



## ГЕОЭКОЛОГИЯ

## GEOECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-352-365

EDN: TAESEE

УДК 504.03:556.5:911.3

Научная статья / Research article

### Геоэкологическая устойчивость прибрежных экосистем в условиях трансформации малых городов

В.А. Шилов✉, О.В. Ладыгина

*Ярославский государственный технический университет, Ярославль,  
Российская Федерация  
✉shilovva@ystu.ru*

**Аннотация.** Рассмотрены изменения гидрографических характеристик города Углич в период с 1985 по 2024 г. В результате анализа космических снимков с использованием нормализованного индекса водного объекта (NDWI) выявлено сокращение площади водных объектов, включая прибрежные зоны реки Волга. Установлено, что ключевыми факторами изменений являются антропогенные воздействия, такие как урбанизация, благоустройство прибрежных зон и загрязнение, а также природные процессы: эрозия берегов и изменение гидрологических циклов. Предложены меры по созданию буферных зон для минимизации негативного влияния городской инфраструктуры на гидрографию. Полученные результаты доказывают необходимость внедрения устойчивых экологических решений для сохранения и восстановления водных объектов малых городов.

**Ключевые слова:** гидрография, NDWI, урбанизация, антропогенные воздействия, река Волга, Углич, экологический мониторинг

**Вклад авторов.** *Шилов В.А.* – разработка идеи исследования, сбор и анализ исходных материалов, подбор научной литературы, проведение камеральных исследований, структурирование статьи; *Ладыгина О.В.* – руководство над проведением исследования, редактирование текста. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

© Шилов В.А., Ладыгина О.В., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**История статьи:** поступила в редакцию 01.02.2025; доработана после рецензирования 26.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Шилов В.А., Ладыгина О.В. Геоэкологическая устойчивость прибрежных экосистем в условиях трансформации малых городов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 3. С. 352–365. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-352-365>

## Hydrological Stability of Coastal Ecosystems Under the Transformation of Small Towns

Vladimir A. Shilov✉, Olga V. Ladygina

*Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation*

✉shilovva@ystu.ru

**Abstract.** The study examines changes in the hydrographic characteristics of the city of Uglich from 1985 to 2024. Analysis of satellite imagery using the Normalized Difference Water Index (NDWI) revealed a reduction in the area of water bodies, including the coastal zones of the Volga River. It was found that the key factors driving these changes are anthropogenic impacts such as urbanization, coastal zone landscaping, and pollution, as well as natural processes such as shoreline erosion and alterations in hydrological cycles. Measures to establish buffer zones are proposed to minimize the negative impact of urban infrastructure on hydrography. The findings emphasize the need to implement sustainable environmental solutions to preserve and restore water bodies in small towns.

**Keywords:** hydrography, NDWI, urbanization, anthropogenic impacts, Volga River, Uglich, ecological monitoring

**Authors' contribution.** V.A. Shilov – development of the research concept, collection and analysis of initial data, selection of scientific literature, conducting desk studies, structuring the article; O.V. Ladygina – supervision of the research, text editing. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Article history:** received 01.02.2025; revised 26.02.2025; accepted 12.03.2025.

**Conflicts of interest.** The authors declare no conflicts of interest.

**For citation:** Shilov VA, Ladygina OV. Hydrological Stability of Coastal Ecosystems Under the Transformation of Small Towns. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):352–365. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-352-365>

## Введение

Изменение состояния водных объектов малых городов — актуальная геоэкологическая проблема, усугубляемая ростом урбанизации и изменением климата. Углич, основанный в XII в. на берегу Волги и Угличского водохранилища, испытывает значительное антропогенное воздействие из-за роста

населения и промышленной деятельности, что приводит к техногенному загрязнению водоемов, снижению биоразнообразия и ухудшению качества воды [1-3].

В глобальном контексте изменение гидрографии малых городов является частью более широкой экологической проблемы, связанной с изменением климата и интенсификацией использования природных ресурсов.

