

УДК 502.5/8

doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-7

Мониторинг озеленения и застройки пойменной зоны реки Урал в границах города Оренбурга с применением геоинформационных технологий

И. А. Степанова¹, М. Ю. Гарицкая²

^{1,2}Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹irinaanstp@mail.ru, ²m.garitskaya@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Пресноводные места обитания, такие как реки, озера, ручьи и пойменные экосистемы, являются важнейшими экологическими ресурсами, которые обеспечивают множество экосистемных функций. Плодородные поймы рек интенсивно эксплуатируются, вследствие чего ландшафт вдоль речных долин постепенно изменяется в результате деятельности человека. *Материалы и методы.* Для исследования пойменной зоны реки Урал в пределах города Оренбурга использовали приложение Google Earth Pro и спутниковые изображения Landsat. Для работы с картографическими материалами использовались программы QGIS и SAGA GIS. Цифровая модель, соответствующая уровню максимального паводка, построена на основе данных цифровой модели рельефа FABDEM. *Результаты.* Выявлен уровень (высота) абсолютного максимума воды во время паводков, на основании которого построена зона затопления реки Урал в районе города Оренбурга отсечением изогипсой. На основе спутниковых снимков спутников Landsat проведен анализ структуры пойменной зоны в черте города на предмет наличия и изменения озеленения и застройки за последние двадцать лет. *Выводы.* При изучении паводковой активности реки Урал выявлен уровень абсолютного максимума воды. В результате исследований структуры пойменной зоны фиксировано отсутствие изменений в размерах площадей озеленения и прирост площадей застройки на данной территории за исследуемый период.

Ключевые слова: озеленение поймы, наводнения, пойменная зона, река Урал, Оренбург, застройка

Для цитирования: Степанова И. А., Гарицкая М. Ю. Мониторинг озеленения и застройки пойменной зоны реки Урал в границах города Оренбурга с применением геоинформационных технологий // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 1. С. 78–87. doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-7

Monitoring of landscaping and development of the floodplain area of the Ural River within the boundaries of the city of Orenburg using geoinformation technologies

I.A. Stepanova¹, M.Yu. Garitskaya²

^{1,2}Orenburg State University, Orenburg, Russia

¹irinaanstp@mail.ru, ²m.garitskaya@yandex.ru

Abstract. *Background.* Freshwater habitats such as rivers, lakes, streams, and floodplain ecosystems are essential ecological resources that provide many ecosystem functions. The fertile floodplains of the rivers are intensively exploited, as a result of which the landscape along the river valleys is gradually changing as a result of human activity. *Materials and methods.* The Google Earth Pro application and Landsat satellite images were used to

study the floodplain area of the Ural River within the city of Orenburg. The QGIS and SAGA GIS programs were used to work with cartographic materials. The digital model corresponding to the maximum flood level is based on data from the digital terrain model FABDEM. *Results.* The level (height) of the absolute maximum of water during floods has been revealed, on the basis of which the flooding zone of the Ural River near the city of Orenburg isogypsum has been constructed. Based on satellite scenes from Landsat satellites, an analysis of the structure of the floodplain zone within the city for the presence and changes of landscaping and development over the past twenty years has been carried out. *Conclusions.* When studying the flood activity of the Ural River, the level of the absolute maximum of water was revealed. As a result of studies of the structure of the floodplain zone, there were no changes in the size of landscaping areas and an increase in building areas in this area during the study period.

Keywords: landscaping floodplains, floods, floodplain area, Ural river, Orenburg, building

For citation: Stepanova I.A., Garitskaya M.Yu. Monitoring of landscaping and development of the floodplain area of the Ural River within the boundaries of the city of Orenburg using geoinformation technologies. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2025;(1):78–87. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-1-7

Введение

Речные поймы формируют облик ландшафта. В естественном состоянии они характеризуются высоким биоразнообразием. Поймы являются одними из самых биологически продуктивных и разнообразных экосистем планеты. Поймы имеют большое культурное и экономическое значение. Речные пойменные экосистемы являются одними из наиболее исчезающих экосистем в современном ландшафте [1]. Остатки нынешних речных пойменных экосистем значительно уязвимы к воздействию многочисленных антропогенных и экологических факторов и некоторые эксперты прогнозируют в ближайшей перспективе исчезновение этих территорий [1, 2].

