## Наблюдение за динамикой прорана, устроенного в зоне схода скальных пород на реке Бурея

Л. С. Крамарева<sup>1</sup>, Е.А. Лупян<sup>2</sup>, Ю.А. Амельченко<sup>1</sup>, М. Ю. Беляев<sup>3</sup>, М.А. Бурцев<sup>2</sup>, В. В. Суханова<sup>1</sup>, Ю.А. Шамилова<sup>1</sup>, А. М. Есаков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Дальневосточный центр НИЦ «Планета», Хабаровск, 680673, Россия E-mail: ovp@dvrcpod.ru

<sup>2</sup> Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия E-mail: smis@smis.iki.rssi.ru

<sup>3</sup> Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королёва Королёв, Московская обл., 141070, Россия E-mail: post@rsce.ru

Сообщение посвящено анализу наблюдений за динамикой прорана, устроенного в месте обрушения сопки и схода скальных пород в р. Бурея напротив места впадения в неё р. Средний Сандар в точке с координатами 50° 33' 38" с. ш. и 131° 28' 53" в. д. Согласно ранее проведённому анализу, обрушение произошло 11 декабря 2018 г. примерно в 4:30 GMT, что привело к полному перекрытию русла р. Бурея. Для снятия угрозы подтопления населённых пунктов, расположенных выше по течению, было принято решение о частичной расчистке завала и формировании прорана (канала) для пропуска воды. Работы по устройству прорана велись в период с 21 января по 12 февраля 2019 г. Проран позволил частично освободить русло р. Бурея. Настоящее сообщение посвящено анализу состояния прорана на конец апреля 2019 г. Отмечается, что с начала марта 2019 г. происходит постоянное изменение формы канала и уменьшение его ширины. В работе приведены данные об изменении формы и ширины канала на основе информации, получаемой со спутников Sentinel-2 и МКС, и проведена оценка его параметров. Показано, что уровень воды в р. Бурея ниже завала снова начал падать. В момент подготовки сообщения перепад уровня воды выше и ниже обвала составляет около 10 м. Это связано с активным «засорением» канала осыпающимися стенками и снижением его пропускной способности. В настоящее время проран по всей длине представляет собой мелководье, напоминающее перекат. Отмечается, что наблюдаемые в районе прорана процессы, безусловно, требуют продолжения постоянного мониторинга не только за зоной схода скальных пород, но и за участками выше по течению реки.

**Ключевые слова:** Бурейское водохранилище, река Бурея, обрушение склонов, спутниковые системы наблюдения Земли, дистанционное зондирование

Одобрена к печати: 29.04.2019 DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-278-283

Настоящая работа продолжает серию сообщений, посвящённых наблюдениям за зоной схода скальных пород на р. Бурея (Крамарева и др., 2018а, 2019; Остроухов и др., 2019). Сообщение посвящено анализу наблюдений за динамикой прорана\*, устроенного в месте обрушения сопки и схода скальных пород в р. Бурея напротив места впадения в неё р. Средний Сандар в точке с координатами 50° 33' 38" с. ш. и 131° 28' 53" в.д. Согласно ранее проведённому анализу, обрушение произошло 11 декабря 2018 г. примерно в 4:30 GMT, что привело к полному перекрытию русла р. Бурея. Из-за увеличивающегося роста перепада уровней воды между верхней и нижней границами обвала и возникшей угрозы подтопления населённых пунктов Чекунда, Эльга и Усть-Ургал выше по течению реки было принято решение о частичной расчистке насыпи и формировании в ней прорана для пропуска воды. Работы по устройству прорана велись в период с 21 января по 12 февраля 2019 г. На момент окончания работ был сделан 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. Проран позволил частично освободить русло р. Бурея и снизить перепад уровня воды между верхней и нижней границами обвала и для, 2019).

<sup>\*</sup> Проран — свободная (не перекрытая) часть русла реки, предназначенная для пропуска воды реки.

Дальневосточный центр НИЦ «Планета» и Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН) с момента обнаружения события проводят постоянный мониторинг этого района на основе спутниковых наблюдений с использованием данных различных спутниковых систем. Для анализа наблюдений за динамикой прорана также были привлечены данные, полученные с МКС.