Применение современных методов дистанционного зондирования [4], включая индекс NDWI, способствует формированию мероприятий по управлению гидрологическими изменениями. В городе Углич представлены как крупные, так и малые водотоки, играющие важную роль в локальной экологии. По данным [5], суммарный приток от рек Дубна, Хотча и Медведица формирует около 29 % общего объема воды в Угличском водохранилище; за 2013–2018 гг. (рис. 1) отмечены значительные колебания этого показателя. Авторы указывают на критическую важность контроля сезонно-годовых изменений донных отложений, вызывающих уменьшение объема водоема и зарастание мелководных участков.



Рис. 1. Статистика объема притока воды в Угличское водохранилище за 2013–2018 гг., тыс. м³  
 Источник: составлено В.А. Шиловым.

Figure 1. Statistics of water inflow volume into the Uglich Reservoir for 2013–2018, thousand m³  
 Source: compiled by the V.A. Shilov.

Полевые исследования подтверждают, что наибольшая нагрузка на водные объекты в малых городах исходит от неорганизованных хозяйственно-бытовых стоков и поверхностных водосбросов, возникающих при строительстве и благоустройстве прилегающих территорий [2; 8]. Эти факторы влекут ухудшение качества воды, обмеление рек и сокращение биоразнообразия, что особо критично для малых городов с их рекреационными функциями.

Использование геоинформационных систем (ГИС) упрощает поиск зон эрозии, обмеления и загрязнения, особенно в условиях урбанизации [5; 6; 10; 12]. Для малых городов это обеспечивает быстрый анализ территорий с учетом туристского потенциала и проектирование инфраструктурных решений [7]. Исследования [4–9; 11] указывают на комплексность проблем сохранения водных ресурсов и предлагают, помимо охранных зон

и восстановления природных ландшафтов, внедрять инновационные системы очистки поверхностных стоков.

Работа [13] показывает, что техногенные воздействия увеличивают глубину залегания подземных вод на 6–7 м и минерализацию до 10,3 г/л, снижая потенциал водоснабжения. Исследование [14] на примере Кумо-Маньчской впадины демонстрирует влияние гидротехнических сооружений: сток взвешенных наносов достигает 1,2 кг/м<sup>3</sup>, мутность воды возрастает на 33 %, а общий объем стока увеличивается в 10–20 раз. При этом [15] подчеркивает, что даже природные факторы (рельеф, климат, почвы и растительность) могут быть радикально изменены техногенными нагрузками.

**Цель исследования** – анализ трансформации водных объектов города, включая прибрежные зоны Волги и впадающих в нее городских ручьев за период 1985–2024 гг. с применением индекса NDWI и ГИС-моделирования, которая произошла под воздействием различных антропогенных параметров, влияющих на экосистемную устойчивость и поддержание рекреационной ценности гидрографии в условиях интенсивной урбанизации, что позволит моделировать будущие сценарии экологического развития территории.

## Материалы и методы

Город Углич, расположенный на правом берегу реки Волги в Ярославской области, отличается умеренно-континентальными климатическими условиями: средняя годовая температура достигает примерно +3,4 °С, а объем осадков колеблется в диапазоне 500–600 мм [5]. Данные природно-климатические характеристики способствуют формированию в городской черте целого ряда водотоков, среди которых можно выделить Каменный, Селивановский и Троицкие ручьи. Каменный ручей, являющийся правобережным притоком Волги, выбран в качестве ключевого объекта наблюдения ввиду значительных изменений его состояния, вызванных хозяйственной деятельностью и процессами благоустройства. Его протяженность составляет около 2,2 км, при этом устьевая часть преобразуется в залив длиной порядка 400 м и шириной около 40 м. Площадь водосбора ручья равна 3,12 км<sup>2</sup>, что повышает чувствительность этой акватории к антропогенному влиянию в пределах городской застройки.

