

## Мониторинг последствий наводнения в Оренбургской области при половодье на реке Урал в 2024 году

С. С. Шинкаренко, С. А. Барталев, Е. А. Лупян

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

В апреле 2024 г. половодье на р. Урал частично затопило города Оренбург и Орск, а также несколько посёлков. В сообщении представлены результаты оценки площадей застройки, оказавшейся в зоне затопления, и их сопоставление с границами половодий прошлых лет — 1993, 1994 и 2000 гг. Исследование основано на обработке спутниковых изображений Landsat и Sentinel-2. На основе полученных карт затоплений установлено, что в г. Оренбурге и окрестностях было затоплено около 7 тыс. объектов капитального строительства, ещё 1,3 тыс. — в г. Орске. Большая часть из них расположена в границах затопления при половодьях 1993–1994 гг. Многолетние периоды маловодья на некоторых крупных реках, сопровождавшиеся снижением частоты, высоты и длительности половодий, привели к интенсификации хозяйственного освоения и застройки пойменных земель. Из-за этого весенние паводки, являющиеся неотъемлемой составляющей функционирования пойменных ландшафтов, стали восприниматься как стихийные бедствия. Многолетние архивы данных дистанционного зондирования Земли из космоса могут служить основой для предварительной оценки угрозы затопления пойменных территорий при планировании их освоения как дополнение к традиционным инженерно-гидрологическим изысканиям.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, наводнение, половодье, р. Урал, затопление, мониторинг

Одобрена к печати: 10.06.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-339-347

В апреле 2024 г. из-за значительного подъёма уровня воды при половодье на р. Урал в Оренбургской обл. некоторые населённые пункты оказались частично затопленными, включая города Оренбург и Орск. В зоне затоплений оказались тысячи домовладений, а их жители были эвакуированы. Гидрологический режим р. Урал в последние десятилетия характеризуется снижением максимальных расходов весеннего половодья и ростом меженных расходов (Магрицкий и др., 2018; Сивохиц, Падалко, 2014), из-за чего существенно сократились частота и длительности заливаний (Чибилев, 2008). Это привело к интенсификации строительства в пойме р. Урал, в том числе жилищной и дачной застройки, в окрестностях Оренбурга (Корнилова, 2013). По этим причинам половодье 2024 г., не являющееся уникальным по высоте и длительности, может рассматриваться как исключительное событие с точки зрения ущерба объектам инфраструктуры на территории поймы реки.

В данном сообщении представлены результаты определения затопленных застроенных территорий в городах Оренбургской обл. при половодье на р. Урал в 2024 г., а также их сопоставления с границами заливаний при половодьях предыдущих лет.

Подъём уровня воды в р. Урал у г. Оренбурга начался 27 марта 2024 г. с 230 см над нулём графика гидропоста и продолжался до 14 апреля, когда отметка достигла 11,85 м над нулём графика гидропоста (по данным сервиса allrivers.info). Это наивысшая отметка уровня воды за последние три десятилетия. В последний раз подобные гидрологические условия половодья наблюдались только в 1993 и 1994 гг. На основе водного индекса NDWI (*англ.* Normalized Difference Water Index) (McFeeters, 1996) в системе «Bea-Science» (Loupian et al., 2022) было выделено водное зеркало на даты безоблачных спутниковых изображений Landsat-8, -9 и Sentinel-2, что позволило определить его площадь на указанные даты и установить положение границы затопления. Далее полученная карта затопления сопоставлялась с границами населённых пунктов, дорожной сетью по данным «открытой карты улиц» OpenStreetMap

(openstreetmap.org), публичной кадастровой картой (pkk.rosreestr.ru) и картой типов земного покрова ESA WorldCover пространственного разрешения 10 м за 2020 г. (Zanaga et al., 2021). По спутниковым данным Sentinel-2 на июль 2023 г. экспертным дешифрированием были картографированы застроенные участки, попадающие в границы затоплений 1993, 1994, 2000 и 2024 гг. Для контроля использовались высокдетальные спутниковые изображения из открытых источников. Стоит отметить, что на период половодья 1993 и 1994 гг. доступно только по одному безоблачному спутниковому изображению Landsat-5, которые могут не охватывать период максимальной площади водного зеркала, из-за чего идентифицированная затопленная территория может быть меньше фактической.

