

Предварительные результаты к созданию методических рекомендаций по мониторингу снежных лавин в отрогах Западного Тянь-Шаня на основе использования снимков Sentinel-1

Э. Р. Семакова, М. Г. Поторжинский

*Астрономический институт им. Улугбека АН РУз, Ташкент, 100052, Узбекистан
E-mail: ella9sem@gmail.com*

Проведённые исследования лавинной деятельности на территории урочища Чимган, расположенного в отрогах Западного Тянь-Шаня в Узбекистане и известного своими горнолыжными комплексами, позволили разработать методику идентификации снежных лавин на основе доступных радиолокационных космических снимков Sentinel-1. Анализ выполнен для данных различного типа, поляризации и направления орбиты. Обработка снимков проводилась с применением программного продукта SNAP (*англ.* SeNtinel Application Platform) и реализованных моделей расчёта в пакетном режиме. На примере события схода крупной лавины 11 марта 2023 г. представлены варианты полученных результатов. Разработанная методика идентификации лавин на амплитудных снимках позволила достоверно выявить следы снежных лавин, их зоны отрыва и места остановки. Для устранения ложноположительных обнаружений участков схода снежных лавин использовался критерий пороговых значений уклона местности на данной территории в качестве основного фактора контроля схода лавин. На основе выбранных значений уклона местности сформированы две маски участков (для зоны отрыва и зоны остановки снежных лавин), которые позволили с наибольшей вероятностью идентифицировать случаи схода снежных лавин.

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

Одобрена к печати: 19.12.2023

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-1-343-347

В настоящее время исследования труднодоступных районов проводятся путём анализа данных дистанционного зондирования Земли на основе мультиспектральных и радарных космических снимков. К особо актуальным относят исследования опасных горных явлений, таких как оползни, обвалы, сели и снежные лавины. Для высокогорных районов в целях идентификации следов снежных лавин в условиях плохой погоды и отсутствия видимости (облачность, туман, метели, снегопады) наиболее востребованы данные радиолокационной космической съёмки (Eckerstorfer et al., 2016, 2017; Hafner et al., 2021). В указанных работах использовался широко известный метод обнаружения изменений Change Detection (обнаружение изменений).

Автоматизированное дешифрирование данных космической радарной съёмки обычно требует больших затрат времени на поиск и получение радарных космических снимков. Кроме того, процесс обработки радарных снимков — это сложная математическая задача, требующая высокоэффективного программного обеспечения. Существенно ускорить такие работы стало возможным с появлением открытого доступа к программному обеспечению SNAP (*англ.* SeNtinel Application Platform), а также к оптическим и радарным космическим снимкам Sentinel-2 и Sentinel-1 с пространственным разрешением 10 м/пиксель и с периодичностью съёмки по территории Узбекистана в 12 дней.

Возможность применения пакетной обработки космических изображений позволила в автоматическом режиме обрабатывать неограниченное количество радарных снимков с заранее выбранными параметрами, что также способствует эффективности работ в этом направлении (Семакова и др., 2023). В отмеченной работе было выявлено большое количество участков, где в результате схода снежных лавин изменяется коэффициент обратного рассеяния из-за изменения шероховатости снега. Очевидно, что не все выявленные участки с наблюдаемыми изменениями являются следами снежных лавин.

Цель работы — отработка методики идентификации снежных лавин по корректной ликвидации ложных участков, которые имитируют лавины. Районом исследования являлись лавиносборы урочища Чимган, в которых наиболее часто возникают случаи схода снежных лавин. Специализированные наблюдения за сходом лавин в этом районе и снежно-метеорологическими условиями их проявления проводятся снеголавинной станцией Узгидромета, обслуживающей безопасность трасс горнолыжного катания в урочище Чимган.