В рамках исследования проведено дешифрирование космических снимков Landsat 5 (08.06.1985 г.) и Landsat 8 (28.06.2024 г.) с применением программного комплекса QGIS (версия 3.34) (рис. 2). Для уточнения режимов использования и правового статуса территорий была проанализирована Публичная кадастровая карта (рис. 3).

Источниками загрязнения водных объектов выступают поверхностный сток и отходы потребления. Подобное воздействие вызывает угнетение водных экосистем, способствует обмелению и ухудшению качества воды, а также сокращению площади водоемов, что негативно отражается на экологической обстановке в городе и снижает туристическую привлекательность Углича.



**Рис. 2. Дешифрирование фрагментов космических снимков:**

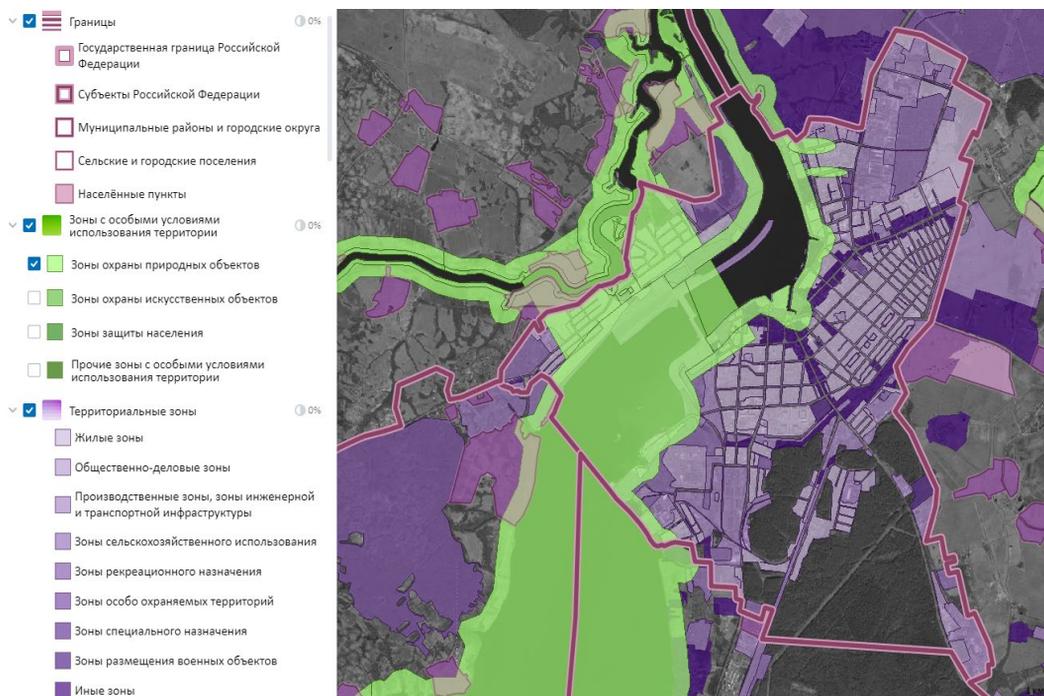
*a* – спутник: Landsat 5 от 08.06.1985; *б* – спутник: Landsat 8 от 28.06.2024

Источник: составлено В.А. Шиловым.

**Figure 2. Interpretation of Satellite Image Fragments:**

*a* – Satellite: Landsat 5 from 08.06.1985; *б* – Satellite: Landsat 8 from 28.06.2024.

Source: compiled by the V.A. Shilov.



**Рис. 3. Карта функциональных зон городского поселения Углич**

Источник: составлено В.А. Шиловым по данным публичной кадастровой карты.

URL: <https://ik5map.ros cadastres.com/map> (дата обращения: 15.01.2025).