Первый выход воды на пойму в окрестностях Оренбурга весной 2024 г. зафиксирован на спутниковых изображениях 4 апреля (рис. 1) при превышении отметки по гидропосту 6,72 м. На эту дату было затоплено 14 % поймы на территории исследований. К 11 апреля площадь водного зеркала увеличилась до 37 % поймы при уровне воды 10,6 м. На 13 апреля 2024 г. отмечено максимальное заливание поймы — 43,9 % при уровне 11,7 м. После достижения максимальной отметки уровня воды в 11,85 м с 14 апреля до 21 апреля отсутствуют безоблачные спутниковые изображения, поэтому период максимальной площади водного зеркала не охвачен данными дистанционного зондирования (ДДЗ). Можно предполагать, что фактическая площадь затопления несколько больше, чем была зафиксирована 13 апреля.

К 22 апреля в результате падения уровня воды в р. Урал площадь заливания поймы сократилась до 23,6 %. Разлив р. Сакмары начался несколько позже, чем р. Урал, поэтому максимальная площадь водного зеркала (27,6 % площади поймы) здесь зафиксирована 21 апреля. В пойме Сакмары зафиксировано затопление только пос. Татарская Каргала на площади около 2 га. Из-за облачности в первой половине мая отследить в полной мере динамику схода воды с поймы рек Урала и Сакмары не было возможности.

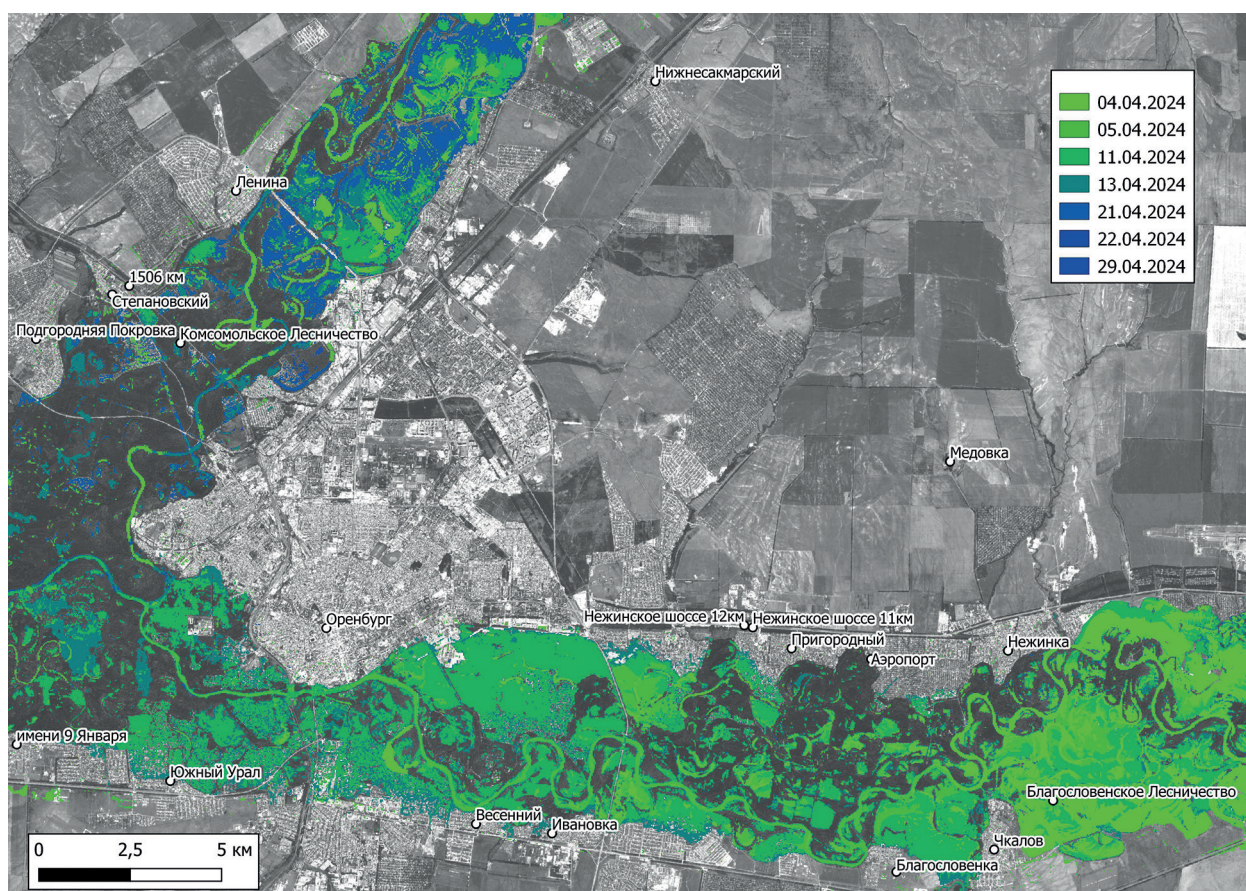


Рис. 1. Продвижение волны половодья в окрестностях г. Оренбурга в апреле 2024 г.