На примере случая схода лавины в урочище Чимган, произошедшего 11 марта 2023 г., когда наиболее крупные объёмы снега, сошедшие по сегментам лавиносборов, оценивались в 1300, 12 000 и 48 000 м³, были проведены работы по стандартной обработке снимков Sentinel-1 в программном обеспечении SNAP и последующей идентификации следов снежных лавин, основанной на разности интенсивности обратного рассеяния между двумя соседними съёмками (до и после лавины). Тип используемых данных — GRD (*англ.* Ground Range Detected), режим съёмки — IW (*англ.* Interferometric Wide) в двух направлениях орбиты съёмки, в поляризации VH (Vertical – Horizontal) (V от *англ.* vertical, H от *англ.* horizontal) и VV (Vertical – Vertical).

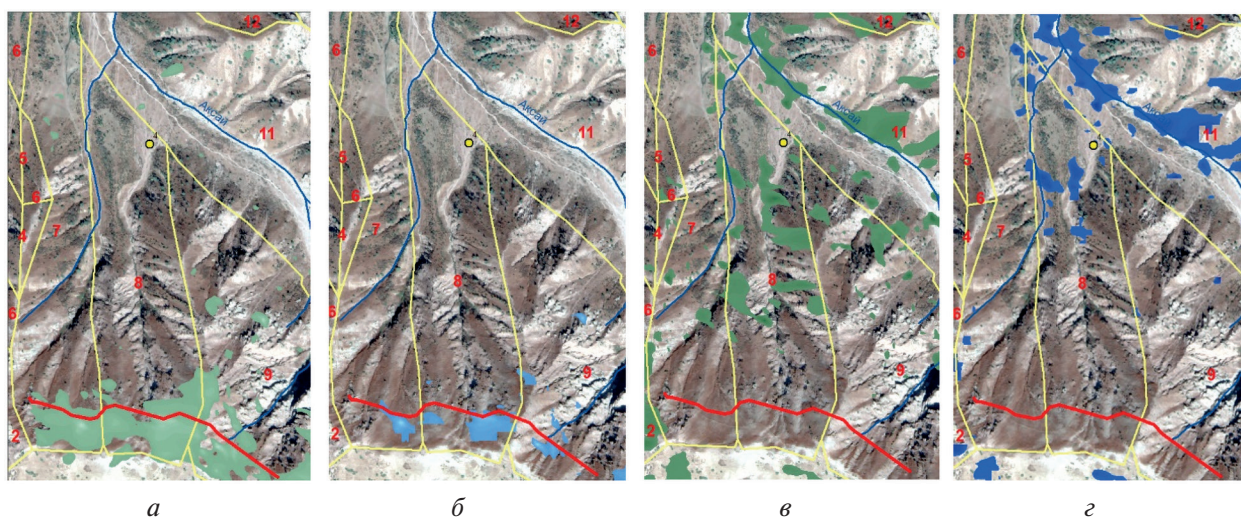


Рис. 1. Чимган (GRD_VH, 16.03.2023 минус 04.03.2023), нисходящая орбита съёмки: а — место отрыва лавины (светло-зелёный цвет); б — место отрыва лавины с учётом критерия уклона местности (голубой цвет); в — место остановки лавины (зелёный цвет); з — место остановки лавины с учётом критерия уклона местности (синий цвет)