**Figure 3. Map of Functional Zones of the Uglich**  
 Source: compiled by the V.A. Shilov.

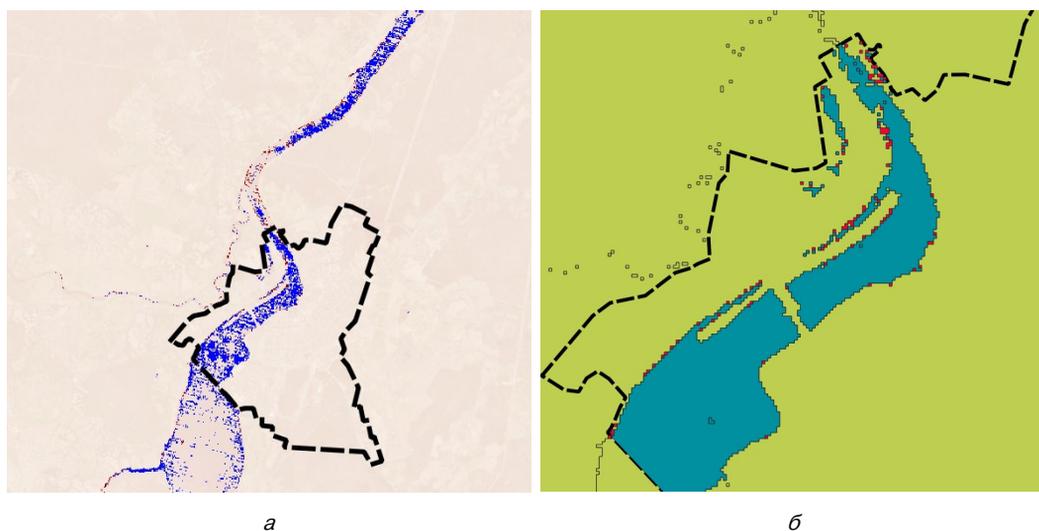
Для анализа изменений границ водоемов был применен индекс NDWI (Normalized Difference Water Index), который помогает выделить водные объекты на спутниковых снимках. NDWI рассчитывается как разница между значениями зеленого и ближнего инфракрасного каналов космического снимка, поделенная на их сумму [9]:

$$NDWI = \frac{\text{Зеленый канал} - \text{Ближний инфракрасный}}{\text{Зеленый канал} + \text{Ближний инфракрасный}} \quad (1)$$

Высокие значения индекса NDWI указывают на присутствие водных объектов, так как вода имеет низкое отражение в инфракрасном диапазоне и высокое в зеленом.

## Результаты и обсуждение

Сравнение индекса NDWI для р. Волги и ее притоков на территории города Углич в результате графического анализа послойного наложения моделей космических снимков 1985 и 2024 гг. указывает на сужение некоторых участков водоемов и изменение их контуров – красное множество точек на полученной сравнительной модели (рис. 4). В результате была составлена зависимость сокращения площади прибрежных зон р. Волги города Углич за исследуемый период, а также дан прогноз последующих изменений.



**Рис. 4. Модель изменения границ прибрежной зоны р. Волги города Углич в период с 1965 по 2024 г.:**

*а* – результат объединения космических снимков NDWI-обработки;

*б* – векторный анализ зон изменения площади

*Источник:* составлено В.А. Шиловым.

**Figure 4. Model of Changes in the Coastal Zone Boundaries of the Volga River in the City of Uglich from 1965 to 2024:**

*a* – result of merged satellite images processed with NDWI; *b* – vector analysis of area change zones.

*Source:* compiled by the V.A. Shilov.

В ходе проведенного анализа космических снимков в программном комплексе QGIS (версия 3.34) с применением индекса нормализованной разницы водного объекта (NDWI) и дальнейшей векторизации растровых данных была зафиксирована количественно оцениваемая динамика изменения площади реки Волги в пределах административных границ г. Углич. Согласно полученным данным, совокупная площадь прибрежных зон р. Волги сократилась примерно на 3,9 % (рис. 5), что соответствует 90 968,887 м<sup>2</sup>. Несмотря на кажущуюся незначительность данного показателя в абсолютном выражении, подобное уменьшение может оказать существенное влияние на экологическую стабильность локальных водных систем, особенно при рассмотрении малых водотоков и прибрежных зон, а также служить индикатором накопления загрязняющих веществ, донных отложений.