Пойменные территории, как правило, адаптированы к регулярным сезонным паводковым импульсам, такие наводнения общих масштабов могут быть полезны для восстановления оставшихся пойменных экосистем. Однако внезапные наводнения обычно представляют собой «экстремальное» повышение воды, что может вызвать необратимые изменения в пойменных экосистемах.

Растительный покров по берегам рек служит буферной зоной, замедляя сток ливневых вод, ослабляя паводковые импульсы, улучшая качество воды путем фильтрации, стабилизируя берега рек и почвенный покров против водной эрозии, предотвращая чрезмерное испарение поверхности воды и амплитуды температуры воздуха путем затенения и накопления органического углерода (связывание углерода) [3, 4].

Для решения ряда проблем в области освоения и использования пойменных зон необходимо изучать их текущее состояние и происходящие изменения [5, 6]. Использование современных геоинформационных технологий может дать более четкие выводы о функционировании пойменных экосистем [7–9].

Материалы и методы

Данная статья посвящена исследованиям пойменной зоны реки Урал в пределах города Оренбурга.

Объектом исследования была пойменная зона реки Урал в пределах города Оренбурга. На Урале происходят сезонные колебания уровня воды, регулярно приводящие к паводкам. Вызванное паводком наводнение затрагивает

часть населенных пунктов Оренбуржья, в том числе областной центр – город Оренбург. В истории города насчитывается несколько крупных наводнений, основные из которых произошли в 1854, 1887, 1922, 1942, 1957 и 1993 гг. Последний катастрофический паводок произошел в 2024 г. В результате этого наводнения уровень воды в реке Урал возле города Оренбурга поднялся на 242 см выше критического и составил 11 м 87 см, что повлекло за собой введение режима чрезвычайной ситуации федерального значения и проведения частичной эвакуации жителей в городе.

С использованием приложения Google Earth Pro были просмотрены современные и исторические спутниковые изображения Landsat в районе города Оренбурга и его пойменных зон за период с 2000 по 2024 г.

На основе данных гидропоста города Оренбург на реке Урал изучены изменения уровня воды и проведен анализ паводковой активности реки Урал в черте города Оренбурга. Выявлен уровень абсолютного максимума воды для построения долины зоны затопления, соответствующей уровню максимального паводка.

Для работы с картографическими материалами использовали свободную кроссплатформенную геоинформационную систему QGIS.

Максимальную зону затопления реки Урал в черте города Оренбурга определяли на основе данных цифровой модели рельефа FABDEM без растительности и искусственных сооружений.

Для моделирования и анализа рельефа использовали программное обеспечение с открытым исходным кодом SAGA GIS. В цифровой модели местности была проведена корректировка искусственных впадин заполнением замкнутых локальных понижений с сохранением нисходящего уклона вдоль пути потока с помощью инструмента «Fillsinks».

Зона затопления была получена путем отсечения территории изогипсой, соответствующей уровню (высоте) абсолютного максимума воды во время паводка на реке Урал в районе города Оренбург в 2024 г.

В дальнейшем анализировали полученную зону максимального затопления рекой Урал в черте города Оренбурга.

Был проведен ретроспективный анализ данной зоны на предмет наличия и изменения озеленения и застройки. Для этого из информационной системы сбора и предоставления спутниковых данных дистанционного зондирования Земли EOSDIS были взяты две спутниковые сцены:

1) сцена LE07_L1TP_166024_20000716_20200918_02_T1 спутника Landsat-7 2000 г.;

2) сцена LC08_L1TP_165024_20240703_20240711_02_T1 спутника Landsat-8 2024 г.