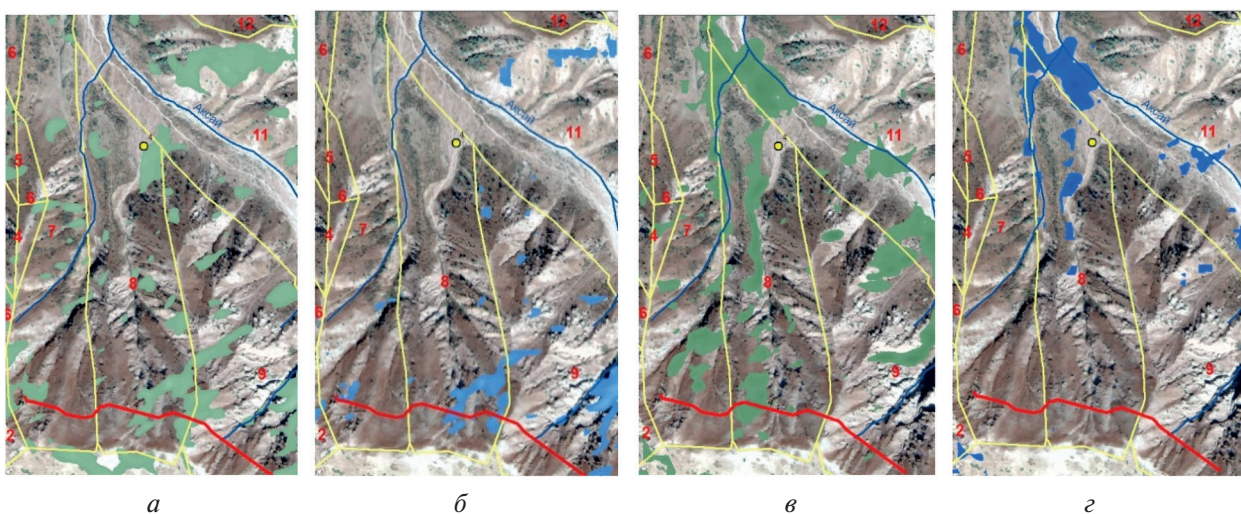


Рис. 2. Чимган (GRD_VH, 22.03.2023 минус 10.03.2023), восходящая орбита съёмки: а — место отрыва лавины (светло-зелёный цвет); б — место отрыва лавины с учётом критерия уклона местности (голубой цвет); в — место остановки лавины (зелёный цвет); з — место остановки лавины с учётом критерия уклона местности (синий цвет)

Для увеличения достоверности результатов, полученных по данным снимкам, в настоящей работе применён наиболее значимый критерий вероятности схода лавин — уклон местности. Экспериментально подобранные значения крутизны склона в данном лавиносборе, при которых происходит отрыв и остановка лавины, позволили устранить большое количество обнаруженных ложноположительных имитаций снежных лавин. Для возможных мест остановки лавин таким уклоном местности оказалась крутизна менее 26° , а для мест отрыва лавин — более 26° . На основе выбранных значений уклона сформированы две маски (для участков отрыва и для мест остановки снежных лавин), которые наилучшим образом отражали фактический случай схода лавины. В результате было устранено от 50 до 70 % участков, имитирующих следы лавин. Для случаев восходящей и нисходящей орбиты съёмки и вариантов поляризации VH и VV расположение следов лавин имеют некоторые различия (рис. 1–4, см. с. 344). В подписях к рисункам «минус» между датами обозначает разность интенсивности обратного рассеяния между двумя соседними съёмками (до и после лавины). Линиями жёлтого цвета размечены границы лавиносборов, а визуальная линия отрыва лавины — это линия красного цвета.