Идентифицированные преобразования могут быть обусловлены как антропогенными, так и природными факторами. К антропогенным причинам на указанной территории относятся интенсивное благоустройство прибрежных территорий, усиление урбанизации, изменения в использовании водных ресурсов и инженерные вмешательства в русловые процессы. Среди природных факторов следует выделить эрозионные процессы береговых линий, нестабильность гидрологических циклов, колебания климатических условий и снижение уровня осадков, что в совокупности может приводить к изменению контуров и площади водных объектов. Анализ архивных спутниковых снимков с 1985 по 2024 г. показывает, что сокращение прибрежных зон

р. Волги началось задолго до реконструкции прибрежных зон в 2023 г. Последние климатические изменения за исследуемое время усиливают эту тенденцию.

Аномально теплый, сухой и солнечный осенний период приводит к быстрому высыханию почв в бассейнах Верхней Волги и других рек, что вызывает поверхностное промерзание почвы (до 20 см) к началу зимы и последующее интенсивное впитывание талых вод, а теплая и сравнительно сухая весна с растянутым снеготаянием и дефицитом осадков способствует слабому половодью.

Стабильное повышение средних зимних температур ускоряет испарение воды, что в сочетании с работой каскада ГЭС в Верхневолжском бассейне, задерживающего поступление воды и способствующего заиливанию, привело к снижению водного баланса и постепенному сокращению прибрежных зон р. Волги. Происходящие явления требуют внедрения системного подхода по мониторингу экологических процессов на всем протяжении реки. Управленческие решения в сфере водохозяйственного комплекса должны основываться на комплексном анализе экологических показателей, включающем исследование состояния донных отложений и влияние хозяйственной деятельности на гидрографические объекты, тогда как в настоящее время такие решения принимаются без достаточного учета научных данных и экспертных оценок.

При доминировании антропогенной компоненты сокращение водной поверхности может рассматриваться как важный индикатор экологической нестабильности, указывающий на необходимость принятия стратегических мер по сохранению и восстановлению природных водных систем в контексте устойчивого развития городской среды.

Кроме того, наблюдается сужение отдельных участков Каменного ручья и реки Волги, особенно в зонах городской застройки, где проведено укрепление и выравнивание берегов. Эти изменения оказывают влияние на гидрологический режим, ограничивая естественное распространение воды и увеличивают антропогенное давление на экосистему водоемов. Недавнее благоустройство набережных и прилегающих территорий центральной части г. Углич (2023 г.) повысило туристическую привлекательность города, но одновременно усилило нагрузку на водные объекты.

Предлагается гипотетическая модель создания буферных зон, которые могли бы минимизировать влияние городской инфраструктуры на водные ресурсы. На рис. 6 представлена схема предполагаемых буферных зон, выделенных красной штриховой областью. Данные зоны включают в себя участки, расположенные вдоль основных мелких водотоков города с целью снижения загрязнения поверхностным стоком, улучшения водообмена и поддержания устойчивости экосистем.