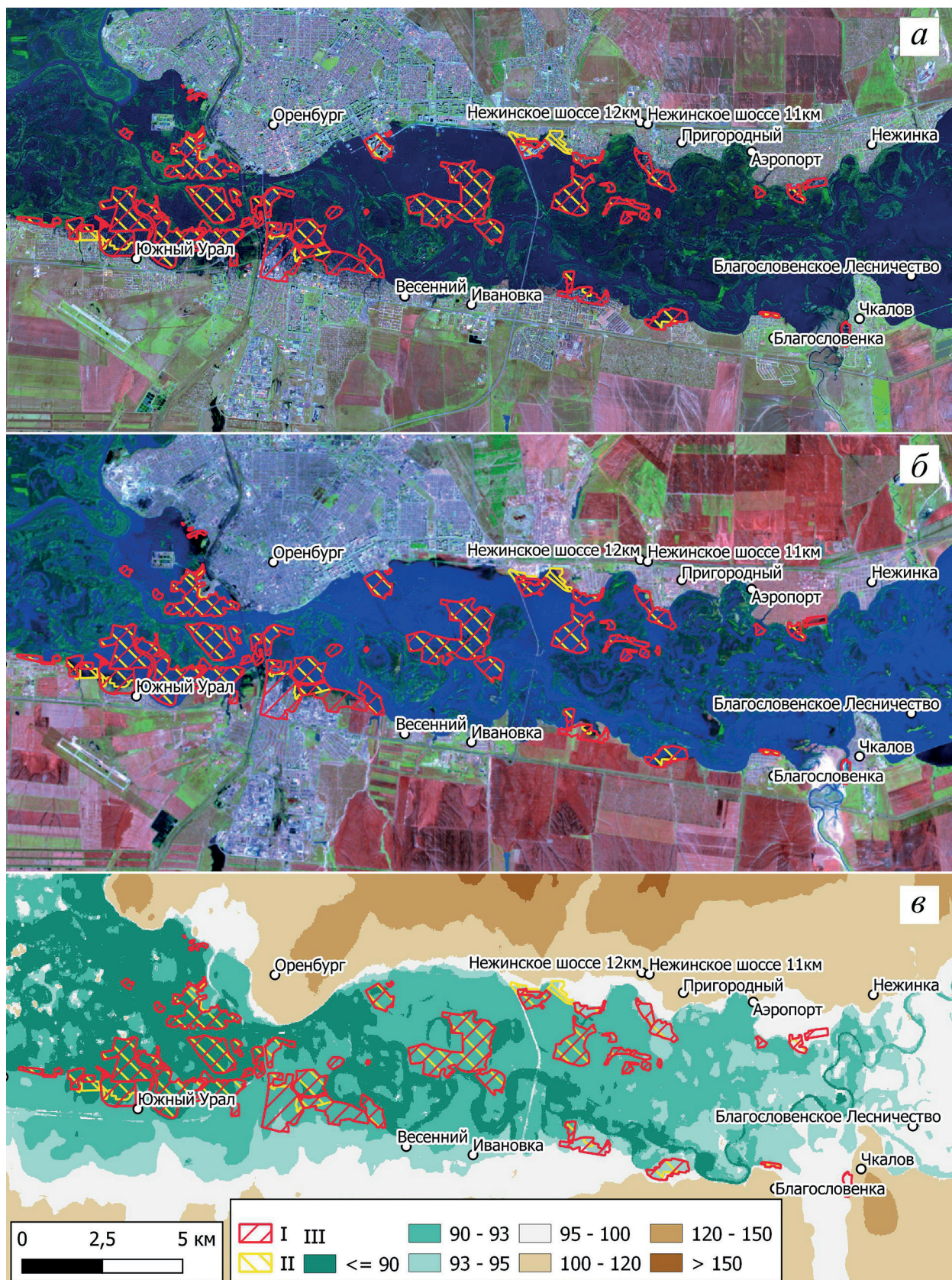


Рис. 2. Спутниковые изображения (SWIR-NIR-RED) половодья на р. Урал: а — 19.04.2024 (Sentinel-2); б — 28.04.1994 (Landsat-5 TM); в — цифровая модель рельефа и затопленная застройка 2024 г. в границах половодий этих лет (I — 2024 г., II — 1994 г., III — абсолютные высотные отметки, м)