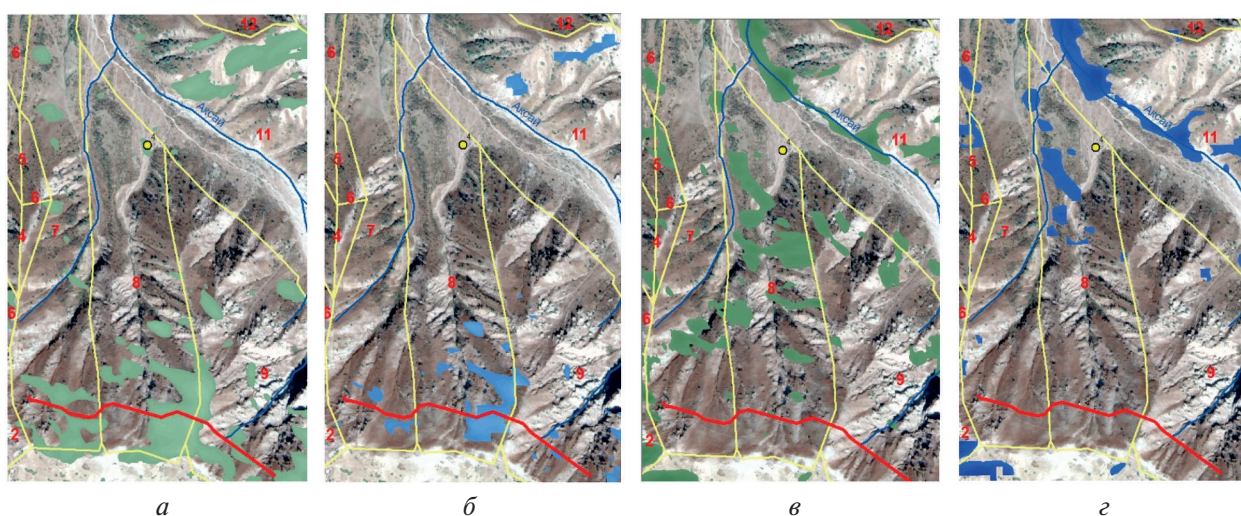


Рис. 3. Чимган (GRD_VV, 16.03.2023 минус 04.03.2023), нисходящая орбита съёмки: а — место отрыва лавины (светло-зелёный цвет); б — место отрыва лавины с учётом критерия уклона местности (голубой цвет); в — место остановки лавины (зелёный цвет); г — место остановки лавины с учётом критерия уклона местности (синий цвет)

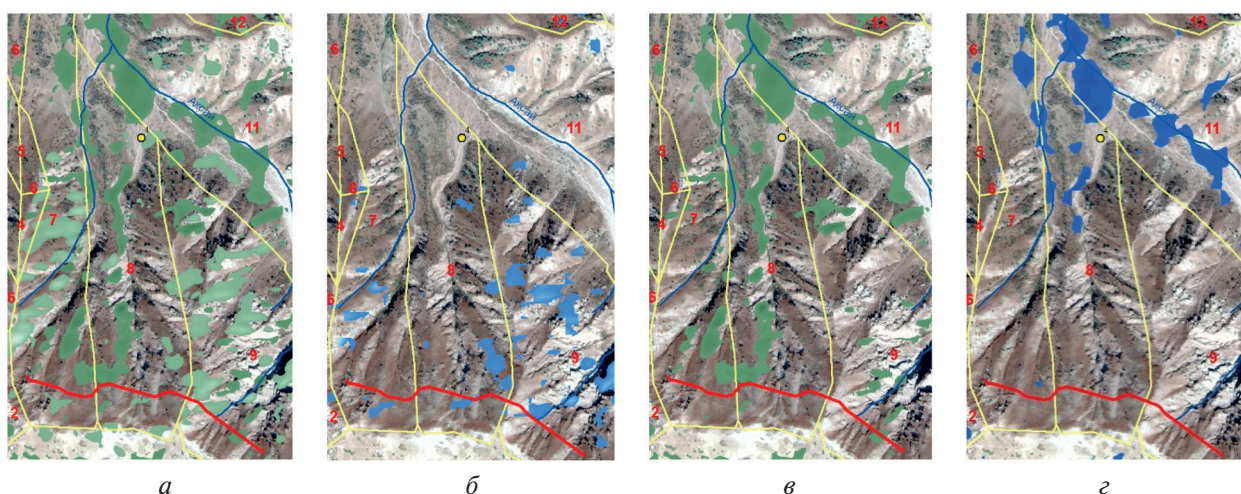


Рис. 4. Чимган (GRD_VV, 22.03.2023 минус 10.03.2023), восходящая орбита съёмки: а — место отрыва лавины (светло-зелёный цвет); б — место отрыва лавины с учётом критерия уклона местности (голубой цвет); в — место остановки лавины (зелёный цвет); г — место остановки лавины с учётом критерия уклона местности (синий цвет)

Таким образом, обработка радарных космических снимков Sentinel-1 типа GRD показала принципиальную возможность идентификации следов лавин в обеих поляризациях VV и VH. Достоверность идентификации следов снежных лавин существенно увеличивается, если применить параметры уклона местности как маску для отсеечения ложноположительных участков, которые с высокой вероятностью лавинами не являются.

