

Сход скальных пород на реке Бурее — 6 лет спутникового мониторинга

В. В. Суханова¹, А. В. Бородинская¹, Ю. А. Амелеченко¹, А. В. Кашницкий²

¹ *Дальневосточный центр НИЦ «Планета», Хабаровск, 680000, Россия
E-mail: ovp@dvrcpod.ru*

² *Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия
E-mail: kashnitskii@d902.iki.rssi.ru*

Настоящее сообщение посвящено шестилетнему спутниковому мониторингу последствий схода скальных пород на реке Бурее, произошедшего в декабре 2018 г. Основное внимание уделено анализу изменений морфометрических характеристик прорана, образовавшегося после обрушения, и их влиянию на гидрологический режим реки. Исследование основано на данных дистанционного зондирования Земли, полученных с помощью спутниковых систем, таких как Sentinel-2. Результаты показали, что процесс стабилизации склонов прорана завершился к 2022 г., а река Бурей сформировала новое русло. Кроме того, выявлены признаки образования горного озера плотинного происхождения в устье реки Средний Сандар, вызванного завальной плотиной из скальных обломков и донных наносов. Особое внимание уделено изменениям растительного покрова на склонах реки Средний Сандар, где уничтоженный лес начал постепенно восстанавливаться, о чём свидетельствуют значения индекса NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index). Также отмечены сезонные изменения гидрологического режима рек Средний Сандар, Большой Сандар и Малый Сандар, включая смещение сроков ледотаяния и замерзания. Исследование подтверждает эффективность спутникового мониторинга для оценки долгосрочных последствий природных катастроф и прогнозирования дальнейших изменений в регионе.

Ключевые слова: Бурейское водохранилище, река Бурей, река Средний Сандар, обрушение склонов, проран на Бурее, спутниковые системы наблюдения Земли, дистанционное зондирование

Одобрена к печати: 23.06.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-3-329-336

Прошло шесть лет с момента обнаружения схода скальных пород на реке Бурее. В течение нескольких лет разными научно-исследовательскими коллективами выдвигались различные сценарии дальнейшего развития ситуации в регионе, в том числе звучали предположения о затоплении села Чекунда, располагающегося выше по течению. Также высказывались гипотезы о возможных обрушениях на других участках русла. В этот же период были выявлены места возможных сходов оползневых массивов в зоне Бурейского водохранилища, где существует риск перекрытия русла реки Бурей с образованием завальной плотины. Сейчас интерес к произошедшему событию уже утих, однако наблюдения за зоной Бурейской аномалии и участками предполагаемых сходов оползневых массивов, проводимые Дальневосточным центром НИЦ «Планета» и Институтом космических исследований РАН (ИКИ РАН) с использованием данных различных спутниковых систем, не прекращаются.

Настоящая работа продолжает серию сообщений, посвящённых наблюдениям за зоной схода скальных пород на реке Бурее напротив места впадения в неё реки Средний Сандар в точке с координатами 50° 33' 38" с. ш. и 131° 28' 53" в. д. (Крамарева и др., 2018а, б, 2019а, б, 2020; Остроухов и др., 2019). Согласно ранее проведённому анализу, обрушение произошло 11 декабря 2018 г. примерно в 04:30 GMT (*англ.* Greenwich Mean Time), что привело к полному перекрытию русла реки Бурей и повлекло за собой значительное снижение притока воды в водохранилища Бурейской гидроэлектростанции. Также возникла угроза подтопления населённых пунктов Чекунда, Эльга и Усть-Ургал выше по течению реки. В связи с этим событием в регионе был введён режим чрезвычайной ситуации. Для пропуска воды

были проведены работы по частичной расчистке насыпи, в результате которых был сформирован проран с шириной: на входе в канал — 97 м, в самом узком месте — 48 м, на выходе из канала — 102 м. Длина канала по спрямлённой части составляла 271 м (Крамарева и др., 2019а, б, 2020).