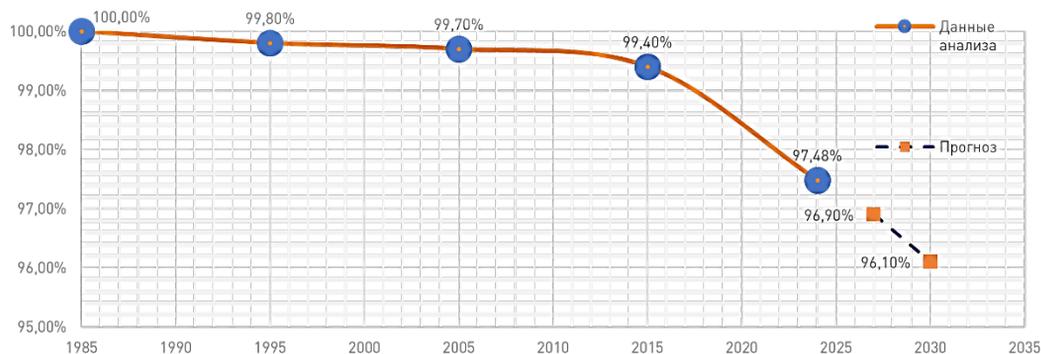


Рис. 5. Динамика сокращения площади прибрежных зон р. Волга  
Источник: составлено В.А. Шиловым.

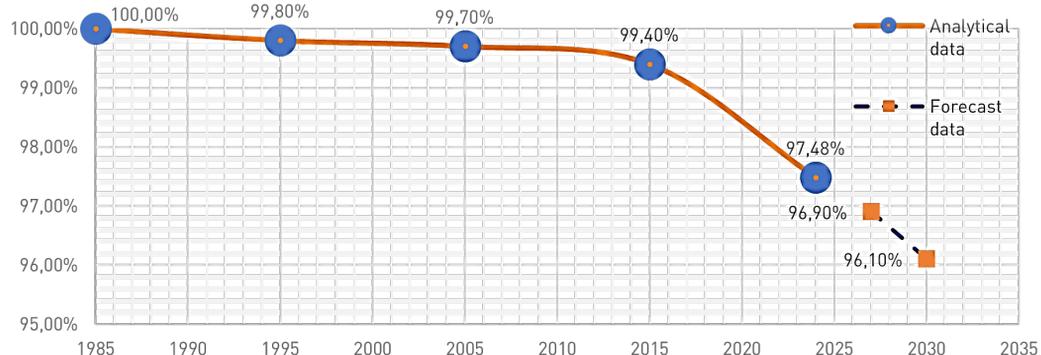


Figure 5. Dynamics of the Reduction in the Area of the Coastal Zones of the Volga River  
Source: compiled by the V.A. Shilov.



Рис. 6. Гипотетическая модель прогнозируемых буферных зон защиты ручьев на территории г. Углич  
Источник: составлено В.А. Шиловым.



**Figure 6. Hypothetical Model of Predicted Buffer Zones for Stream Protection in the Territory of Uglich**  
*Source:* compiled by the V.A. Shilov.

Буферная зона в данном исследовании рассматривается не как охранная зона в традиционном понимании требований Водного кодекса РФ (ст. 65 ВК РФ)<sup>1</sup> в части охраны водных ресурсов, а как территория, требующая особого внимания с экологической точки зрения. Это участки, на которых воздействие антропогенных факторов и природных изменений, таких как накопление отходов и загрязненный поверхностный сток с урбанизированных территорий, наиболее ярко проявляется, создавая угрозы для гидрологической и экологической устойчивости. Данная методология ГИС-моделирования буферных зон позволяет сосредоточить усилия на участках, где воздействие антропогенных факторов приводит к наиболее существенным изменениям гидрографии (в частности, малые водные объекты обладают ограниченными ресурсами для саморегуляции), и разработать стратегии по локализации и устранению источников загрязнений. Для эффективного управления буферными зонами требуется комплексный подход, включающий экологический мониторинг, разработку планов по рекультивации нарушенных территорий и внедрение природоподобных технологий<sup>2</sup>. Например, в контексте Углича создание буферных зон вдоль городских ручьев и его прибрежных территорий может включать мероприятия:

<sup>1</sup> Водный кодекс Российской Федерации : (Собрание законодательства Российской Федерации, 2006, № 23, ст. 2381) : новая редакция. 9-е изд. Москва : Ось-89, 2008.