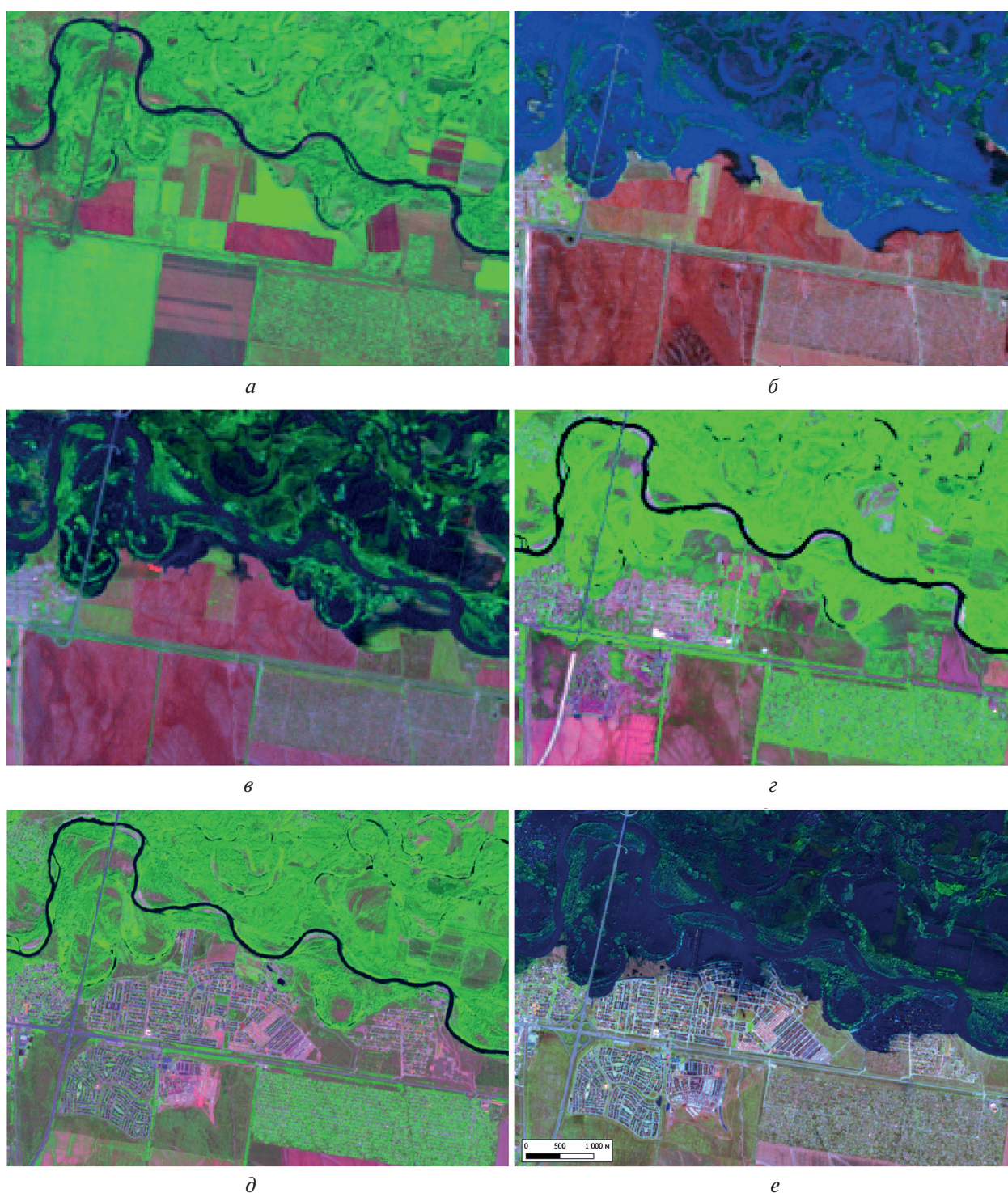


Рис. 3. Пример застройки поймы р. Урал в с. Ивановка: а — 19.08.1992; б — 28.04.1994; в — 27.04.2000; г — 26.06.2013; д — 29.07.2023; е — 19.04.2024

Всего в окрестностях Оренбурга кроме областного центра половодьем на р. Урал и его правом притоке Сакмаре затронуто 17 населённых пунктов, в границах которых общая площадь водного зеркала составила 5,3 тыс. га (16,4 % территории). Наиболее пострадали г. Оренбург, посёлки Ивановка, Южный Урал, Весенний, Чкалов и Благословенка (см. рис. 1).