Необходимо отметить, что ориентация склонов района исследований наиболее благоприятна для съёмки с нисходящей орбиты, что следует учесть при выборе космических снимков в последующих работах. Кроме того, перекрёстная поляризация съёмки (VH) наиболее удачно отражает зону отрыва и место остановки лавин. В дальнейших исследованиях предполагается также рассмотреть возможность оценки влажности и других свойств снега по данным радиолокационной съёмки, учитывая факт участившихся случаев схода весенних лавин мокрого снега в районе исследования.

Литература

1. Семакова Э.Р., Поторжинский М.Г., Сиетиня Е.И., Сафронов В.П. Опыт использования данных Sentinel-1 в задачах идентификации снежных лавин на космоснимках // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2023. Т. 4. № 1. С. 200–204. DOI: 10/33764/2618-981X-2023-4-1.
2. Eckerstorfer M., Vickers H., Malnes E. Snow avalanche activity monitoring from space: creating a complete avalanche activity dataset for a Norwegian forecasting region // Proc. Intern. Snow Science Workshop. Breckenridge, Colorado, 2016. P. 199–204.
3. Eckerstorfer M., Malnes E., Müller K. A complete snow avalanche activity record from a Norwegian forecasting region using Sentinel-1 satellite-radar data // Cold Regions Science and Technology. 2017. V. 144. P. 39–51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.08.004>.
4. Hafner E. D., Techel F., Leinss S., Bühler Y. Mapping avalanches with satellites — evaluation of performance and completeness // The Cryosphere. 2021. V. 15. P. 983–1004. <https://doi.org/10.5194/tc-15-983-2021>.

Preliminary results to the creation of methodological recommendations for monitoring snow avalanches in the spurs of the Western Tien-Shan based on Sentinel-1 images

E. R. Semakova, M. G. Potorjinskiy

*Ulugh Beg Astronomical Institute AS RUz, Tashkent 100052, Uzbekistan
E-mail: ella9sem@gmail.com*

A method for identifying snow avalanches based on available Sentinel-1 radar satellite images was developed for some avalanche catchments on the territory of the Chimgan Valley located in the spurs of the Western Tien Shan in Uzbekistan and which is well known by its ski resorts. The analysis was performed for data of various types, polarizations and orbit directions. The images were processed using SNAP (SeNtinel Application Platform) software and implemented calculation models in batch mode. In the context of a large avalanche event on March 11, 2023, all obtained variants of the results are presented in this work. The developed technique for recognizing avalanches in amplitude images made it possible to reliably identify traces of snow avalanches, their release zone and runout zone. To eliminate false positive detection of avalanche sites, the criterion of threshold values of slope in this territory was used as the main control factor of avalanching. From selected values of the terrain slope, two masks were generated (for the avalanche release zone and for the avalanche runout zone) which made it possible to identify snow avalanche cases with the highest probability.

Keywords: Sentinel-1 images, snow avalanches, mountainous areas of Uzbekistan, Chimgan Valley

Accepted: 19.12.2023

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-1-343-347

References

1. Semakova E. R., Potorginskiy M. G., Sietinya E. I., Safronov V. P., Experience in using Sentinel-1 data in the avalanche identification tasks on satellite images, *Interexpo GEO-Siberia*, 2023, Vol. 4, No. 1, pp. 200–204 (in Russian), DOI: 10/33764/2618-981X-2023-4-1.
2. Eckerstorfer M., Vickers H., Malnes E., Snow avalanche activity monitoring from space: creating a complete avalanche activity dataset for a Norwegian forecasting region, *Proc. Intern. Snow Science Workshop*, Breckenridge, Colorado, 2016, pp. 199–204.
3. Eckerstorfer M., Malnes E., Müller K., A complete snow avalanche activity record from a Norwegian forecasting region using Sentinel-1 satellite-radar data, *Cold Regions Science and Technology*, 2017, Vol. 144, pp. 39–51, <http://dx.doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.08.004>.
4. Hafner E. D., Techel F., Leinss S., Bühler Y., Mapping avalanches with satellites — evaluation of performance and completeness, *The Cryosphere*, 2021, Vol. 15, pp. 983–1004, <https://doi.org/10.5194/tc-15-983-2021>.