По данным полевых наблюдений было установлено, что стенки прорана неоднородные, вследствие чего происходят камнепады и осыпание (Остроухов и др., 2019). Дальнейшее осыпание стенок канала и начавшиеся весенние процессы вскрытия рек, сопровождающиеся ледоходом, ускорили снижение пропускной способности прорана. Уменьшение ширины канала на входе было зафиксировано с начала марта 2019 г. по данным спутников Sentinel-2. Постепенно форма канала менялась и его ширина уменьшалась. Значительные изменения формы и ширины канала хорошо видны на изображениях, приведённых на *рис. 1*. В настоящее время канал визуально напоминает форму бутылочного горла. Измерение линейных размеров производилось по данным съёмки, полученной с МКС 11.04.2019 в 06:55 GMT (эксперимент «Ураган», см. (Беляев и др., 2014)), с пространственным разрешением примерно 2 м. Полученные результаты: ширина на входе в канал — 24 м, в самом узком месте — 20 м, на выходе — 34 м. С учётом изменения формы канала его длина на момент измерения составила примерно 370 м. При этом отмечено, что вход в канал сместился на 20 м в восточном направлении, а выход — на 90 м в западном по сравнению с положением, которое было зафиксировано по данным спутника Sentinel-2A 12.02.2019.



*Рис. 1.* Изменение формы канала по данным ИСЗ Sentinel-2A. Цветосинтез R (640–680 мкм), G (542–517 мкм), B (456–523 мкм)

Падение уровня воды ниже завала можно проследить по анализу разновременных наблюдений, полученных со спутника Sentinel-2A 12.02.2019 и 26.04.2019. На *рис. 2* (см. с. 280) хорошо просматривается зона берега ниже завала и в канале, обнажившаяся вследствие падения воды (выделена красным). Отступление правого, более пологого берега р. Бурея, оценённое с использованием наблюдений МКС, составило порядка 20–30 м. Оценки на основе анализируемой спутниковой информации и данных ЦМР ASTER v2 показывают, что на момент подготовки сообщения перепад уровня воды ниже завала понизился примерно на 10 м по сравнению с уровнем, который наблюдался ранее. Это, в принципе, согласуется с данными наземных наблюдений (на 25.04.2019 — 9,95 м, на 29.04.2019 — 10,47 м). Таким образом, перепад уровня воды до и после завала снова начал повышаться. Это связано с активным «засорением» канала осыпающимися стенками и снижением его пропускной способности.



*Рис. 2.* Цветосинтез данных, полученных спутником Sentinel-2A 12.02.2019 и 26.04.2019. R-канал 785–790 мкм. R — наблюдения 26.04.2019; G, B — наблюдения 12.02.2019





*Рис. 3.* Снимок с МКС 11.04.2019 (*a*); снимки Амурского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов, полученные с помощью БЛА (*б*, *в*)

Более детальный анализ района проводился по снимкам, полученным с МКС (рис. 3, см. с. 280). Для работы с изображениями были проведены процедуры улучшения качества. Выявлено, что ширина канала уменьшилась: по-видимому, за счёт осыпавшегося грунта с берега реки и образования новой стенки канала. Судя по явно наблюдающемуся бурлению воды в канале, произошло значительное уменьшение глубины. В настоящее время проран по всей длине представляет собой мелководье, напоминающее перекат. На изображениях, полученных со спутников Sentinel-2, вспенившуюся воду на образовавшемся перекате можно принять за куски льда, полностью забившие проран, однако на снимках МКС (см. puc. 3a) чётко читается бурление реки, вызванное большим течением на мелководье. Это подтверждают данные съёмки зоны прорана Амурского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов, полученные БЛА (см. рис. 36, в). Кроме этого, на берегу вдоль стенки срыва оползневого тела просматриваются трещины (см. рис. Зв). Наличие трещин на берегу вдоль стенки срыва оползневого тела, активное развитие весенних процессов, повышение температур воздуха и увеличение перепада уровня воды выше и ниже обвала может привести к дальнейшему сползанию берега. Как следствие, возможно повторное перегораживание русла р. Бурея.