Изучались сцены за летний период (за июль), на которых хорошо видна растительность.

Для визуализации результатов обработки многоканальных космических снимков и дальнейшего анализа были собраны красно-зелено-синие композиты RGB в натуральных цветах с каналами 3,2,1 для спутника Landsat-7 (Band 3: Redlight (0,63–0,69 μm), Band 2: Greenlight (0,52–0,60 μm), Band 1: Bluelight (0,45–0,52 μm), Band 8 Pa: (0,52–0,90 μm)) и с каналами 4,3,2 для спутника Landsat-8 (Band 4: Redband (0,63–0,69 μm), Band 3: Greenband (0,52–0,59 μm), Band 2: Blueband (0,45–0,515 μm), Band 8 Pa: (0,50–0,68 μm)). Для всех сцен было увеличено пространственное разрешение с 30 до 15 м на пиксель на основе слияния композита с панхроматическим каналом. Полученные изображения

в дальнейшем были проанализированы на предмет наличия озеленения и застройки в приложении QGIS.

Результаты и обсуждения

При просмотре современных и исторических спутниковых изображений города Оренбурга и его пойменных зон в приложении Google Earth Pro за период с 2000 по 2024 г. отмечены наглядные изменения границ селитебных зон в городе в целом, а также около реки Урал.

На начальном этапе исследований проведен анализ паводковой активности реки Урал в черте города Оренбурга. Была изучена информация по гидропосту Оренбурга, зафиксирована отметка нуля водомерного поста (в Балтийской системе высот), просмотрены графики уровня воды по годам. Дно реки Урал в районе гидропоста находится на отметке 79 м 59 см, а абсолютный максимум подъема воды при паводке наблюдался 14.04.2024 и составил 11 м 85 см.

В результате проведенного анализа выявлен уровень (высота) абсолютного максимума воды во время паводка, равный 92 м по Балтийской системе высот. На основании полученной высоты абсолютного максимума воды во время паводка была построена зона максимального затопления реки Урал в районе города Оренбург путем отсечения территории изогипсой, соответствующей данному уровню.

На следующем этапе исследований был получен спутниковый снимок рельефа FBDDEM. Данный снимок был обработан с помощью инструмента «Fillsinks» для устранения дефектов радарной съемки и автоматически сформированной цифровой модели рельефа. В результате составлена цифровая модель рельефа в районе русла реки Урал с целью выявления границ территорий, затапливаемых при максимальном уровне подъема воды.

На основании полученного снимка рельефа был сформирован слой изогипса в районе русла реки Урал около города Оренбург с интервалом в 1 м (рис. 1).