Для измерений размеров прорана, сформировавшегося на сегодняшний день, были подобраны ретроспективные спутниковые изображения с одинаковыми уровнями на гидропосте Усть-Ниман за 2019–2024 гг. Оценивались линейные размеры канала на входе, в наиболее узком месте и на выходе из канала. На *рис. 1* приведён график, построенный на основе проведённых измерений. Из него видно, что с момента формирования прорана на входе канал уменьшился, а в узком месте и на выходе наоборот расширился. Следует отметить, что последние два года размеры канала меняются в небольших пределах. Таким образом, можно сделать вывод, что размыв сформированного в 2019 г. прорана продолжался до 2022 г., однако, учитывая наличие скалистых склонов, его интенсивность была крайне невелика. Уменьшение линейных размеров на входе показывает, что с обоих склонов прорана некоторое время продолжались небольшие осыпи из скальных обломков. Незначительная амплитуда изменений линейных размеров в последние два года указывает на то, что процесс стабилизации склонов прорана завершился и река сформировала новое русло.

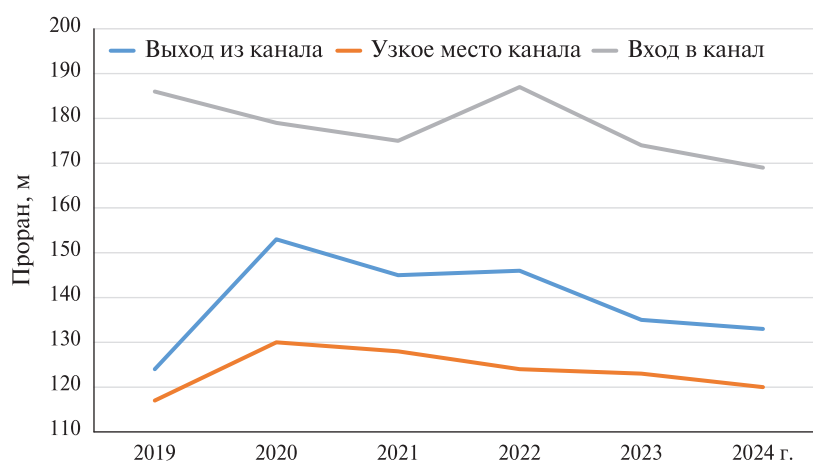


Рис. 1. Линейные размеры прорана в период 2019–2024 гг.

При этом каких-либо значительных изменений в гидрологическом режиме реки Буреи за прошедшее время не выявлено.

Наибольший интерес с точки зрения происходящих сейчас режимных изменений представляет река Средний Сандар. Как уже отмечалось в предыдущих сообщениях, сход скальных пород на реке Бурее вызвал изменения в сезонном гидрологическом режиме реки Средний Сандар. Согласно ранее проведённому анализу (Крамарева и др., 2020) было установлено, что в 2019 г. наблюдалось смещение сроков ледотаяния Среднего Сандара, а период полного очищения русла ото льда увеличился практически на месяц в сравнении со средними многолетними датами.

Наблюдения, проводимые за сроками очищения рек Большой Сандар, Средний Сандар и Малый Сандар в период 2020–2024 гг., позволили выявить, что очищение рек начиналось в третьей декаде апреля и заканчивалось во второй декаде мая. При этом таяние льда на реке Большой Сандар начиналось раньше на 8–12 дней, чем на реках Средний Сандар и Малый Сандар, а заканчивалось практически одновременно.

Особенности формирования ледяного покрова реки Средний Сандар, выявленные в 2019 г., сохраняются и в период 2020–2024 гг. По-прежнему полное замерзание Среднего Сандара происходит на 7–12 дней раньше, чем замерзание Большого Сандара и Малого Сандара.

Важно отметить, что завальная насыпь в устье реки Средний Сандар в настоящее время является главным руслоформирующим фактором. На *рис. 2* приведены изображения, полученные со спутника Sentinel-2A в период 2019–2024 гг., во время низких уровней воды на гидропосте Чекунда. На изображениях хорошо видно, что устье реки Средний Сандар полностью перекрыто завальной плотиной, образованной скальными обломками, стволами обрушившихся деревьев и донными наносами. На *рис. 3* (см. с. 332) представлены изображения устья реки Средний Сандар, когда отмечались высокие уровни на гидропосте Чекунда. На приведённых изображениях можно увидеть, что при высоких уровнях воды плотина полностью скрывается под водой, а над поверхностью воды видны только вершины двух самых больших скальных обломков. Примечательно изображение за 2024 г. (см. *рис. 3е*), на котором отчётливо видно, что вершины скальных обломков объединились в единое целое и выглядят как небольшой остров.

