

Экспресс-оценка последствий наводнений по некоммерческим спутниковым данным на примере анализа локальных очагов катастрофического паводка в Республике Дагестан весной 2026 г.

М. В. Врублевский

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

В условиях быстро развивающихся стихийных бедствий критическое значение приобретает не только точность, но и оперативность оценок для своевременного принятия решений и первичного определения объёма нанесённого ущерба. Оперативно низкокзатратно и для обширных территорий выявить пострадавшие районы, а также оценить последствия опасных явлений позволяют открытые спутниковые данные. Цель данной работы состоит в анализе возможностей оперативной оценки зон затопления, локальных очагов разрушений и их последствий с использованием некоммерческих, свободно распространяемых данных дистанционного зондирования Земли на примере катастрофического паводка на территории Республики Дагестан в марте – апреле 2026 г. Ливневые дожди в этот период привели к подтоплению городских и сельских территорий, разрушению жилых строений, обвалам, оползням, прорыву земляного вала Геджухского водохранилища, размыву дорог, повреждению мостов и городской инфраструктуры в республике. В работе приведены примеры результатов первичной оценки последствий данного паводка.

Ключевые слова: наводнения, спутниковый мониторинг, открытые спутниковые данные, спутниковая альтиметрия, Sentinel-3, Sentinel-6, Sentinel-2, Landsat, Sentinel-1, «Метеор-М», Республика Дагестан

Одобрена к печати: 24.04.2026

DOI: 10.21046/2070-7401-2026-23-2-415-423

Введение

Мониторинг наводнений и оценка их последствий остаются одними из наиболее актуальных задач для районов с высокой паводковой опасностью. В условиях быстро развивающихся стихийных бедствий критическое значение приобретает не только точность, но и оперативность оценок для своевременного принятия решений и первичного определения объёма нанесённого ущерба. Методы наземного обследования уступают по временным затратам спутниковым по причинам существенных масштабов явлений и зачастую возникающей транспортной недоступности отдельных территорий. Оперативно низкокзатратно и для обширных территорий выявить пострадавшие районы, а также оценить последствия опасных явлений позволяют открытые спутниковые данные.

Цель данной работы заключается в анализе и демонстрации возможностей оперативной оценки зон затопления, локальных очагов разрушений и их последствий с использованием некоммерческих (свободно распространяемых) спутниковых данных на примере катастрофического паводка на территории Республики Дагестан в марте – апреле 2026 г.

Весной 2026 г. в Дагестане ливневые дожди привели к подтоплению городских и сельских территорий, разрушению жилых строений, обвалам, оползням, прорыву земляного вала Геджухского водохранилища, размыву дорог, повреждению мостов (<https://ria.ru/20260328/most-2083484838.html>) и городской инфраструктуры. Власти республики ввели режим чрезвычайной ситуации в крупных городах и районах региона (<https://ria.ru/20260330/chs-2083862933.html>). Сообщается о более 6000 пострадавших и даже о погибших (<https://www.kp.ru/daily/27773.5/5235245/>).

Анализ последствий паводка, вызванного ливневыми дождями, в Республике Дагестан весной 2026 г., осуществлённый по спутниковым данным, продемонстрировал возможности экспресс-оценки последствий этого события за счёт оперативной обработки данных. Приведённые результаты могут быть использованы для принятия управленческих решений и первичной оценки ущерба.

Спутниковые данные, использованные в работе

Для проведения анализа в работе использовались:

- измерения уровня воды, выполняемые с помощью радиолокационной альтиметрии миссий высокого пространственного разрешения (300 м) Sentinel-3 и Sentinel-6;
- радиолокационные изображения (РЛИ) (10 м) радиолокатора с синтезированной апертурой C-SAR (*англ.* C-band Synthetic Aperture Radar) Sentinel-1;
- данные высокого пространственного разрешения (от 10 до 60 м) оптических сенсоров аппаратов как зарубежных: MSI (*англ.* Multispectral Instrument) Sentinel-2, OLI (*англ.* Operational Land Imager) и TIRS (*англ.* Thermal Infrared Sensor) Landsat, так и отечественных: КМСС (Комплекс многозональной спутниковой съёмки) «Метеор-М».

