs/what-a-landslide-and-what-causes-one?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-a-landslide-and-what-causes-one?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products) (дата обращения: 18.04.2020).
4. Зербалиев А.М., Георгиева М.А. Оползневые и эрозионные процессы на склонах горных и предгорных ландшафтов [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22979> (дата обращения: 25.04.2020).
5. Моделирование развития оползневых процессов для прогноза оползневой опасности на территории горнолыжного комплекса «Казань» и г. Иннополис / А.И. Латыпов, Н.И. Жаркова, И.С. Нуриев, Г.А. Чернийчук // Ученые записки Казанского университета. 2014. – Т.156. – кн.1. – С.148–159.
6. Чалкова Ю.С., Черепанов Б.М. Оползневые процессы, их прогнозирование и борьба с ними // Ползуновский вестник. – 2007. – №1. – С.80–89.
7. Largest Landslide in Icelandic History [Electronic resource]. Mode of access : <https://www.icelandreview.com/nature-travel/largest-landslide-icelandic-history/> (дата обращения: 20.04.2020).
8. Displacements in Fagraskógarfjall for some time before the landslide fell History [Electronic resource]. Mode of access : <https://en.vedur.is/about-imo/news/displacements-in-fagraskogarfjall-for-some-time-before-the-landslide-fell> (дата обращения: 20.04.2020).

9. Бондур В.Г. Мониторинг оползневых процессов с помощью космических интерферометрических радаров L-диапазона на примере обрушения склона берега реки Бурей / В.Г. Бондур, Л.Н. Захарова, А.И. Захаров и др. // Исследование Земли из космоса. – 2019. – № 5. – С. 3–14.
10. Захарова Л.Н., Захаров А.И. Наблюдение динамики зоны оползня на реке Бурей по данным интерферометрической съемки Sentinel-1 в 2017–2018 гг. // Современ. пробл. дист. зондир. Земли из космоса. – 2019. – Т. 16. – № 2. – С. 273–277.
11. Copernicus Open Access Hub. Copernicus Open Access [Electronic resource]. Mode of access : <https://scihub.copernicus.eu/> (дата обращения: 20.04.2020).
12. SNAP [Electronic resource]. Mode of access : <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/> (дата обращения: 20.04.2020).
13. Боргоякова А.А., Чермошенцев А. Ю. Методика создания цифровой модели местности по данным радиолокационной съемки со спутника Sentinel-1 // // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 6 : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 2. – С. 120–127.
14. Bamler R., Hartl P. Synthetic aperture radar interferometry // Inverse Problems. 1998. V.14. P. R1-R54.
15. Верба В. С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. - М.: Радиотехника, 2010. - 680 с.
16. Груздов В. В., Колковский Ю.В., Криштопов А. В., Кудря А. И. Новые технологии дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. – 482 с.
17. Захарова Л. Н., Захаров А. И. Наблюдение динамики зоны оползня на реке Бурей по данным интерферометрической съемки Sentinel-1 в 2017–2018 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т. 16. – № 2. – С. 273–277.
18. Абросимов А. В., Дворкин Б. А., Кантемиров Ю. И. Некоторые вопросы космического мониторинга чрезвычайных ситуаций // Геоматика. – 2014. - №4. – С.20–27.
19. Архипкин О. П., Бекмухамедов Б. Э., Сагатдинова Г. Н. Возможности применения радарных данных Sentinel-1 при проведении космического мониторинга ЧС // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли : материалы IV Междунар. науч. конф., Красноярск, 12–15 сентября 2017 г. / науч. ред. Е. А. Ваганов ; отв. ред. Г. М. Цибульский. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. – С. 3–6.
20. Rapid Landslide Detection with Sentinel-1 [Electronic resource]. – Mode of access : <https://rus-training.eu/training/rapid-landslide-detection-with-sentinel-1> (дата обращения: 18.04.2020).

© А. Ю. Чермошенцев, 2020