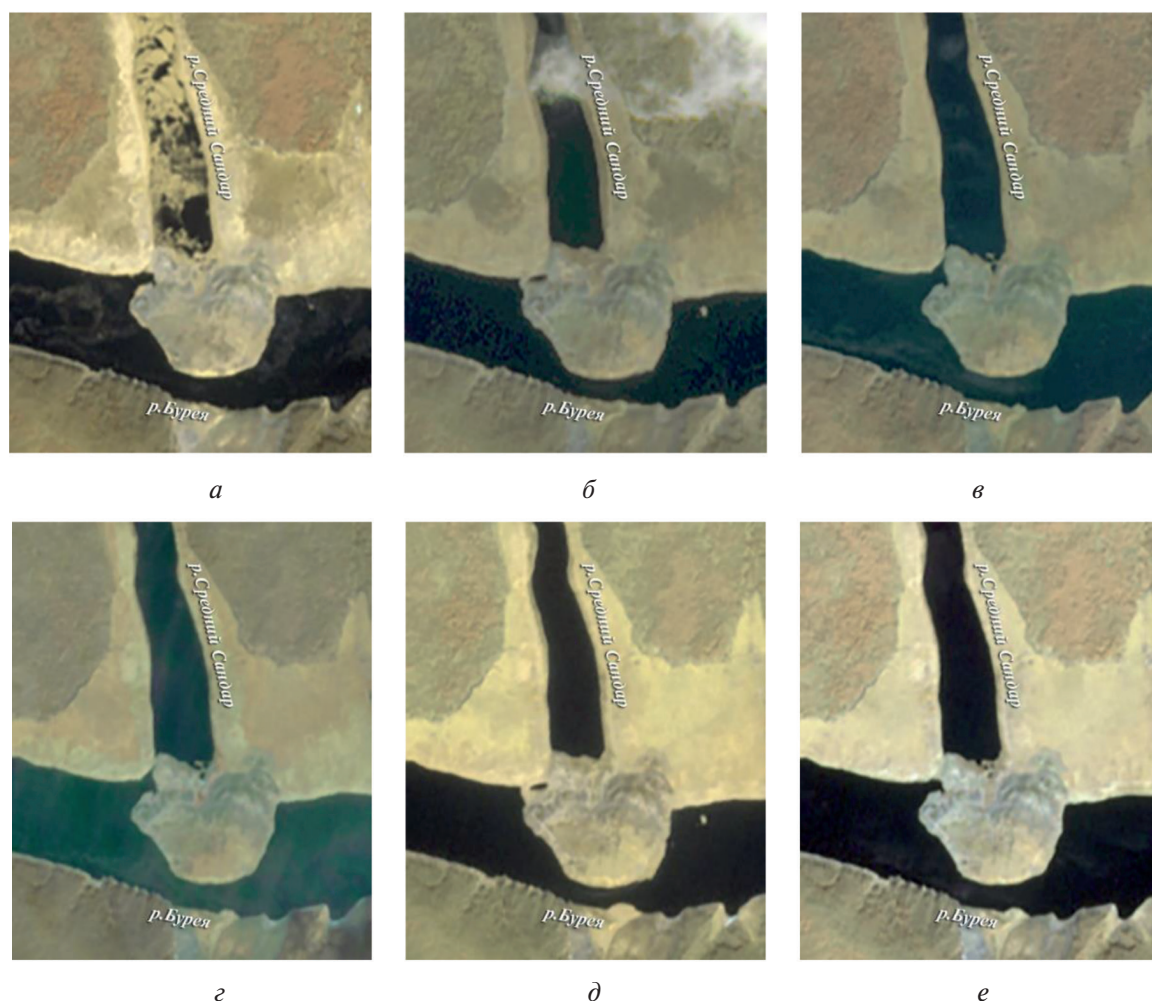


Рис. 2. Спутниковые изображения с ИСЗ Sentinel-2A. Синтез в «естественных» цветах: *а* — 13.05.2019; *б* — 15.05.2020; *в* — 22.05.2021; *г* — 17.05.2022; *д* — 12.05.2023; *е* — 16.05.2024

Описанная динамика также хорошо видна на данных, приведённых на *рис. 4* (см. с. 332), где представлена вероятность наблюдения водной поверхности за период с 1 мая по 30 сентября для разных лет по данным прибора MSI (англ. Multispectral Instrument) спутников Sentinel-2A/2B/2C. Вероятность была получена путём расчёта для каждого пикселя числа отнесений его к водной поверхности на основе продукта Dynamic World (Brown et al., 2022) по отношению к числу всех безоблачных измерений за период. Подробная схема расчёта данного продукта описана в работе (Кашницкий, Лупян, 2025).