В заключение отметим, что наблюдаемые в районе прорана процессы, безусловно, требуют продолжения постоянного мониторинга не только за зоной схода скальных пород, но и за участками выше по течению реки.

Для анализа спутниковых данных при подготовке сообщения использовались методики анализа пространственно-временных изменений морфометрических характеристик водных объектов суши, применяемые в Дальневосточном центре НИЦ «Планета» (Крамарева и др., 2018б), а также инструменты, предоставляемые системой Вега-Science (Барталев и др., 2016; Лупян и др., 2011), входящей в состав центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015), развиваемые и поддерживаемые в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164). Данные спутника Нітаwari-8 принимаются и обрабатываются Дальневосточным центром НИЦ «Планета» (http://www.dvrcpod.ru) с использованием возможностей Объединённой системы работы с данными центров НИЦ «Планета» (Лупян и др., 2014).

## Литература

- 1. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
- 2. Беляев Б. И., Беляев М. Ю., Десинов Л. В., Катковский Л. В., Крот Ю. А., Сармин Э. Э. Результаты испытаний фотоспектральной системы на МКС // Исследование Земли из космоса. 2014. № 6. С. 27–39.
- 3. Крамарева Л. С., Лупян Е.А., Амельченко Ю.А., Бурцев М.А., Крашенинникова Ю.С., Суханова В.В., Шамилова Ю.А. (2018а) Наблюдение зоны обрушения сопки в районе реки Бурея 11 декабря 2018 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 7. С. 266–271.
- 4. Крамарева Л. С., Суханова В. В., Филей А. А., Давиденко А. Н., Амельченко Ю. А., Бородицкая А. В., Лотарева З. Н., Шамилова Ю. А., Слесаренко Л. А. (2018б) Методики анализа пространственновременных изменений морфометрических характеристик водных объектов суши, применяемые в Дальневосточном центре НИЦ «Планета» // 16-я Всерос. открытая конф. «Современные проблемы Д33 из космоса»: сб. тез. Москва, 12–16 ноября 2018. М: ИКИ РАН, 2018. С. 43.
- 5. Крамарева Л. С., Лупян Е.А., Амельченко Ю.А., Бурцев М.А., Крашенинникова Ю. С., Суханова В.В., Шамилова Ю.А., Бородицкая А.В. Наблюдение за ходом взрывных работ и устройством прорана в зоне схода скальных пород на реке Бурея // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 259–265.
- 6. Лупян 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.

- 7. Лупян Е.А., Милехин О. Е., Антонов В. Н., Крамарева Л. С., Бурцев М.А., Балашов И.В., Толпин В.А., Соловьев В. И. Система работы с объединенными информационными ресурсами, получаемыми на основе спутниковых данных в центрах НИЦ «Планета» // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 89–97.
- 8. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 247–267.
- 9. Остроухов А. В., Ким В. И., Махинов А. Н. Оценка морфометрических параметров оползня на Буреинском 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.

## Dynamics of the channel on the Bureya River in the hill slope collapse area

L. S. Kramareva<sup>1</sup>, E. A. Loupian<sup>2</sup>, Yu. A. Amelchenko<sup>1</sup>, M. Yu. Belyaev<sup>3</sup>, M. A. Burtsev<sup>2</sup>, V. V. Sukhanova<sup>1</sup>, Yu. A. Shamilova<sup>1</sup>, A. M. Esakov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Far-Eastern Center of SRC "Planeta", Khabarovsk 680000, Russia E-mail: ovp@dvrcpod.ru

<sup>2</sup> Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia E-mail: evgeny@smis.iki.rssi.ru

<sup>3</sup> S. P. Korolev Rocket and Space Corporation "Energia" Korolev, Moscow Region 141070, Russia E-mail: post@rsce.ru