Исследование основано на упомянутых спутниковых оптических данных уровня обработки L2A (BOA (*англ.* bottom of atmosphere)), прошедших атмосферную коррекцию и радиометрическую калибровку. Для отделения суши от воды по данным оптической съёмки был рассчитан модифицированный нормализованный разностный водный индекс MNDWI (*англ.* Modified Normalized Difference Water Index). Для маскирования облачности использованы данные классификации сцен Sentinel-2 SCL (*англ.* Scene Classification Layer).

Для измерений уровня воды применены данные Sentinel-3 и Sentinel-6, позволяющие осуществлять мониторинг в том числе узких участков рек (шириной менее 100 м), даже в горных районах, с точностью до нескольких дециметров (например, (Chen et al., 2023; Deidda et al., 2021; Fang et al., 2025; Halicki, Niedzielski, 2022; Jiang et al., 2020)).

Вода на радиолокационных изображениях имеет низкие значения коэффициентов обратного рассеяния из-за зеркального отражения сигнала, что позволяет чётко отделять её от суши, вследствие чего широко применяется для проведения мониторинга внутренних водоёмов и зон затопления (Henry et al., 2006; Martinis et al., 2015).

Выбор указанных данных обусловлен наилучшим пространственным разрешением среди находящихся в открытом доступе данных.

Поиск, обработка и анализ данных осуществлялся с помощью возможностей и инструментов системы «Вега-Гидро» (Бурцев и др., 2024) и инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019).

Гидрометеорологическая обстановка в Республике Дагестан в период март – апрель 2026 г.

В первую очередь необходимо подчеркнуть уникальность анализируемого события. По данным Росгидромета, интенсивность осадков превысила среднестатистические показатели: повторяемость таких явлений — раз в 10 лет (<https://www.interfax.ru/russia/1081197>). В результате существенно повысился уровень воды в реках. Согласно данным спутниковой альтиметрии, 06.04.2026, в даты апрельского наводнения в Дагестане в 2026 г. для реки Терек был зарегистрирован максимальный уровень воды за весь период альтиметрических наблюдений начиная с 2016 г. (*рис. 1*, см. с. 417). На достоверность полученной информации указывает оценка архивных альтиметрических измерений по данным наземных наблюдений от автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО): коэффициент корреляции Пирсона составил 0,92, среднеквадратическая ошибка — 0,27 м и коэффициент эффективности Нэша – Сатклиффа — 0,74.



Рис. 1. Уровень воды реки Терек. Синим цветом показаны архивные данные АИС ГМВО, измеренные на наземном гидропосте; красным — данные альтиметрии

Повышение уровня воды в реках Дагестана вследствие ливней вызвало выход рек из берегов, а также повысило нагрузку на Геджухское водохранилище, что стало причиной прорыва земляного вала, размыва дорог, разрушения переправ и автомобильных и железнодорожных мостов (согласно данным СМИ). Далее рассмотрим последствия некоторых перечисленных событий, регистрируемых с помощью открытых спутниковых данных.

Последствия наводнения в Дагестане в марте – апреле 2026 г.

Разрушение гидротехнических сооружений: последствия прорыва земляного вала Геджухского водохранилища

Тем временем 5 апреля произошёл прорыв земляного вала Геджухского водохранилища (<https://www.rbc.ru/society/08/04/2026/69d532519a79470eec02daa4>). Как видно по данным съёмки Sentinel-1A, проведённой в ближайшие даты к 5 апреля, площадь Геджухского водохранилища сократилась с 40 до 22 га 06.04.2026 к 02:52:23 (рис. 2а, б, см. с. 418). По данным съёмки «Метеор-М» 09.04.2026 наблюдается преобладание открытых почв (ила) над водой (см. рис. 2г). Сокращение площади водного зеркала к 17.04.2026 в 10 раз по данным Sentinel-2 (см. рис. 2в, д) свидетельствует о потере как минимум 90 % полезного объёма водохранилища, который оценивается в 1 млн м³ (<https://www.rbc.ru/society/08/04/2026/69d532519a79470eec02daa4>). Также по данным Sentinel-2 от 17.04.2026 можно заключить, что размер разрушенной части земляного вала около 50–60 м (см. рис. 2д).