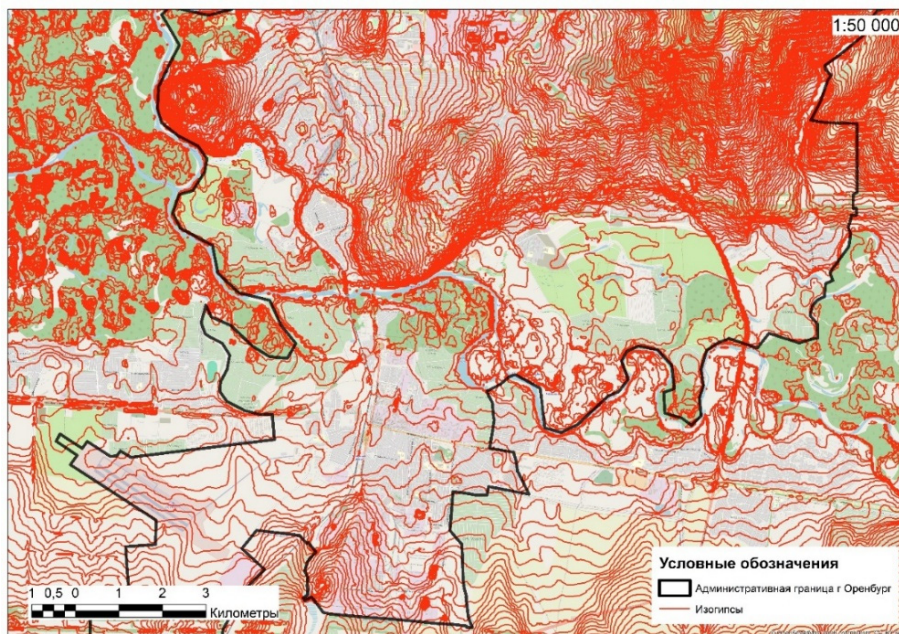


Рис. 1. Слой изогипса в районе города Оренбург

В полученной цифровой модели рельефа в геоинформационной системе QGIS авторами была смоделирована долина вдоль реки Урал, ограниченная высотой 92 м, и найдена максимальная зона затопления, соответствующая уровню максимального паводка (рис. 2).

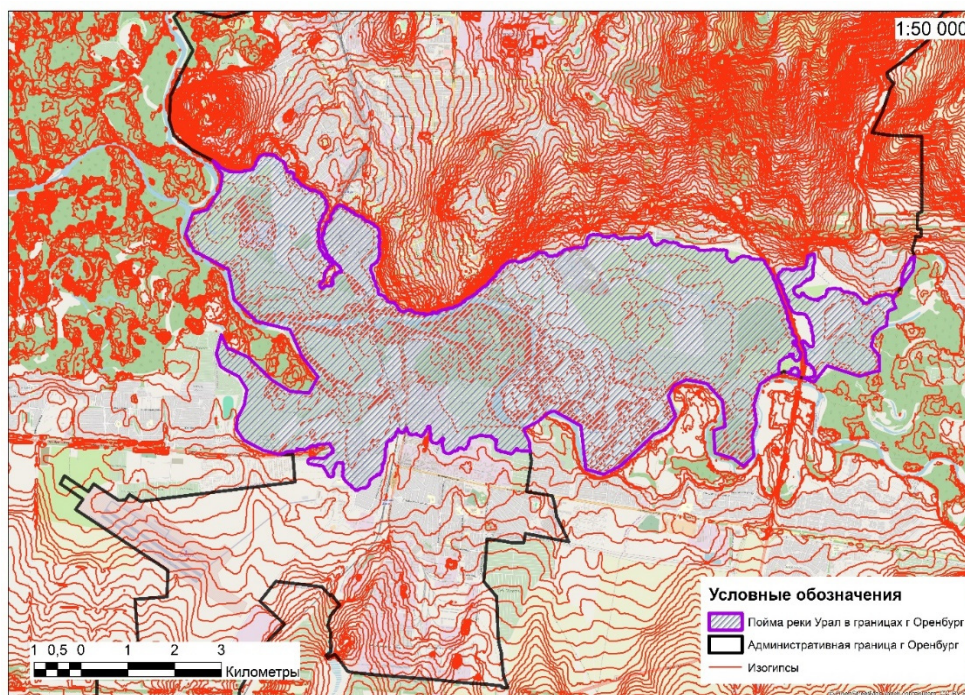


Рис. 2. Зона максимального затопления вдоль реки Урал в районе города Оренбург, ограниченная высотой 92 м

Поскольку к поймам относят часть речной долины, находящуюся выше русла и затопляемую в половодье или во время паводков, мы можем сделать вывод, что найденная и показанная на рис. 2 максимальная зона затопления является пойменной зоной реки Урал в черте города Оренбурга.

На основе полученной цифровой модели рельефа выявили, что зона затопления в черте города Оренбурга охватывает большую территорию, равную 50,3895 км², что составляет 19,5 % от общей площади города, равной 258,6 км².

