

Э. Р. Семакова^{1}, М. Г. Поторжинский¹, Е. И. Сиетиня¹, В. П. Сафронов²*

Опыт использования данных Sentinel-1 в задачах идентификации снежных лавин на космоснимках

¹ Астрономический институт им. Улугбека Академии наук Республики Узбекистан,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

² Центр гидрометеорологической службы Республики Узбекистан, г. Ташкент, Республика
Узбекистан

* e-mail: ella9sem@gmail.com

Аннотация. Информация о сходе снежных лавин необходима для надежной защиты в лавиноопасных зонах, особенно в районах с развитой хозяйственной и рекреационной деятельностью. Для двух районов, расположенных в отрогах Чаткальского и Кураминского хребтов (Западный Тянь-Шань, Узбекистан), рассмотрена возможность использования радарных снимков Sentinel-1 для идентификации пути движения лавины (транзитной зоны лавин и конуса выноса). Для анализа выбраны случаи схода лавин, различных по объему, генезису, местоположению. Основные процессы обработки снимков выполнены в программном обеспечении SNAP. Доступность спутниковых данных и программного обеспечения по обработке снимков, а также всепогодность радиолокационной съемки определяло их выбор для решения поставленных задач. В тематической обработке снимков разработано несколько подходов, однако наличие специфических проблем при изучении данного явления и ограниченность выборки не позволило дать окончательных рекомендаций по дешифрированию лавин районов исследования на данных космоснимках.

Ключевые слова: данные Sentinel-1, снежные лавины, горные районы Узбекистана

E. R. Semakova^{1}, M. G. Potorginskiy¹, E. I. Sietinya¹, V. P. Safronov²*

Experience in using Sentinel-1 data in the avalanche identification tasks on satellite images

¹ Ulugh Beg Astronomical Institute of the Uzbekistan Academy of Sciences,
Tashkent, the Republic of Uzbekistan

² Center of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

* e-mail: ella9sem@gmail.com

Abstract. Information about snow avalanches is necessary for reliable protection in mountain regions, especially in areas with developed economic and recreational activities. For two areas located in the spurs of the Chatkal and the Kuraminsky Ridges (the Western Tien Shan, Uzbekistan), the possibility of using Sentinel-1 images to identify the avalanche path (the avalanche transit and runout zones) was considered. For the analysis, real cases of avalanches, different in volume, genesis, and location, were selected. The main image processing steps were performed in the SNAP software. The availability of satellite data and software for image processing, as well as the all-weather capability of radar imaging, determined their choice in the studies. Several approaches have been developed in thematic image processing, however, the presence of specific problems in the phenomenon study and the limited sample size did not allow us to give final recommendations on the avalanche interpretation of the study area in the satellite images.

Keywords: Sentinel-1 SAR data, snow avalanches, Uzbekistan mountains

Исследования высокогорной окружающей среды в труднодоступных районах посредством данных дистанционного зондирования Земли является актуальным и широко развивающимся в настоящее время направлением, позволяющим эффективно решать ряд задач в различных областях исследований. Особенно важны исследования, связанные с изучением опасных горных явлений, таких как снежные лавины, сход которых приводит к простоям автодорог, разрушению инфраструктуры и являются большой угрозой жизни населения. В условиях плохой погоды и отсутствия видимости (туман, метели, снегопады), информацию о произошедших лавинах можно получить с помощью данных радиолокационной космической съемки [1–3]. Такая информация необходима для составления надежных ежегодных кадастров лавин, служащих основой картографирования лавинной опасности и принятия соответствующих решений.

Целью работы являлась оценка возможности использования доступных данных спутника Sentinel-1, одной из миссий европейской программы Copernicus по глобальному мониторингу Земли, для задач идентификации сошедших лавин в хорошо изученных горных районах Узбекистана. Такими районами являлись бассейны рек Камчик и Чимган, расположенных в отрогах Кураминского и Чаткальского хребтов (горная система Западного Тянь-Шаня), соответственно, где специализированные снеголавинные наблюдения проводятся с 1980-х гг.

Районы исследования характеризуются высокой степенью лавинной опасности. В отдельные годы в этих районах сходит более 150 лавин различного объема. Наблюдения за сходом лавин и снежно-метеорологическими условиями их проявления проводятся специализированными снеголавинными станциями Узгидромета, одна из которых обслуживает безопасность рекреационной зоны и трасс горнолыжного катания в урочище Чимган, а другая – безопасность автодороги Ташкент – Ош в районе перевала Камчик.

В первом районе (высоты простираются до 3300 м) в последнее время увеличивается доля схода влажных и адвекционных лавин, характерных в сезон весеннего снеготаяния. Во втором районе (высоты – до 2800 м) преобладают лавины метелевого снега [4]. В связи со строительством защитных снегоудерживающих сооружений в этом районе, большинство лавин в настоящее время характеризуется небольшими объемами [5].