Затопление речных пойм и сельскохозяйственных земель

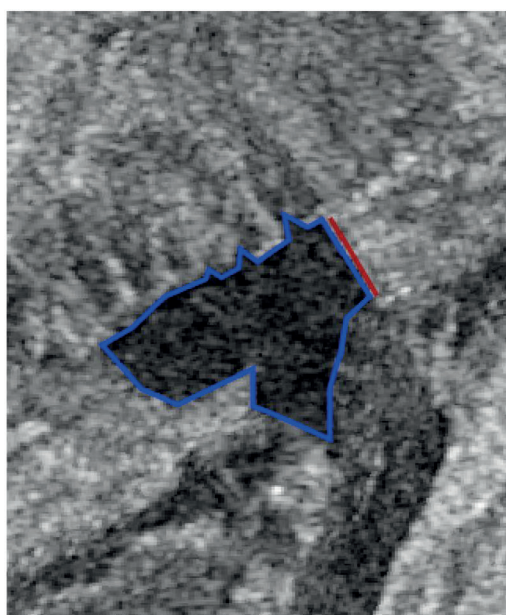
После прорыва земляного вала наиболее пострадавшими районами стали окрестности посёлка Мамедкала (<https://gia.ru/20260412/sk-2086659728.html>), что определилось рельефом местности (посёлок находится ниже по течению реки от водохранилища). На рис. 3а (см. с. 419) показан разновременной композит MNDWI. Такой синтез позволил выделить зоны положительных изменений MNDWI красным цветом, отрицательных — синим, а районы без изменения значений индекса — серым (облачность маскирована по данным SCL). Видно, что кроме сельскохозяйственных угодий в результате из-за затопления речной поймы пострадали некоторые жилые объекты посёлка Мамедкала, а также была размыва дамба, по которой проходит автомобильная дорога (см. рис. 3б, в).

Аналогичные затопления сельскохозяйственных земель наблюдаются в различных районах Дагестана. На рис. 4 (см. с. 420) показаны рассчитанные индексы MNDWI для изображений разного времени съёмки: до наводнения и после него, отображающие динамику площадей затопления.

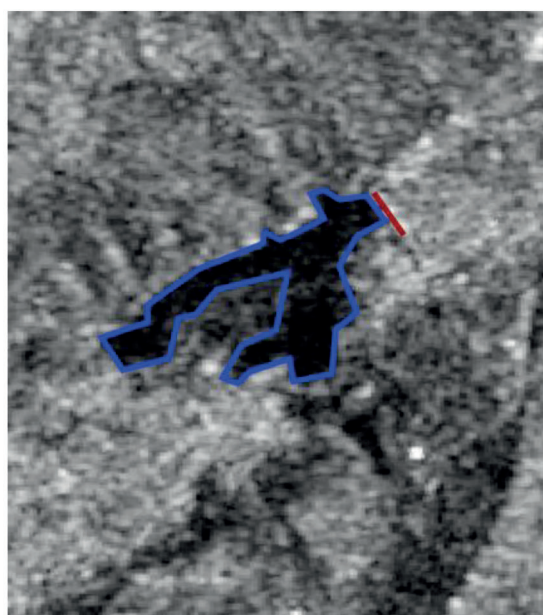
Совмещение полученной информации о затоплениях с данными публичной кадастровой карты (<https://ik7map.roscastrres.com/map>) или с границами сельскохозяйственных полей позволит оценить долю вероятных повреждений сельскохозяйственных культур.

Затопления городской застройки

Серьёзные затопления городской застройки произошли в различных районах города Махачкалы (<https://www.forbes.ru/sustainability/558653-liven-za-livnem-pocemu-dagestan-tak-sil-no-postradal-ot-navodnenia>). На разновременном композите MNDWI (рис. 5, см. с. 421) зоны затопления между железной дорогой и Каспийским морем в окрестностях реки Талгинки (Черкес-озень) показаны красным цветом.