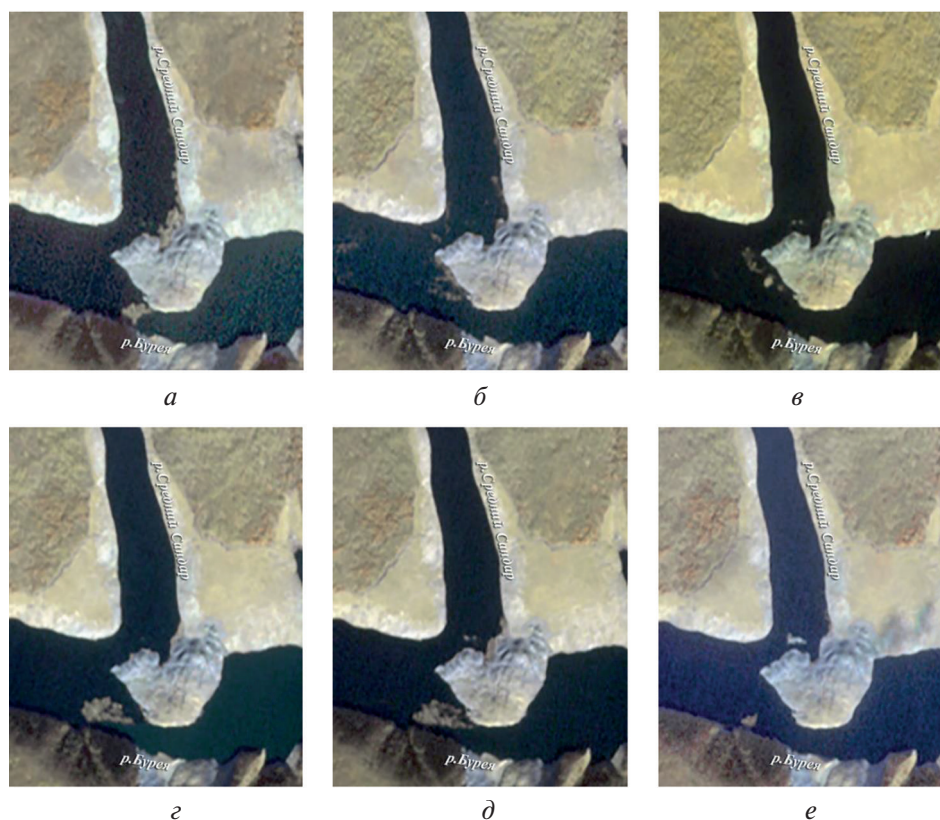


Рис. 3. Спутниковые изображения с ИСЗ Sentinel-2A. Синтез в естественных цветах: а — 13.10.2019; б — 09.10.2020; в — 04.10.2021; г — 07.10.2022; д — 09.10.2023; е — 08.10.2024