Далее были проведены исследования, включающие анализ структуры пойменной зоны реки Урал в черте города Оренбурга на предмет наличия и изменения озеленения и застройки.

Были собраны композиты RGB в комбинации «естественные цвета» для снимка 2000 г. (для спутника Landsat-7) и для снимка 2024 г. (для спутника Landsat-8) (рис. 3, 4).

На основе полученных изображений была проведена векторизация зеленых зон и территории застройки. Данные представлены на рис. 3 и 4.

В результате проведенной векторизации снимков города Оренбурга были выявлены полигоны зеленых зон (11 штук в 2000 и 2024 гг.), с площадями 1,2586; 0,7524; 0,4854; 0,0002; 2,6202; 3,4512; 1,3392; 2,6132; 0,3521; 0,5178 и 0,4278 км².

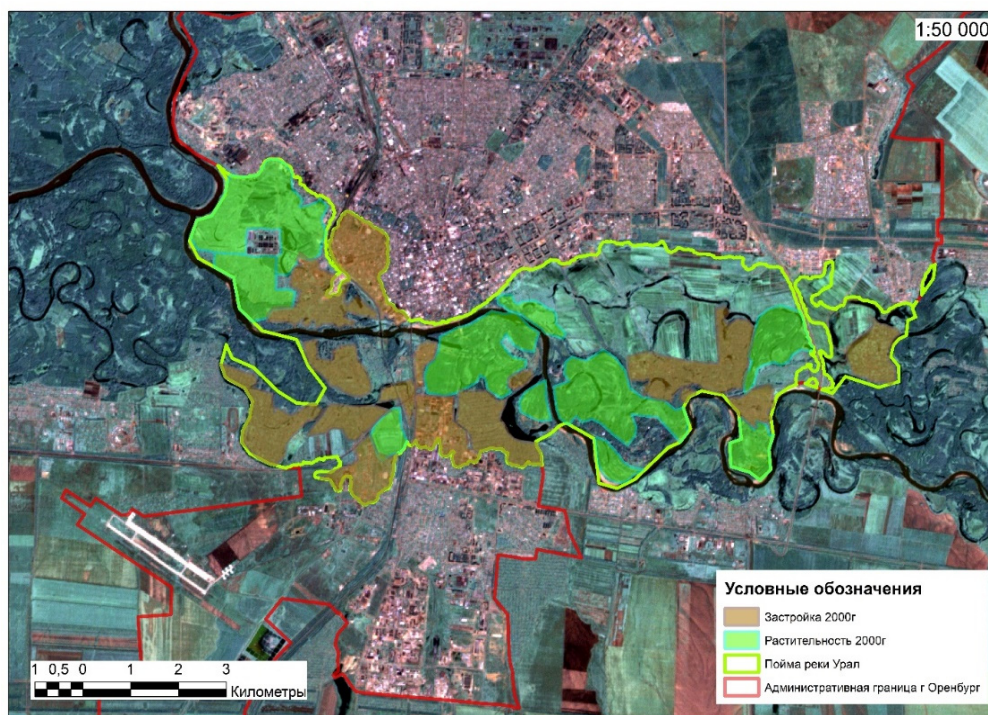


Рис. 3. Зеленые зоны и территория застройки пойменной зоны реки Урал в черте города Оренбурга в 2000 г.