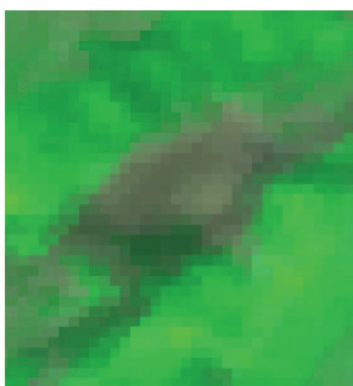
а



б



в

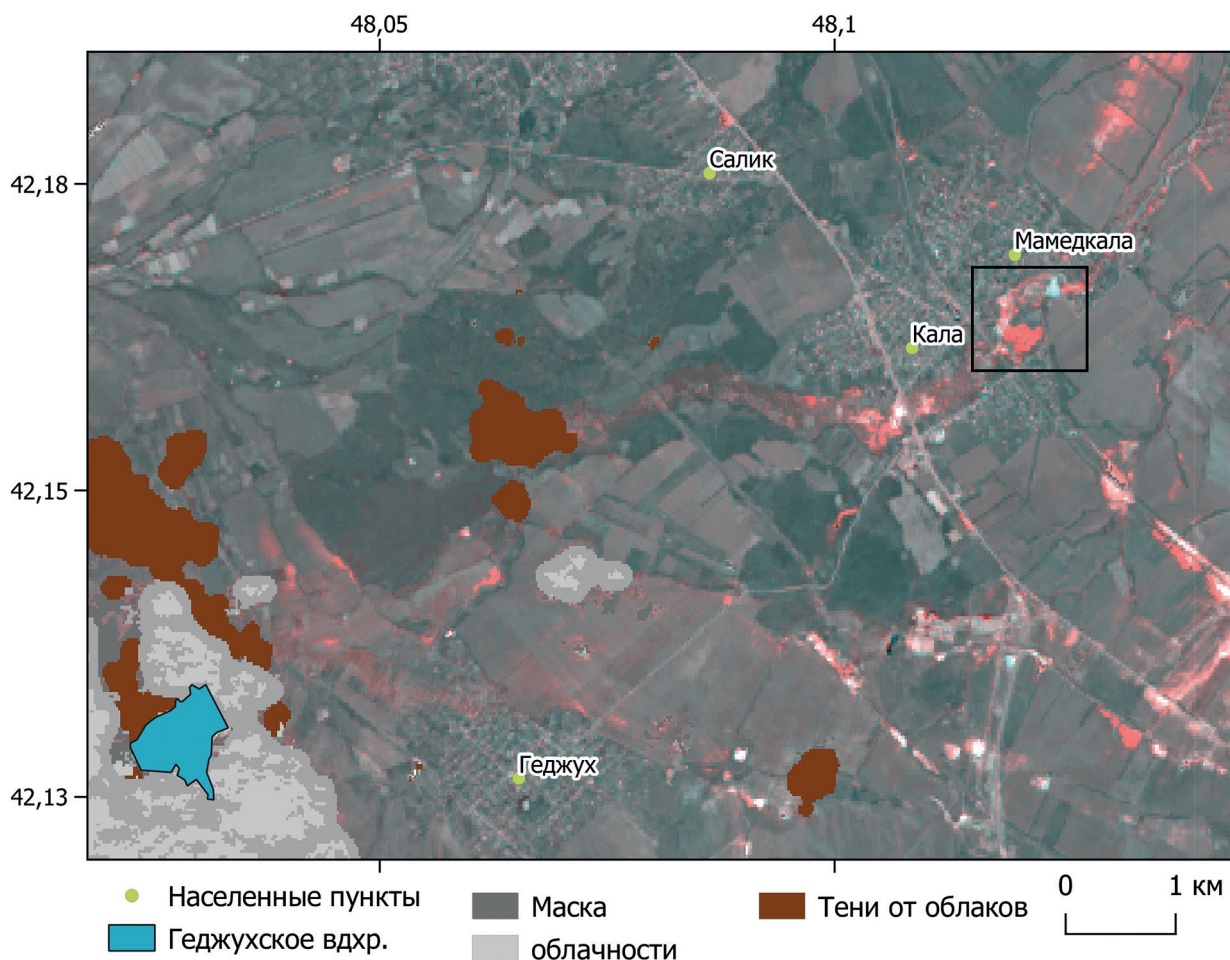


г



д

Рис. 2. Съёмка Геджухского водохранилища по данным РЛИ C-SAR Sentinel-1A (красным цветом показан земляной вал, синим — границы водной поверхности): а — до прорыва, 30.03.2026, 03:00:23; б — после прорыва, 06.04.2026, 02:52:23; по данным оптических наблюдений: в — до прорыва, 02.04.2026, 07:47:32, MSI BOA Sentinel-2C; г — после прорыва, 09.04.2026, 11:12:16, KMCC2-102 «Метеор-М» № 2-4; д — 17.04.2026, 07:47:48, MSI BOA Sentinel-2B



a



б



в

Рис. 3. Область ниже по течению от Геджухского водохранилища: *a* — разновременной композит MNDWI (R — 07.04.2026, 07:47:59, MSI BOA Sentinel-2B, G и B — 01.04.2026, 07:31:08, OLI-TIRS BOA Landsat-9; чёрным прямоугольником обозначена граница для *б*, *в*); *б* — 02.04.2026, 07:47:32, MSI BOA Sentinel-2C; *в* — 07.04.2026, 07:47:59, MSI BOA Sentinel-2B

Повреждения дорожного сообщения

Несколько разных повреждений дорожного сообщения обнаружено во многих районах республики. Кроме разрушений вследствие речного паводка также обнаружены разрушения горных дорог под действием оползней и дождевого стока. На рис. 6 (см. с. 421) показан участок горной дороги, размеры повреждения которого составили около 380 м.