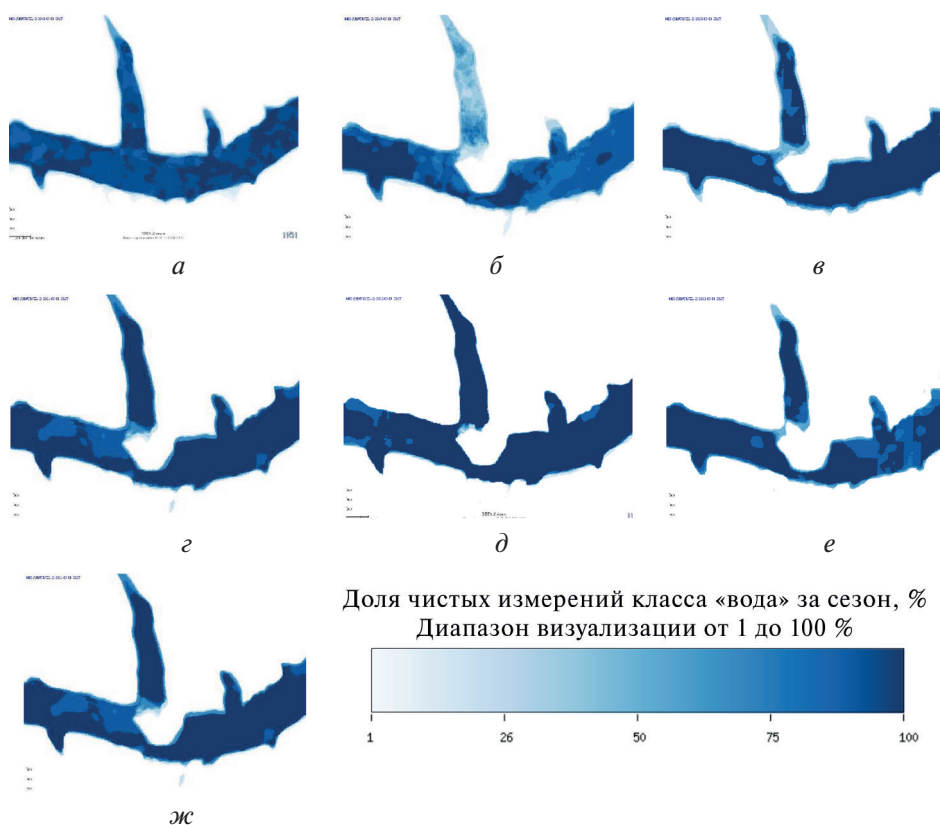


Рис. 4. Вероятность наблюдения водной поверхности за период с 1 мая по 30 сентября для разных лет: а — 2018; б — 2019; в — 2020; г — 2021; д — 2022; е — 2023; жс — 2024

Для визуального анализа изменений, происходящих в области обвала, с помощью возможностей системы «Вега-Science» (Лупян и др., 2011) с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019) и на основе данных прибора MSI спутников Sentinel-2A/2B/2C были построены анимации серий безоблачных десятидневных интерполированных композитов (Кашницкий и др., 2022) за период с 2019 по 2024 г., которые доступны для анализа по следующим адресам:

- <http://sci-vega.ru/animation/1748859574.webm> — синтез в естественных цветах;
- <http://sci-vega.ru/animation/1748859604.webm> — индекс NDVI (англ. Normalized Difference Vegetation Index).