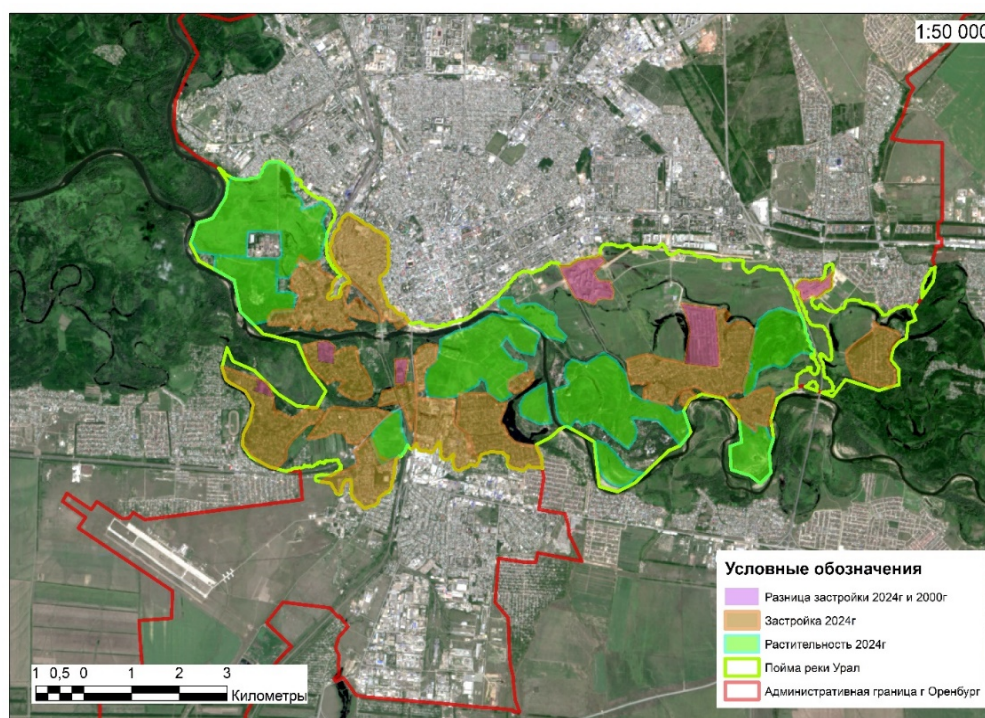


Рис. 4. Зеленые зоны и территория застройки пойменной зоны реки Урал в черте города Оренбурга в 2024 г.

В результате проведенной векторизации снимков города Оренбурга также были выявлены полигоны застройки:

а) 15 штук в 2000 г., с площадями 1,1580; 2,2006; 0,2459; 1,5890; 1,0011; 1,3576; 0,9149; 0,4839; 1,4963; 0,8671; 1,4864; 0,708197; 0,3264; 0,1365 и 0,0571 км²;

б) 18 штук в 2024 г., с площадями 1,1580; 2,2006; 0,2459; 1,5890; 1,0011; 1,3576; 0,7536; 0,6157; 0,9149; 0,2049; 0,4839; 1,4963; 0,9531; 1,5587; 0,7082; 0,4265; 0,1365; 0,0571 км².

Из полученных данных видно, что количество полигонов застройки за последние двадцать лет увеличилось с 15 до 18 штук.

На основе векторизованных карт получены следующие данные:

– площадь пойменной зоны составила 50,3895 км²;

– площадь зоны озеленения поймы в 2000 и 2024 гг. составила 13,8182 км²;

– площадь застройки в 2000 г. составила 14,0290 км²;

– площадь застройки в 2024 г. составила 15,8616 км².

Анализ полученной информации показал, что площадь зоны озеленения поймы реки Урал в черте города Оренбург за 2000 и 2024 гг. практически не изменилась и составила примерно 27,5 % от ее общей площади поймы.

В пойме р. Урал встречается классический сукцессионный ряд, включающий в себя: ивняки (*Salix triandra* L., *S. viminalis* L.) – ветловники (*S. alba* L.) – осокорники (*Populus nigra* L.) – белотопольники (*P. alba* L.), вершины высоких грив занимают вязовники (*Ulmus laevis* Pall.) с участием *Quercus robur* L. Типичные дубовые сообщества (*Quercus robur* L.) встречаются единично или входят в состав растительных сообществ с доминированием *Ulmus laevis* Pall.

Площадь застройки пойменной зоны в 2000 и 2024 гг. составила 27,9 и 31,5 % от ее общей площади поймы соответственно.