Для работы были выбраны лавины как небольших, так и относительно крупных размеров: 16 и 18 февраля 2023 г., а также 27 декабря 2017 г. в районе перевала Камчик, объемом 1300, 12 000, и 48 000 м³, соответственно, и лавина в урочище Чимган, сошедшая 11 марта 2023 г. объемом 20 000 м³.

Зона формирования лавин отличалась высотой отрыва, экспозицией и крутизной склона, генезисом и влажностью снега, а также сопутствующими метеорологическими условиями. Каждая лавина была географически привязана к сетке исследуемых лавиносборов и рельефу. Дополнительная информация включала фотографии и видеоматериалы сошедших лавин, текстовое описание параметров лавин, ресурсы Google Earth и оптические снимки Sentinel-2A при наличии качественных безоблачных изображений на изучаемый период.

Анализ архива доступных радарных снимков показал снимки лишь со спутника Sentinel-1A. Периодичность их получения для районов исследования составляет 12 дней. В целях выявления изменений, произошедших между съемками, были загружены снимки, охватывающие районы исследования, предшествующие событию схода лавин и после события, на разные направления орбиты съемки. Используемый режим съемки – Interferometric Wide Swath, уровень обработки данных – GRD, в поляризации сигнала – VH и VV.

Методика обработки этих данных включала процедуры радиометрической калибровки, фильтрации спекл-шума различными алгоритмами, геометрической коррекции. В качестве основы служила цифровая модель рельефа, полученная с высотных данных SRTM-1”, а также с ALOS PALSAR DEM.

Для обработки и проведения тематического дешифрирования GRD-снимков использовалось доступное программное обеспечение SNAP, разработанное Европейским космическим агентством. В процессе работы был создан инструмент автоматического пакетного режима одновременной обработки данных двух направлений орбиты.

Анализ разности интенсивности обратного рассеяния (σ^0), рассчитанной в децибелах, между двумя соседними съемками (до и после лавины) в двух поляризациях (VH и VV) проводился разными подходами, с использованием процедуры Change Detection, совмещения в стеке двух идентичных снимков и создания композитного изображения RGB, где красному цвету присваиваются произошедшие за период между съемками изменения. Кроме того, в целях устранения эффекта затенения, присущего радарной съемке горных районов, был разработан подход арифметического вычитания по созданным комбинированным снимкам разнонаправленной съемки и получения статистики минимальных и максимальных значений коэффициентов обратного рассеяния.

В качестве эталонных позиций выбраны области предполагаемого расположения следов лавины. С привлечением инструментов нечеткой логики выделялись перспективные площади пути схода лавин с выбором режима Гаусс распределения с разбросом 0,1.

В результате выявлено множество участков, согласующиеся с особенностями рельефа и имеющие «языковую» форму с направлением схода с вершин в водотоки. Выделялись участки, где сигнал после лавины стал больше сигнала до лавины, и участки, где сигнал после лавины стал меньше сигнала до лавины. Таких участков с изменениями выявилось достаточно много.

Обнаружить лавину объемом 1300 м³ в районе перевала Камчик не удалось в силу ее небольшого размера по площади. Идентификация других лавин в этом районе зависела от периода между случаем схода лавины и анализируемым снимком после схода и осложнялась тем, что, в случае завала полотна автодороги, расчистка дороги, традиционно проводимая дорожными службами в целях обеспечения беспрепятственного движения автотранспорта, приводит к перебору лавинного снега по близрасположенным тальвегам в последующие после завала сутки. На снимках получены пятна произошедших изменений различной величины, как в поляризации VH, так и в поляризации VV.

В урочище Чимган выявлены множественные изменения, напоминающие следы схода лавин, имеющие согласие с уклоном местности и располагающиеся вдоль водотоков, а также характеризующие, вероятно, следы отрыва других лавин, либо участки, где структура снега изменилась в результате его таяния или выпадения (рис. 1).