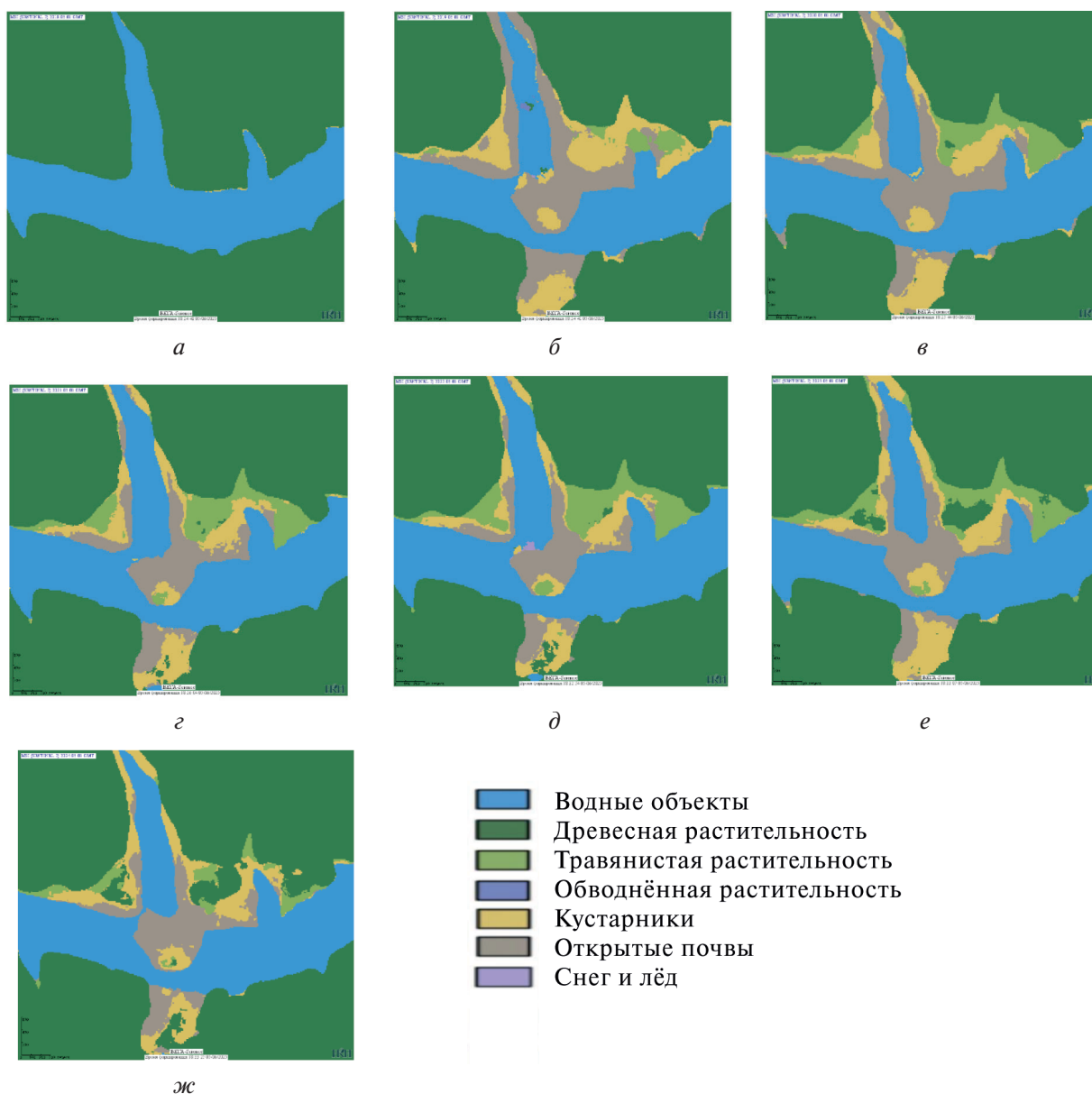


Рис. 5. Классификации на базе продукта Dynamic World типов наземного покрова до обвала и в каждый год после: а — 2018; б — 2019; в — 2020; г — 2021; д — 2022; е — 2023; ж — 2024

На рис. 5 приведены результаты классификации на базе продукта Dynamic World (Brown et al., 2022) типов наземного покрова до обвала и в каждый год после. Эти данные получены на основе классификации по девяти основным классам каждой сцены за период с 1 мая по 30 сентября. Итоговое значение за год получено путём вычисления наиболее

часто встречающего значения (Кашницкий, Лупян, 2025). Также были исключены классы, не встречающиеся на данной территории (постройки и сельскохозяйственные угодья).

На *рис. 6* представлены значения индекса NDVI в виде цветокодированной карты, где красные, оранжевые и жёлтые тона указывают на открытую почву или отмершую/разреженную растительность, а все оттенки зелёного свидетельствуют о нормальном или плотном растительном покрове. Значения индекса NDVI рассчитаны по данным спутника Sentinel-2A за 16 августа 2018 г., 6 августа 2019 г. и 14 августа 2024 г. До схода скальных пород склоны реки Средний Сандар были покрыты лесом, представленным в основном лиственницей и берёзой. Значения NDVI (см. *рис. 6а*) для леса такого типа составляют 0,6–0,8. Через полгода после события NDVI лежит в промежутке 0,05–0,07 (см. *рис. 6б*), что соответствует открытой почве, и показывают, что растительный покров полностью отсутствует. С течением времени обезлесенные участки склонов реки и сама насыпь начали покрываться растительностью. В 2024 г. значения индекса NDVI увеличились до 0,11–0,25, что говорит о появлении разреженной растительности. Анализируя представленные на *рис. 5* и *6* карты, можно увидеть, что уничтоженный в 2018 г. на большой территории склонов Среднего Сандара лесной покров с течением времени начал восстанавливаться, а на заторной плотине начал формироваться разреженный травянистый покров.