The report presents an analysis of the dynamics of the channel made in the hill slope collapse area on the Bureya River at the mouth of the Sredny Sandar River at 50° 33′ 38″ N, 131° 28′ 53″ E. According to the previous analysis, the collapse happened on December 11, 2018, at approximately 04:30 GMT, and totally dammed the Bureya River. To mitigate danger of flooding the populated areas upstream, it was decided to partially remove the dam by setting up a channel in it. The channel was set up during the period from January 21 to February 12, 2019, and partially freed the riverbed. This report analyzes the channel condition at the end of April, 2019. It shows that since the beginning of March, the width of the channel has decreased and its shape has continuously changed. The change parameters and estimates are derived from Sentinel-2 and ISS data. The analysis shows that water level downstream the dam has been on the decrease again. At the time of report preparation, the upstream/downstream water level difference was about ten meters. It is caused by fast clogging of the channel by the crumbling channel walls and hence channel passage capacity decrease. At present, the whole length of the channel appears shallow and riffled. The observed processes obviously indicate the necessity of continuous monitoring both the channel area and upstream.

Keywords: Bureya Reservoir, Bureya River, slope collapse, Earth observation satellite systems, Earth remote sensing

Accepted: 29.04.2019 DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-278-283

## References

- 1. Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Shabanov N.V., *Sputnikovoe kartografirovanie rastitel'nogo pokrova Rossii* (Land cover mapping over Russia using Earth observation data), Moscow, IKI RAN, 2016, 208 p.
- Belyaev B. I., Belyaev M. Yu., Desinov L. V., Katkovsky L. V., Krot Yu. A., Sarmin E. E., Rezul'taty ispytanii fotospektral'noi sistemy na MKS (Photospectral system test results on ISS), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2014, No. 6, pp. 27–39.
- 3. Kramareva L. S., Loupian E. A., Amelchenko Yu. A., Burtsev M. A., Krasheninnikova Yu. S., Sukhanova V. V., Shamilova Yu. A. (2018a), Nablyudenie zony obrusheniya sopki v raione reki Bureya 11 dekabrya 2018 goda (Observation of the hill collapse zone near the Bureya River on December 11, 2018), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 7, pp. 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), Metodiki analiza prostranstvenno-vremennykh izmenenii morfometricheskikh kharakteristik vodnykh ob"ektov sushi, primenyaemye v Dal'nevostochnom tsentre NITs "Planeta" (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"* (The 16<sup>th</sup> All-Russia Open Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), Book of Abstracts, Moscow, 12–16 Nov. 2018, Moscow: IKI RAN, 2018, p. 43.
- 5. Kramareva L. S., Loupian E. A., Amelchenko I. A., Burtsev M. A., Krasheninnikova Yu. S., Sukhanova V. V., Shamilova I. A., Boroditskaya A. V., Nablyudenie za khodom vzryvnykh rabot i ustroistvom prorana v zone skhoda skal'nykh porod na reke Bureya (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, Vol. 16, No. 1, pp. 259–265.
- 6. Loupian E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E., Sputnikovyi servis monitoringa sostoyaniya rastitel'nosti ("VEGA") (Satellite Service for Vegetation Monitoring VEGA), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 190–198.
- Loupian E.A., Milekhin O. E., Antonov V.N., Kramareva L.S., Burtsev M.A., Balashov I.V., Tolpin V.A., Solov'ev V.I., Sistema raboty s ob"edinennymi informatsionnymi resursami, poluchaemymi na osnove sputnikovykh dannykh v tsentrakh NITs "Planeta" (System of operation of joint information resources based on satellite data in the Planeta Research Centers for Space Hydrometeorology), *Meteorologiya i gidrologiya*, 2014, No. 12, pp. 89–97.
- Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Kashnitskiy A.V., Mazurov A.A., Matveev A. M., Sudneva O.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Tsentr kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushchei sredy (IKI center for collective use of satellite data archiving,processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 263–284.
- 9. Ostroukhov A. V., Kim V. I., Makhinov A. N., Otsenka morfometricheskikh parametrov opolznya na Bureinskom vodokhranilishche i ego posledstvii na osnove DDZZ i dannykh polevykh izmerenii (Estimation of the morphometric parameters of the landslide on the Bureinskoe Reservoir and its consequences on the basis of remote sensing data and field measurements), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 1, pp. 254–258.