В результате половодья 2024 г. в г. Оренбурге и окрестностях оказалось затоплено почти 2 тыс. га застроенных территорий (включая дачные участки), большая часть из кото-

рых (1,7 тыс. га) находится и в границах затопления 1994 г. (рис. 2, см. с. 341), из которых 0,5 тыс. га было затоплено и в 2000 г. Среди затопленных участков преобладает малоэтажная застройка, в том числе садовые некоммерческие товарищества. Только два жилых комплекса на правом берегу Урала («Дубки» и «Гранд-Парк») являются многоэтажными. Согласно Публичной кадастровой карте Росреестра в зоне затоплений в Оренбурге и окрестностях оказалось более семи тысяч строений, в том числе 5,9 тыс. строений в границах затопления 1994 г. и 1,9 тыс. — в границах затопления 2000 г. Под водой оказалось около тысячи километров различных дорог. По данным карты типов земного покрова ESA WorldCover половина всей затопленной площади в пойме Урала занята травянистой растительностью, лес и пахотные земли занимают примерно по 20 %, застройка и открытые почвы — по 3,4% площади соответственно. Вся затопленная застройка расположена в пойме р. Урал, что подтверждается цифровой моделью рельефа FABDEM (англ. Forest And Buildings removed Copernicus DEM) (Hawker et al., 2020).

Анализ разновременных спутниковых изображений показал, что значительные затопленные площади застройки в Оренбурге и окрестностях были освоены в последние 10–20 лет (рис. 3). При этом жилые дома создавались как в существующих дачных массивах, так и на месте сельскохозяйственных угодий, в том числе расположенных в границах заливания не только 1994 г., но и 2000 г.

В г. Орске максимальный уровень воды в р. Урал был отмечен 7 апреля (9,75 м над нулём графика гидропоста). Первое безоблачное спутниковое изображение половодья доступно на 11 апреля, когда уровень воды составил 8,3 м. Поэтому зафиксированная площадь затопления (8,8 тыс. га или 14,4 % площади города) может быть существенно меньше максимальной. На 6 мая уровень воды составил 3,1 м, что на 1,5 м больше меженной отметки. В пойме р. Урал в границах г. Орска согласно данным ESA WorldCover примерно 41 % затопленной площади составляют луга, 24 % представлены пахотными землями и около 19 % — лесом. Площадь затопленной застройки составила 462 га.

В Орске по результатам экспертной интерпретации спутниковых изображений в зоне затопления оказалось 1,6 тыс. га застройки и дачных участков, а также, согласно публичной кадастровой карте, более 1,3 тыс. строений (рис. 4, см. с. 344). В границах половодья 1993 г. в зоне затопления расположено более тысячи гектаров современной застройки и 677 объектов капитального строительства. Наводнение в Орске в 2024 г. носило характер стихийного бедствия во многом из-за разрушения дамбы, которая защищала микрорайон Старый город от подъёма воды в р. Урал, поскольку на остальной территории затопленными оказались преимущественно дачные посёлки.

В результате исследований определены площади наиболее пострадавших от наводнения населённых пунктов Оренбургской обл., которые оказались в зоне затопления в результате половодья на р. Урал в 2024 г. Аналогичные по гидрологическим характеристикам весенние паводки на р. Урал уже наблюдались в 1993 и 1994 гг. Несмотря на это значительные площади залитых в эти годы пойменных земель в последние два десятилетия подверглись хозяйственному освоению. В зоне затопления в г. Оренбурге и окрестностях оказалось более 7 тыс. капитальных строений, ещё более 1,3 тыс. — в Орске.

Из-за сокращения частоты, высоты и продолжительности половодий поймы рек в последние годы интенсивно застраиваются, вследствие этого естественные половодья, являющиеся неотъемлемой частью функционирования пойменных ландшафтов, воспринимаются как стихийные бедствия (Дубинина, 2019). Это касается не только поймы р. Урал. Например, на р. Нижний Дон существенных заливаний поймы не было с 1994 г., что привело к застройке зоны затопления капитальными сооружениями и объектами инфраструктуры. Особенно интенсивно хозяйственное освоение поймы ведётся в окрестностях крупных городов, например Ростова-на-Дону, где в 2018 г. при относительно невысоком половодье отмечалось затопление застроенных участков (Шинкаренко, Васильченко, 2023).