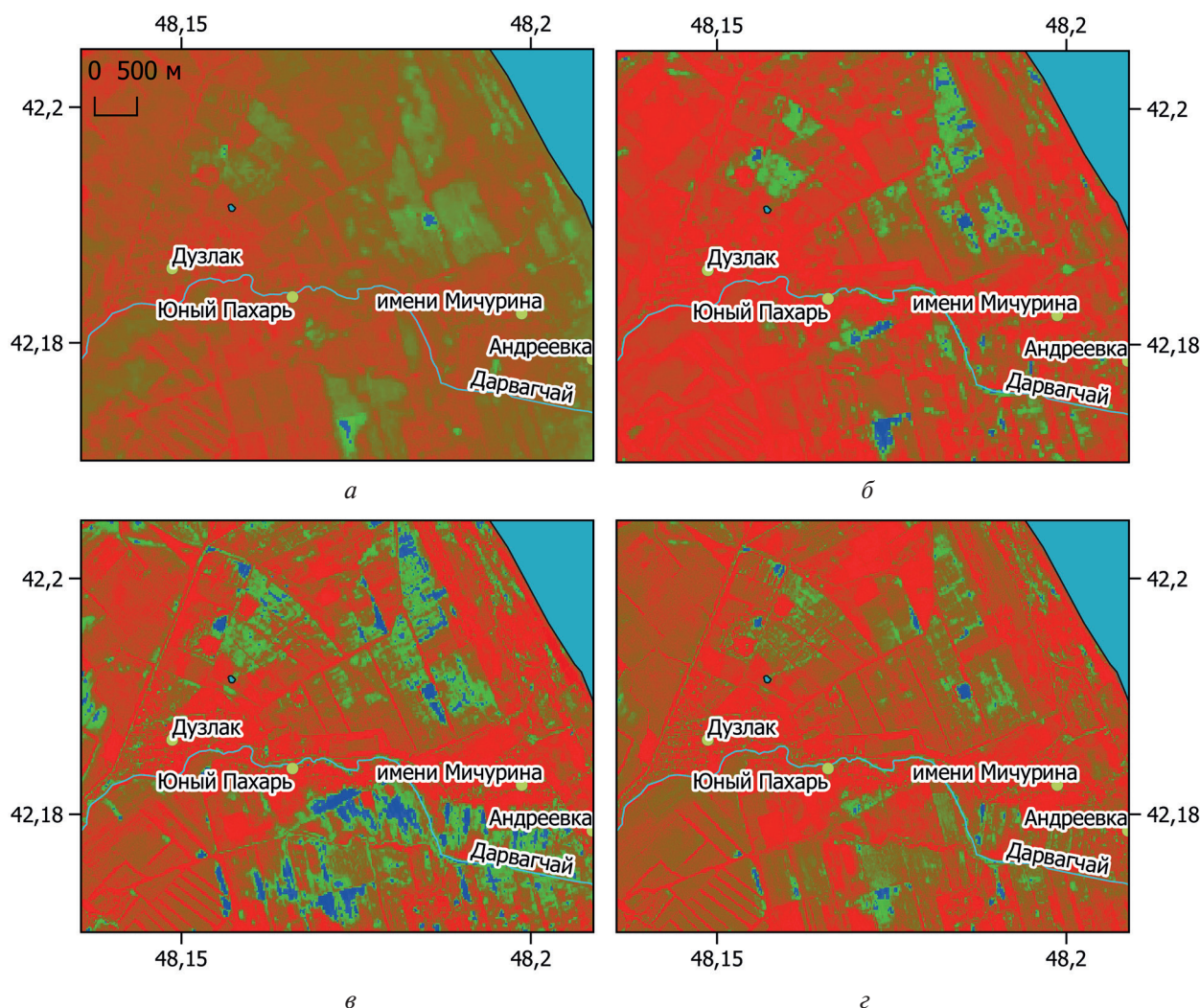


Рис. 4. Затопление сельскохозяйственных земель, индекс MNDWI (синий цвет соответствует воде, красный — суше, зелёный — увлажнённым почвам, дорогам, застройке, влагонасыщенной растительности): а — до наводнения, 24.03.2026, 07:30:58, OLI-TIRS BOA Landsat-8; б — во время него, 01.04.2026, 07:31:08, OLI-TIRS BOA Landsat-9; в — 07.04.2026, 07:47:59, MSI BOA Sentinel-2B; г — после наводнения, 17.04.2026, 07:47:48, MSI BOA Sentinel-2B. Голубым полигоном обозначено Каспийское море, кривой линией — река Дарвагчай

Заключение

На примере наводнения в Республике Дагестан в марте – апреле 2026 г. продемонстрирована возможность обнаружения не только зон затопления, но и наблюдения последствий сопутствующих опасных процессов: прорывов гидротехнических сооружений, оползневых явлений и критических повреждений транспортной инфраструктуры паводковыми водами.

Проведённый анализ показывает, что в условиях быстро развивающихся стихийных бедствий использование некоммерческих, доступных спутниковых данных позволяет осуществлять оперативный мониторинг для получения первичных оценок последствий наводнений и принятия управленческих решений по планированию работ по определению материального ущерба, его устранению и компенсации.

Продemonстрированный пример показывает возможность применения открытых спутниковых данных для оперативной низкозатратной и масштабной по охватываемой территории оценки последствий наводнений и других опасных явлений и в других регионах для совершенствования систем мониторинга и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного характера.