Заключение

Мониторинг озеленения пойменной зоны реки Урал в границах города Оренбурга показал, что озеленена примерно четверть территории поймы, расположенной в низинах вдоль реки Урал. Причем было установлено отсутствие изменений в размерах площадей озеленения пойменной зоны за прошедшие двадцать лет.

Однако необходимо отметить, что пойменные леса г. Оренбурга все чаще используются в рекреационных целях и являются зоной массового отдыха жителей. Одним из признаков рекреационной дигрессии городского пойменного леса является наличие сорных растений, составляющих около 10 % от общего количества видов растений [10].

Зафиксирован значительный прирост площадей застройки в 1,13 раз, расположенных как в водоохранной зоне, так и на землях сельскохозяйственного назначения.

Увеличение площади застройки в пойменной зоне реки Урал в пределах города Оренбурга может способствовать формированию загрязненных стоков. Ливневые и талые воды могут содержать загрязняющие вещества, которые образуются с территории автостоянок, транспортных развязок, автозаправочных станций, а также с территории городских улиц и других селитебных объектов.

Поскольку река имеет важное социальное, культурное, экономическое и экологическое значение, необходимо предпринимать усилия для создания зон покоя, обеспечивающих сохранение биоразнообразия экосистем в долине реки и предотвращения постоянной потери пойм и их ресурсов.

Полученные данные могут служить основой для работ по мониторингу и разработке мер охраны и рационального использования лесов пойменной зоны города Оренбурга.

Список литературы

1. Сухара И. Влияние половодий на структуру и функциональные процессы пойменных экосистем // Журнал почвенной и растительной биологии. 2019. Т. 1. С. 44–60.
2. Андреадис К. М., Джи Уинг О. Е., Колвен Е. [и др.]. Урбанизация поймы: глобальные изменения водонепроницаемости в районах, подверженных наводнениям // Письма об экологических исследованиях. 2022. Т. 17, № 10. С. 104024.
3. Маддолени М., Мард Дж., Руска М. [и др.]. Поймы рек в антропоцене: глобальный анализ взаимодействия между численностью населения, антропогенной средой и интенсивностью наводнений // Исследования водных ресурсов. 2021. Т. 57. № 2. С. e2020WR027744.
4. Чжэн Ц., Ву З., Чень И. [и др.]. Исследование изменений экосреды и урбанизации в прибрежных зонах: исследование в Китае за последние 20 лет // Экологические индикаторы. 2020. Т. 119. С. 106847.
5. Якобсон Р. Б., Линднер Г., Битнер К. Роль восстановления поймы в смягчении риска наводнений, низовья реки Миссури, США // Геоморфологические подходы к комплексному управлению поймами равнинных речных систем в Северной Америке и Европе. Нью-Йорк : SpringerNewYork, 2015. С. 203–243.
6. Ахилан С., Гуан М., Сани А. [и др.]. Влияние восстановления поймы на динамику стока и наносов в городской реке // Журнал управления рисками наводнений. 2018. Т. 11. С. S986–S1001.
7. Ндехедехе К. Э., Берфорд М., Стюарт-Костер Б. [и др.]. Изменения продуктивности пойм и пресноводных местообитаний на севере Австралии по данным спутниковых наблюдений (1991–2019 гг.) // Экологические индикаторы. 2020. Т. 114. С. 106320.
8. Рони П., Холл Дж. Э., Дреннер С. М. [и др.]. Мониторинг эффективности восстановления пойменных местообитаний: обзор методов и рекомендаций для будущего мониторинга // Wiley Interdisciplinary Reviews: Water. 2019. Т. 6. № 4. С. e1355.
9. Тан З., Ли И., Сюй Х. [и др.]. Картографирование динамики затопления в неоднородной пойме: выводы из интеграции наблюдений и модельного подхода // Гидрологический журнал. 2019. Т. 572. С. 148–159.
10. Васильева Т. Н., Иванова Е. А., Рябина З. Н. Эколого-фитоценоотическое состояние пойменных лесов в окрестностях города Оренбурга и их рекреационное использование // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3. С. 70–81.