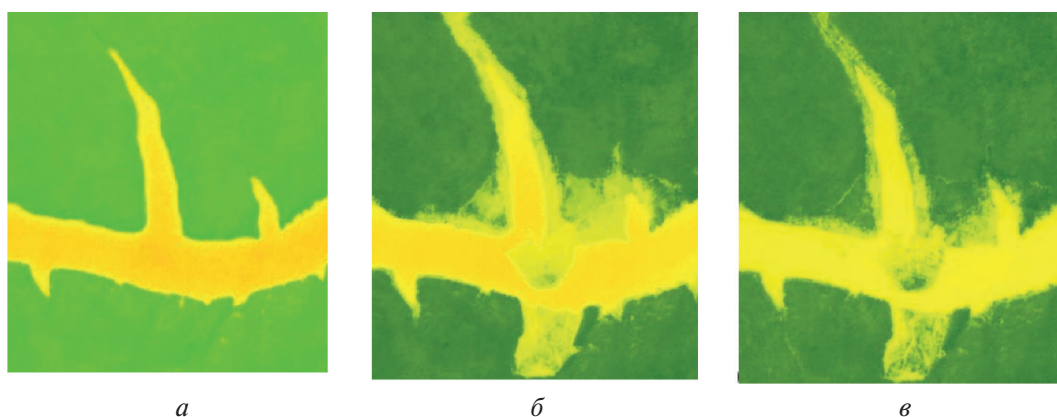


Рис. 6. Индекс NDVI с ИСЗ Sentinel-2A: *а* — 16.08.2018; *б* — 06.08.2019; *в* — 14.08.2024

С течением времени аккумуляция наносов на заторной плотине в устье реки Средний Сандар несомненно увеличится, что в свою очередь приведёт к увеличению растительности. Также увеличится растительность на склонах реки. Однако лиственницы здесь уже не вырастут, а произойдёт смена древесных пород на берёзовые насаждения, самосев которых устойчив к неблагоприятным колебаниям микроклимата, очень быстро растёт и превосходно конкурирует с бурно развивающейся травянистой растительностью.

С большой долей уверенности можно предположить, что с течением времени на месте реки Средний Сандар образуется горное озеро плотинного происхождения с пониженным стоком воды.

Для анализа спутниковых данных при подготовке сообщения использовались методики анализа пространственно-временных изменений морфометрических характеристик водных объектов суши, применяемые в Дальневосточном центре НИЦ «Планета». Представленные в статье информационные продукты на основе спутниковых данных были сформированы в рамках темы ИКИ РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8) на основе инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru/>).

Литература

1. *Кашницкий А. В., Луян Е. А.* Архив информационных продуктов о частоте наблюдения типов поверхности на основе данных спутников Sentinel-2 и возможности его применения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 2. С. 335–342. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-335-342.
2. *Кашницкий А. В., Бурцев М. А., Прошин А. А.* Технология создания безоблачных композитных изображений по данным спутников серии Sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С. 76–85. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-76-85.
3. *Крамарева Л. С., Луян Е. А., Амелченко Ю. А. и др.* (2018а) Наблюдение зоны обрушения сопки в районе реки Бурей 11 декабря 2018 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 7. С. 266–271. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-266-271.
4. *Крамарева Л. С., Суханова В. В., Филей А. А., Давиденко А. Н., Амелченко Ю. А., Бородинская А. В., Лотарева З. Н., Шапилова Ю. А., Слесаренко Л. А.* (2018б) Методики анализа пространственно-временных изменений морфометрических характеристик водных объектов суши, применяемые в Дальневосточном центре НИЦ «Планета» // 16-я Всероссийская открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: сб. тез. М: ИКИ РАН, 2018. С. 43.
5. *Крамарева Л. С., Луян Е. А., Амелченко Ю. А. и др.* (2019а) Наблюдение за ходом взрывных работ и устройством прорана в зоне схода скальных пород на реке Бурей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 259–265. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-259-265.
6. *Крамарева Л. С., Луян Е. А., Амелченко Ю. А. и др.* (2019б) Наблюдение за динамикой прорана, устроенного в зоне схода скальных пород на реке Бурей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2. С. 278–283. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-278-283.
7. *Крамарева Л. С., Суханова В. В., Бурцев М. А. и др.* Сход скальных пород на реке Бурей — год спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 271–276. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-271-276.
8. *Луян Е. А., Савин И. Ю., Барталев С. А., Толпин В. А., Балашов И. В., Плотников Д. Е.* Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190–198.
9. *Луян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А. и др.* Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
10. *Остроухов А. В., Ким В. И., Махинов А. Н.* Оценка морфометрических параметров оползня на Бурейском водохранилище и его последствий на основе ДДЗЗ и данных полевых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 254–258. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-254-258.
11. *Brown C. F., Brumby S. P., Guzder-Williams B. et al.* Dynamic World, near real-time global 10 m land use land cover mapping // Scientific Data. 2022. V. 9. Article 251. DOI: 10.1038/s41597-022-01307-4.