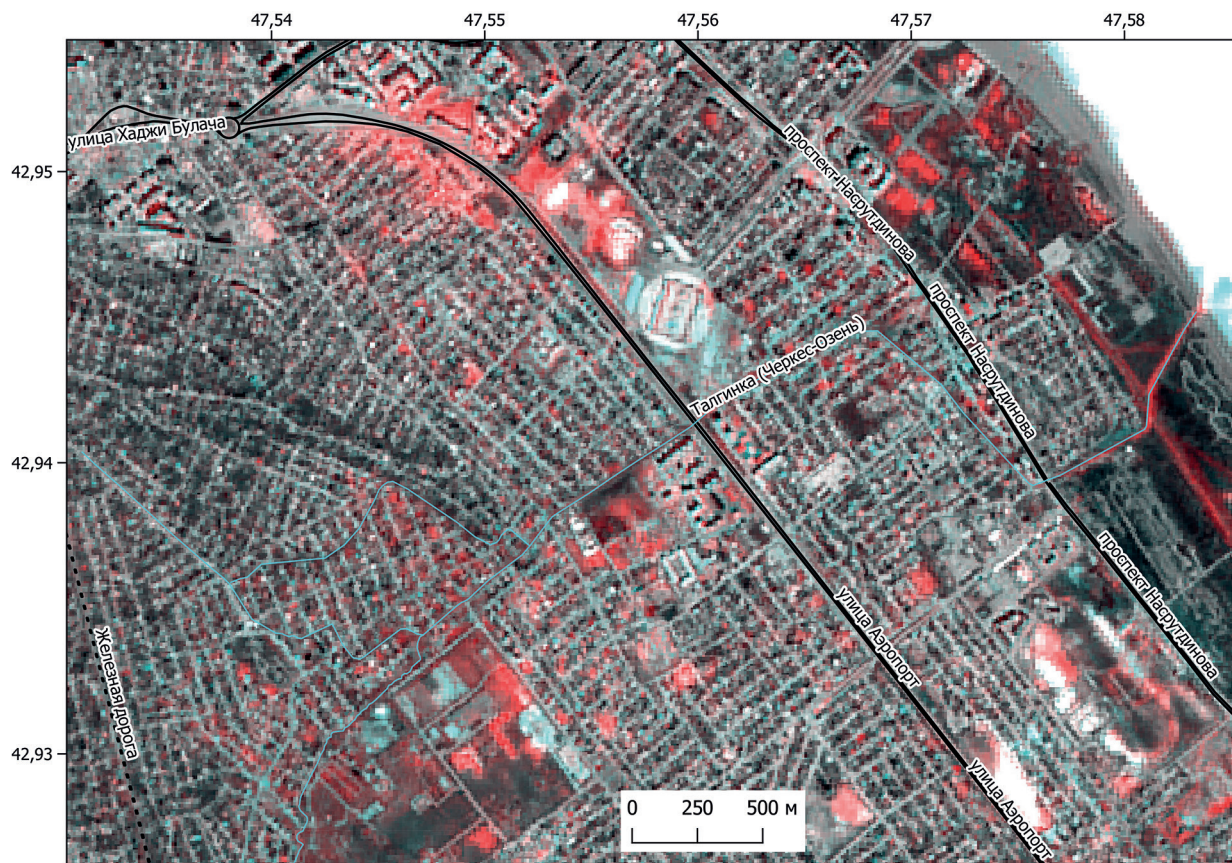


Рис. 5. Зоны затоплений города Махачкалы — разновременной композит MNDWI (R — 07.04.2026, 07:47:59, MSI BOA Sentinel-2B, G и B — 19.04.2025, 07:48:04, MSI BOA Sentinel-2A). Зоны положительных изменений MNDWI показаны красным цветом

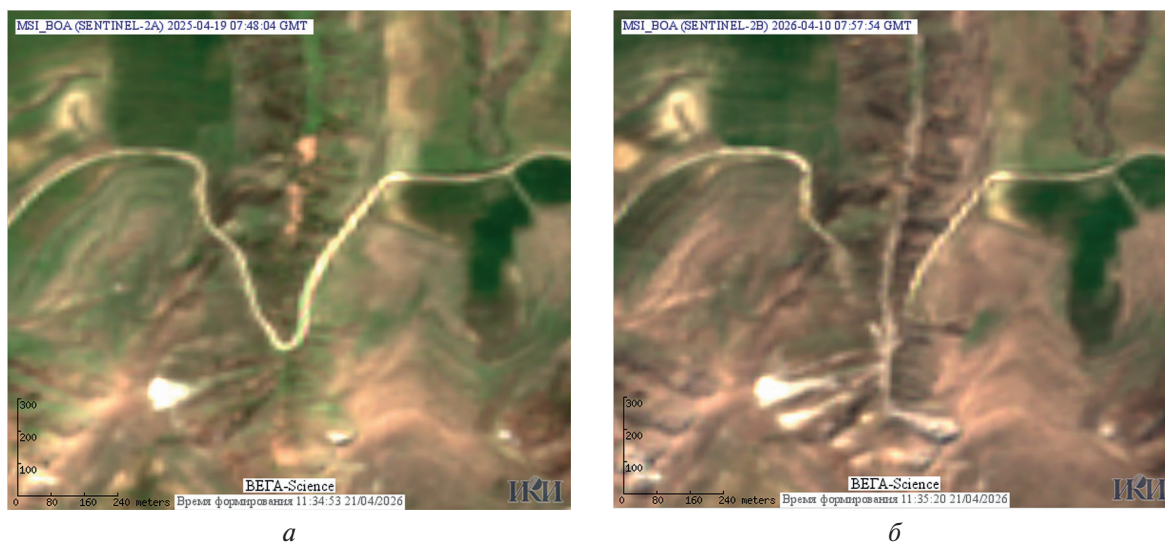


Рис. 6. Размытие горных дорог: а — до наводнения, 19.04.2025, 07:48:04, MSI BOA Sentinel-2A; б — после него, 10.04.2026, 07:57:54, MSI BOA Sentinel-2B

Автор выражает искреннюю благодарность О. Ю. Лавровой (ИКИ РАН) за плодотворное обсуждение результатов и ценные замечания. Работа выполнена с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг», включая возможности и инструментарий информационной системы «Вега-Гидро», при поддержке Минобрнауки в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 126031818938-6).