Использование многолетнего архива ДДЗ позволяет не только отслеживать последствия наводнений в результате паводков и разрушений гидротехнических сооружений (Воронова и др., 2020; Дубина и др., 2018; Константинова, Лупян, 2020; Терехов и др., 2020; Шинкаренко,

Барталев, 2023), но и даёт возможность предварительно оценить риски затопления пойменных территорий в дополнение к специальным инженерно-гидрологическим изысканиям (Шинкаренко и др., 2023). Эта информация должна учитываться при составлении документов территориального планирования пойменных территорий, принятии решений о разрешении капитального строительства и других вариантах хозяйственного освоения. Для предупреждения подобных стихийных бедствий в дальнейшем требуются дополнительные детальные исследования предпосылок формирования достаточно редких гидрологических событий, а также мониторинг хозяйственного освоения потенциально затопляемых пойменных территорий.

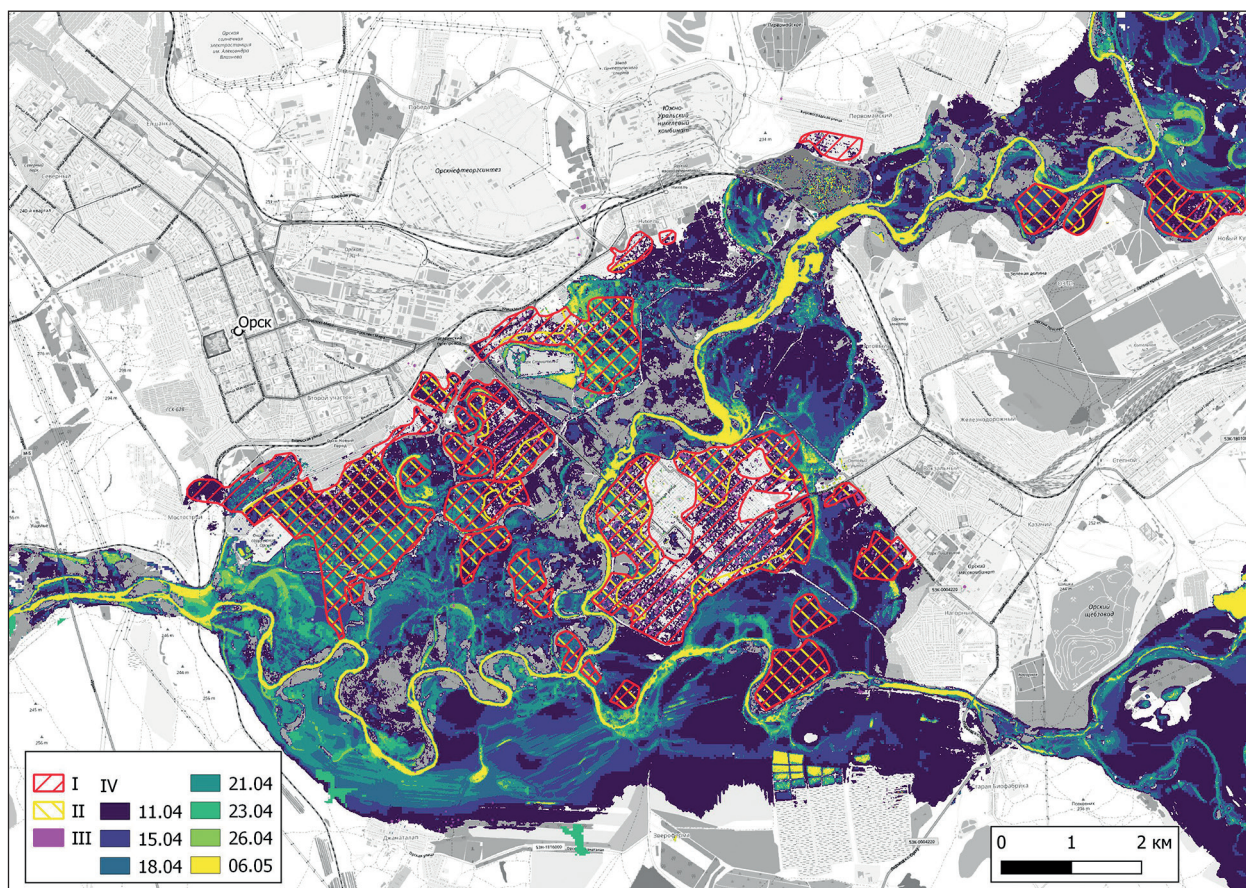


Рис. 4. Затопленная застройка в границах г. Орска (I — в зоне затопления 2024 г., II — современная застройка в границах половодья 1993 г., III — строения согласно публичной кадастровой карте) и динамика прохождения половодья (IV — даты последнего наблюдения водного зеркала на 6 мая 2024 г.)

Работа выполнена в рамках темы Института космических исследований РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8) в части обработки данных дистанционного зондирования Земли с использованием сервиса «Вега-Science» (Loupian et al., 2022) и инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015).

## Литература

1. Воронова А. Е., Рублев И. В., Соловьева И. А. и др. Спутниковый мониторинг экстремального наводнения в Иркутской области 2019 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 263–266. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-1-263-266>.
2. Дубина В. А., Шапов В. В., Плотников В. В. Катастрофическое наводнение в Приморье в августе 2018 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 253–256. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-5-253-256>.

3. Дубинина В. Г. Требования рыбного хозяйства при управлении режимами водохранилищ // Экосистемы: экология и динамика. 2019. Т. 3. № 1. С. 67–97. <https://doi.org/10.24411/2542-2006-2019-10027>.
4. Константинова А. М., Луян Е. А. Анализ последствий прорыва дамбы Сардобинского водохранилища 1 мая 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 261–266. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-3-261-266>.
5. Корнилова Е. И. Особенности жилищной политики в г. Оренбурге на современном этапе // Вестн. СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. № 4(12). С. 11–18. DOI: 10.17673/Vestnik.2013.04.2.