References

1. Sukhara I. The influence of floods on the structure and functional processes of floodplain ecosystems. *Zhurnal pochvennoy i rastitel'noy biologii* = Journal of soil and plant biology. 2019;1:44–60. (In Russ.)

2. Andreadis K.M., Dzhi Uing O.E., Kolven E. et al. Floodplain urbanization: global changes in imperviousness in flood-prone areas. *Pis'ma ob ekologicheskikh issledovaniyakh* = Letters on Environmental Research. 2022;17(10):104024. (In Russ.)
3. Maddoleni M., Mard Dzh., Ruska M. et al. Floodplains in the anthropocene: a global analysis of the interactions between population, the anthropogenic environment, and flood intensity. *Issledovaniya vodnykh resursov* = Water resources research. 2021;57(2):e2020WR027744. (In Russ.)
4. Chzhen Ts., Vu Z., Chen' I. et al. Research on ecological change and urbanization in coastal zones: a case study in China in the past 20 years. *Ekologicheskie indikatory* = Ecological indicators. 2020;119:106847. (In Russ.)
5. Yakobson R.B., Lindner G., Bitner K. The role of floodplain restoration in flood risk mitigation, Lower Missouri River, USA. *Geomorfologicheskie podkhody k kompleksnomu upravleniyu poymami ravninnykh rechnykh sistem v Severnoy Amerike i Evrope* = Geomorphological approaches to integrated floodplain management of lowland river systems in North America and Europe. New York: SpringerNewYork, 2015:203–243. (In Russ.)
6. Akhilan S., Guan M., Sani A. et al. Impact of restoration of the river on the dynamics of runoff and sediment in the urban river. *Zhurnal upravleniya riskami navodneniy* = Flood risk management journal. 2018;11:S986–S1001. (In Russ.)
7. Ndekhekhe K.E., Berford M., Styuart-Koster B. et al. Changes in floodplain and freshwater habitat productivity in northern Australia from satellite data (1991–2019). *Ekologicheskie indikatory* = Ecological indicators. 2020;114:106320. (In Russ.)
8. Roni P., Khol Dzh. E., Drenner S.M. et al. Monitoring the effectiveness of floodplain habitat restoration: a review of methods and recommendations for future monitoring. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. 2019;6(4):e1355. (In Russ.)
9. Tan Z., Li I., Syuy Kh. et al. Mapping flooding dynamics in a heterogeneous floodplain: insights from integrating observations and a model approach. *Gidrologicheskiy zhurnal* = Hydrological journal. 2019;572:148–159. (In Russ.)
10. Vasil'eva T.N., Ivanova E.A., Ryabinina Z.N. Ecological and phytocenotic state of floodplain forests in the vicinity of the city of Orenburg and their recreational use. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* = Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: science and higher professional education. 2024;(3):70–81. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Ирина Андреевна Степанова

кандидат биологических наук,
доцент кафедры экологии
и природопользования,
Оренбургский государственный
университет
(Россия, г. Оренбург, пр-т Победы, 13)
E-mail: irinaanstp@mail.ru

Irina A. Stepanova

Candidate of biological sciences,
associate professor of the sub-department
of ecology and environmental management,
Orenburg State University
(13 Pobedy avenue, Orenburg, Russia)

Марина Юрьевна Гарицкая

кандидат биологических наук, доцент,
доцент кафедры экологии
и природопользования
Оренбургский государственный
университет
(Россия, г. Оренбург, пр-т Победы, 13)
E-mail: m.garitskaya@yandex.ru

Marina Yu. Garitskaya

Candidate of biological sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of ecology
and environmental management,
Orenburg State University
(13 Pobedy avenue, Orenburg, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 30.04.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 07.05.2025

Принята к публикации / Accepted 12.05.2025