Литература

1. Бурцев М. А., Уваров И. А., Лупян Е. А. и др. «Вега-Гидро» — спутниковый сервис для задач гидрологии // Материалы 22-й Международ. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: ИКИ РАН, 2024. С. 377. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.
2. Лупян 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.
3. Chen J., Fenoglio L., Kusche J. et al. Evaluation of Sentinel-3A altimetry over Songhua River Basin // J. Hydrology. 2023. V. 618. Article 129197. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2023.129197.
4. Deidda C., De Michele C., Arslan A. N. et al. Accuracy of Copernicus altimeter water level data in Italian rivers accounting for narrow river sections // Remote Sensing. 2021. V. 13. Iss. 21. Article 4456. DOI: 10.3390/rs13214456.
5. Fang C., Long D., Huang Q. et al. Improved water level retrieval in complex riverine environments: Sentinel-3 and Sentinel-6 altimetry over China's rivers // Water Resources Research. 2025. V. 61. Iss. 4. Article e2024WR039705. DOI: 10.1029/2024WR039705.
6. Halicki M., Niedzielski T. The accuracy of the Sentinel-3A altimetry over Polish rivers // J. Hydrology. 2022. V. 606. Article 127355. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.127355.
7. Henry J.-B., Chastanet P., Fellah K., Desnos Y. L. Envisat multi-polarized ASAR data for flood mapping // Intern. J. Remote Sensing. 2006. V. 27. Iss. 10. P. 1921–1929. DOI: 10.1080/01431160500486724.
8. Jiang L., Nielsen K., Dinardo S. et al. Evaluation of Sentinel-3 SRAL SAR altimetry over Chinese rivers // Remote Sensing of Environment. 2020. V. 237. Article 111546. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111546.
9. Martinis S., Kersten J., Twele A. A fully automated TerraSAR-X based flood service // ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing. 2015. V. 104. P. 203–212. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2014.07.014.

Express assessment of flood consequences using non-commercial satellite data: A case study of local catastrophic flood hotspots in the Republic of Dagestan in spring 2026

M. V. Vrublevsky

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

In the context of rapidly evolving natural disasters, the speed of assessment is just as critical as its accuracy for timely decision making and preliminary damage estimation. Open-source satellite data provide a cost-effective way to rapidly identify affected areas and evaluate the impact of hazardous events across vast territories. This study aims to analyze the potential of using non-commercial, freely available Earth observation data for rapid assessment of flooded zones, localized destruction, and their consequences, using the catastrophic flood in the Republic of Dagestan in March–April 2026 as a case study. During this period, heavy rainfall led to flooding of urban and rural areas, destruction of residential buildings, rockfalls, landslides, the breach of the Gedzhukh reservoir embankment, road wash-outs, and damage to bridges and urban infrastructure. This paper presents the results of a preliminary impact assessment of the flood.

Keywords: floods, satellite monitoring, open satellite data, satellite altimetry, Sentinel-3, Sentinel-6, Sentinel-2, Landsat, Sentinel-1, Meteor-M, Republic of Dagestan

Accepted: 24.04.2026

DOI: 10.21046/2070-7401-2026-23-2-415-423

References

1. Burtsev M. A., Uvarov I. A., Loupian E. A. et al., Vega-Hydro is a satellite service for hydrological tasks, *Materialy 22-i Mezhdunarodnoi konferentsii "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (Proc. 22th Intern. Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), Moscow: IKI RAS, 2024, p. 377 (in Russian), DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.
2. Loupian E. A., Proshin A. A., Bourtsev M. A. et al., Experience of development and operation 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.
3. Chen J., Fenoglio L., Kusche J. et al., Evaluation of Sentinel-3A altimetry over Songhua River Basin, *J. Hydrology*, 2023, V. 618, Article 129197, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2023.129197.
4. Deidda C., De Michele C., Arslan A. N. et al., Accuracy of Copernicus altimeter water level data in Italian rivers accounting for narrow river sections, *Remote Sensing*, 2021, V. 13, Iss. 21, Article 4456, DOI: 10.3390/rs13214456.
5. Fang C., Long D., Huang Q. et al., Improved water level retrieval in complex riverine environments: Sentinel-3 and Sentinel-6 altimetry over China's rivers, *Water Resources Research*, 2025, V. 61, Iss. 4, Article e2024WR039705, DOI: 10.1029/2024WR039705.
6. Halicki M., Niedzielski T., The accuracy of the Sentinel-3A altimetry over Polish rivers, *J. Hydrology*, 2022, V. 606, Article 127355, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.127355.
7. Henry J.-B., Chastanet P., Fella K., Desnos Y.-L., Envisat multi-polarized ASAR data for flood mapping, *Intern. J. Remote Sensing*, 2006, V. 27, Iss. 10, pp. 1921–1929, DOI: 10.1080/01431160500486724.
8. Jiang L., Nielsen K., Dinardo S. et al., Evaluation of Sentinel-3 SRAL SAR altimetry over Chinese rivers, *Remote Sensing of Environment*, 2020, V. 237, Article 111546, DOI: 10.1016/j.rse.2019.111546.
9. Martinis S., Kersten J., Twele A., A fully automated TerraSAR-X based flood service, *ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015, V. 104, pp. 203–212, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2014.07.014.