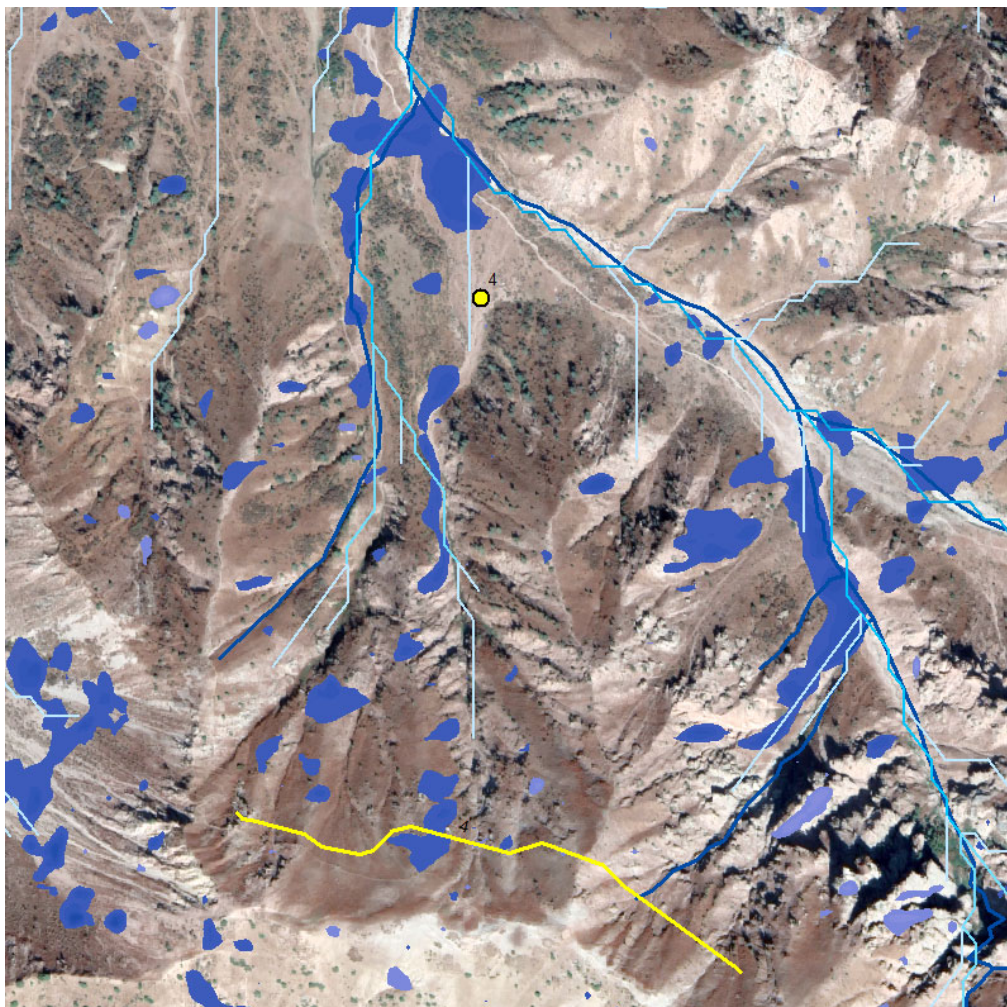


Рис. 1. Выявленные изменения (синим цветом) в период схода крупной лавины 11.03.2023 г. в урочище Чимган по данным снимков Sentinel-1A. Желтая линия место отрыва лавины; желтая точка – место остановки лавины.

Таким образом, в результате проведенной работы можно сделать предположение о возможности идентификации следов снежных лавин на снимках Sentinel-1 (GRD), но остается открытым вопрос поиска метода корректной ликвидации участков, которые имитируют снежные лавины. В последующих работах предполагается использовать анализ карт уклона местности, кривизны и экспозиции, чтобы исключить участки, где лавины невозможны в силу особенностей рельефа местности, а также провести совместный анализ данных, полученных с других радарных спутников, чтобы сократить время повторной съемки районов исследования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Агентства инновационного развития Республики Узбекистан в рамках научного проекта № ПЛ-5221091352.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. M. Eckerstorfer, H. Vickers, E. Malnes. Snow avalanche activity monitoring from space: creating a complete avalanche activity dataset for a Norwegian forecasting region. // Proc., International Snow Science Workshop, Breckenridge, Colorado, 2016, pp. 199-204.
2. M. Eckerstorfer, E. Malnes, K. Müller. A complete snow avalanche activity record from a Norwegian forecasting region using Sentinel-1 satellite-radar data / Cold Regions Science and Technology. Vol. 144, Dec. 2017, pp. 39-51, <http://dx.doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.08.004>.
3. E. Hafner, F. Techel, S. Leinss, and Yv. Bühler. Mapping avalanches with satellites – evaluation of performance and completeness // The Cryosphere, 15, 983–1004, 2021, <https://doi.org/10.5194/tc-15-983-2021>.
4. Семакова Э.Р., Сафронов В.П., Попов А.С. Многолетние изменения снеголавинных показателей в районах перевала Камчик и урочища Чимган (Западный Тянь-Шань) // Гидросфера. Опасные процессы и явления. - 2022. Т. 4. Вып. 3. С. 267–275. DOI: 10.34753/HS.2022.4.3.267.
5. Старьгин Г.Н., Карандаев С.В., Карандаева Л.М. Инженерная противолавинная защита автодороги Ташкент-Ош в районе перевала Камчик // Тр. НИГМИ. 2010. Вып. 16(261). С. 103–109.

© Э. Р. Семакова, М. Г. Поторжинский, Е. И. Сиетиня, В. П. Сафронов, 2023