6. Луян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Балашов И. В., Барталев С. А., Ефремов В. Ю., Кашицкий 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. 263–284.
7. Магрицкий Д. В., Евстигнеев В. М., Юмина Н. М., Торопов П. А., Кенжебаева А. Ж., Ермакова Г. С. Изменения стока в бассейне р. Урал // Вестн. Московского ун-та. Сер. 5 «География». 2018. № 1. С. 90–101.
8. Сивохин Ж. Т., Падалко Ю. А. Географо-гидрологические факторы опасных гидрологических явлений в бассейне реки Урал // Изв. Российской акад. наук. Сер. географическая. 2014. № 6. С. 53–61.
9. Терехов А. Г., Абаев Н. Н., Лагутин Е. И. Спутниковый мониторинг Сардобинского водохранилища в бассейне реки Сырдарья (Узбекистан) до и после прорыва дамбы 1 мая 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 255–260. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-3-255-260>.
10. Чибилев А. А. Бассейн Урала: история, география, экология. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 312 с.
11. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. Последствия повреждения плотины Каховской ГЭС на реке Днепр // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 314–322. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-3-314-322>.
12. Шинкаренко С. С., Васильченко А. А. Современное состояние нерестилищ нижнего Дона по данным дистанционного зондирования // Вестн. Московского ун-та. Сер. 5 «География». 2023. № 1. С. 16–27. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.2.
13. Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Богодухов М. А. и др. Классификация пойменных земель Нижней Волги на основе многолетних данных дистанционного зондирования и гидрологической информации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 119–135. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-3-119-135>.
14. Hawker L., Uhe P., Paulo L. et al. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed // Environmental Research Letters. 2020. V. 17. No. 2. Article 024016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4d4f>.
15. Loupian E., Burtsev M., Proshin A. et al. Usage experience and capabilities of the VEGA-Science system // Remote Sensing. 2022. V. 14. No. 1. Article 77. <https://doi.org/10.3390/rs14010077>.
16. McFeeters S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // Intern. J. Remote Sensing. 1996. V. 17. No. 7. P. 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
17. Zanaga D., Van De Kerchove R., De Keersmaecker W. et al. ESA WorldCover 10 m 2020 v100. 2021. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>.