Rock collapse on the Bureya River — 6 years of satellite monitoring

V. V. Sukhanova¹, A. V. Boroditskaya¹, Yu. A. Amelchenko¹, A. V. Kashnitskii²

¹ Far Eastern Center of SRC “Planeta”, Khabarovsk 680000, Russia
E-mail: ovp@dvrcpod.ru

² Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia
E-mail: kashnitskii@d902.iki.rssi.ru

The paper presents the results of a six-year satellite monitoring study of the aftermath of the December 2018 rock avalanche on the Bureya River. The primary focus is on analyzing changes in the morphometric characteristics of the breach formed after the collapse and their impact on the river's hydrologi-

cal regime. The research is based on Earth remote sensing data obtained from satellite systems such as Sentinel-2. The results indicate that the slope stabilization process in the breach completed by 2022, and the Bureya River formed a new channel. Additionally, signs of a landslide-dammed mountain lake formation were identified at the mouth of the Sredny Sandar River, caused by a debris dam composed of rock fragments and bottom sediments. Special attention is given to changes in vegetation cover on the slopes of the Sredny Sandar River, where the destroyed forest has gradually begun to recover, as evidenced by NDVI values. Seasonal variations in the hydrological regimes of the Sredny Sandar, Bolshoy Sandar, and Maly Sandar rivers were also noted, including shifts in ice melt and freeze-up periods. The study confirms the effectiveness of satellite monitoring for assessing the long-term consequences of natural disasters and predicting further changes in the region.

Keywords: Bureya River, Sredny Sandar River, collapse slopes, Bureya River canal, satellite systems for Earth observation, remote sensing

Accepted: 23.06.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-3-329-336

Reference

1. Kashnitskii A. V., Loupian E. A., Archive of information products on surface type observation frequency based on Sentinel-2 data and its possible applications, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2025, V. 22, No. 2, pp. 335–342 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-335-342.
2. Kashnitsky A. V., Burtsev M. A., Proshin A. A., Technology for creating cloud-free composite images using Sentinel-2 satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, V. 19, No. 5, pp. 76–85, DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-76-85.
3. Kramareva L. S., Loupian E. A., Amelchenko Yu. A. et al. (2018a), Observation of the hill collapse zone near the Bureya River on December 11, 2018, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, V. 15, No. 7, pp. 266–271 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-266-271.
4. Kramareva L. S., Sukhanova V. V., Filei A. A., Davidenko A. N., Amelchenko Yu. A., Boroditskaya A. V., Lotareva Z. N., Shamilova Yu. A., Slesarenko L. A. (2018b), Methods of inland water bodies morphometric parameters spatial and temporal dynamics analysis used in the Far-Eastern Center of SRC “Planeta”, *16-ya Vserossiiskaya otkrytaya konferentsiya “Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa”: sbornik tezisev* (16th All-Russia Open Conf. “Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space”: Book of abstracts), Moscow: IKI RAN, 2018, p. 43 (in Russian).
5. Kramareva L. S., Loupian E. A., Amelchenko Yu. A. et al. (2019a), Observing the progress of blasting operations and channeling in the area of the rock slide on the Bureya River, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, V. 16, No. 1, pp. 259–265 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-259-265.
6. Kramareva L. S., Loupian E. A., Amelchenko Yu. A. et al. (2019b), Dynamics of the channel on the Bureya River in the hill slope collapse area, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, V. 16, No. 2, pp. 278–283 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-278-283.
7. Kramareva L. S., Sukhanova V. V., Bourtsev M. A. et al., Rock collapse on the Bureya River — the year of satellite monitoring, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, V. 17, No. 1, pp. 271–276 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-271-276.
8. Loupian E. A., Savin I. Yu., Bartalev S. A., Tolpin V. A., Balashov I. V., Plotnikov D. E., Satellite service for vegetation monitoring VEGA, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, V. 8, No. 1, pp. 190–198 (in Russian).
9. Loupian E. A., Proshin A. A., Bourtsev M. A. et al., Experience of development and operating of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, V. 16, No. 3, pp. 151–170 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
10. Ostroukhov A. V., Kim V. I., Makhinov A. N., Estimation of the morphometric parameters of the landslide on the Bureyskoe Reservoir and its consequences on the basis of remote sensing data and field measurements, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, V. 16, No. 1, pp. 254–258 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-254-258.
11. Brown C. F., Brumby S. P., Guzder-Williams B. et al., Dynamic World, near real-time global 10 m land use land cover mapping, *Scientific Data*, 2022, V. 9, Article 251, DOI: 10.1038/s41597-022-01307-4.