## Monitoring the consequences of flooding in Orenburg Region during spring flood on the Ural River in 2024

S. S. Shinkarenko, S. A. Bartalev, E. A. Loupian

Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia  
E-mail: [shinkarenko@d902.iki.rssi.ru](mailto:shinkarenko@d902.iki.rssi.ru)

In April 2024, as a result of the spring flood on the Ural River, the cities of Orenburg and Orsk, as well as several settlements, were partially flooded. The report presents the results of assessing the areas of

construction that were covered with the flood and compares them with the boundaries of floods in the previous years: 1993, 1994, and 2000. The study is based on processing of Landsat and Sentinel-2 satellite images. On the basis of the obtained flood maps, it was established that approximately 7,000 capital construction objects were flooded in Orenburg and its surroundings, with another 1,300 in Orsk. The majority of these objects are located within the flood boundaries of the 1993–1994 floods. Long periods of low water levels on some major rivers, accompanied by a decrease in the frequency, height, and duration of floods, provoked the intensification of economic development and construction on floodplain lands. As a result, spring floods, which are an integral part of the normal functioning of floodplain landscapes, have become perceived as natural disasters. Multi-year archives of remote sensing data can serve as a basis for preliminary assessment of the threat of flooding floodplain territories when planning their development as a complement to traditional engineering-hydrological surveys.

**Keywords:** remote sensing, flood, high water, Ural River, inundation, monitoring

Accepted: 10.06.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-339-347

## References

1. Voronova A. E., Rublev I. V., Solov'eva I. A. et al., Satellite observation of extreme flooding in the Irkutsk Region in 2019, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 1, pp. 263–266 (in Russian), <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-1-263-266>.
2. Dubina V. A., Shamov V. V., Plotnikov V. V., Disastrous flood in August 2018 in Primorye (south Pacific Russia), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 5, pp. 253–256 (in Russian), <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-5-253-256>.
3. Dubinina V. G., Requirements for fishery under water reservoirs management, *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*, 2019, Vol. 3, No. 1, pp. 67–97 (in Russian), <https://doi.org/10.24411/2542-2006-2019-10027>.
4. Konstantinova A. M., Loupian E. A., Analysis of the consequences of the dam failure of the Sardoba Reservoir on May 1, 2020, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 3, pp. 261–266 (in Russian), <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-3-261-266>.
5. Kornilova E. I., The housing policy at the modern time in the town of Orenburg, *Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, No. 4(12), pp. 11–18 (in Russian).
6. 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., 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 (in Russian).
7. Magritsky D. V., Evstigneev V. M., Yumina N. M., Toropov P. A., Kenzhebayeva A. Zh., Ermakova G. S., Changes of runoff in the Ural river basin, *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5 Geografiya*. 2018, No. 1, pp. 90–101 (in Russian).
8. Sivokhip Zh. T., Padalko Yu. A., Geographical and hydrological factors of dangerous hydrological phenomena of the Ural River basin, *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2014, No. 6, pp. 53–61 (in Russian), <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-3-261-266>.
9. Terekhov A. G., Abaev N. N., Lagutin E. I., Satellite monitoring of the Sardoba Reservoir in Syr Darya River basin (Uzbekistan) before and after a dam collapses on May 1, 2020, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 3, pp. 255–260 (in Russian), <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-3-255-260>.
10. Chibilev A. A., *Bassein Urala: istoriya, geografiya, ekologiya* (The Ural basin: history, geography, ecology), Ekaterinburg: UrO RAN, 2008. 312 p. (in Russian).
11. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., The consequences of damage to the Kakhovka Reservoir dam on the Dnieper River, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 3, pp. 314–322 (in Russian), <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-3-314-322>.
12. Shinkarenko S. S., Vasil'chenko A. A., Actual state of the lower don spawning grounds according to remote sensing data, *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5 Geografiya*, 2023, No. 1, pp. 16–27 (in Russian), <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.2>.
13. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Bogodukhov M. A. et al., The Lower Volga floodplain classification based on long-term hydrological and remote sensing data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 3, pp. 119–135 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-119-135.



14. Hawker L., Uhe P., Paulo L. et al., A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed, *Environmental Research Letters*, 2020, Vol. 17, No. 2, Article 024016, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4d4f>.
15. Loupian E., Burtsev M., Proshin A. et al., Usage experience and capabilities of the VEGA-Science system, *Remote Sensing*, 2022, Vol. 14, No. 1, Article 77, DOI: 10.3390/rs14010077.
16. McFeeters S.K., The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *Intern. J. Remote Sensing*, 1996, Vol. 17, No. 7, pp. 1425–1432, <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
17. Zanaga D., Van De Kerchove R., De Keersmaecker W. et al., *ESA WorldCover 10 m 2020 v100*. 2021. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>.