<sup>2</sup> Указ Президента РФ от 28.02.2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» // Президент России : официальный сайт. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358> (дата обращения: 05.02.2025).

- по регенерации растительного покрова для предотвращения эрозии почвы;
- организации локальных систем очистки поверхностного стока;
- проведению регулярного экологического мониторинга с целью оценки состояния водных ресурсов.

## Выводы

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. ГИС-модели, полученные в ходе NDWI-обработки космических снимков, позволили выявить сокращение площади водных объектов примерно на 3,9 % (90 968,9 м<sup>2</sup>), что может оказывать существенное воздействие на гидрологический режим, биоразнообразие и рекреационную ценность водных ресурсов малых городов, повышая уязвимость данных экосистем к антропогенной нагрузке при интенсивной урбанизации.

2. Использование ГИС-инструментария эффективно для выявления территорий повышенной экологической уязвимости как в режиме реального времени, так и при анализе долгосрочных трансформаций, с учетом особенностей ландшафта и анализа техногенных объектов инженерной инфраструктуры.

3. Внедрение экологически безопасных инфраструктурных решений необходимо осуществлять через пространственную идентификацию и моделирование буферных зон уязвимых территорий, имеющих экологические проблемы, которые могут быть определены методами ГИС-анализа камерально.

4. Усиление системного контроля соблюдения требований водоохранного законодательства, разработка мероприятий по охране окружающей среды с использованием современных методов, включая дистанционное зондирование и пространственный анализ, являются актуальными задачами для сохранения природных ресурсов малых городов, таких как Углич, что даст возможность минимизировать экологический ущерб и повысить привлекательность города для туристов.

5. Разработка экологически безопасных технологий и включение природоподобных решений в инфраструктурные проекты, воспроизводящие системы и процессы живой природы в виде технических систем и технологических процессов и интегрированные в природную среду и естественный природный ресурсооборот, позволят не только снизить экологические риски, но и повысить эффективность управления водными ресурсами.

## Список литературы

- [1] Гапеева М.В., Законнов В.В. Геохимическая характеристика экосистемы Угличского водохранилища // Труды ИБВВ РАН. 2016. Вып. 75 (78). С. 41–46. <http://doi.org/10.24411/0320-3557-2016-10019> EDN: YRNVGX

- [2] Бекболов А.А., Абилов А.Ж. Малые города как фактор устойчивого развития // Наука и образование сегодня. 2020. № 6–1 (53). С 88–91. EDN: BIQBVС
- [3] Вавулин К.Е., Малая Е.В. Концепция устойчивого развития малых исторических городов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Т. 20. № 4. С. 5–12. EDN: SUFRBK
- [4] Копосова Н.Н., Волкова А.В. Особенности развития устойчивой городской окружающей среды // Успехи современного естествознания. 2020. № 12. С. 98–103. <http://doi.org/10.17513/use.37544> EDN: VXNXDK
- [5] Лупанова И.А., Крутенко С.А., Григорьева И.Л., Федорова Л.П. Комплексный мониторинг Угличского водохранилища // Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление : сб. м-лов Всерос. науч.-практ. конф., г. Сочи, 23–29 сентября 2019 г. Новочеркасск : Лик, 2019. С. 259–266. EDN: NICZOD
- [6] Борзенков А.А. Влияние поверхностного стока урбанизированных территорий на русловые процессы (на примере г. Курска) // Эрозионные, русловые процессы и проблемы гидроэкологии : материалы V семинара молодых ученых вузов. Москва : МГУ, 2004. С. 55–57.
- [7] Курочкина В.А. Водные объекты как основа организации открытых общественных пространств и инструмент трансформации урбосистем // Вестник Евразийской науки. 2020. Т. 12, № 5. URL: <https://esj.today/PDF/63SAVN520.pdf> (дата обращения: 23.01.2025). <http://doi.org/10.15862/63SAVN520> EDN: WERBQT
- [8] Черепанов К.А. Влияние экологических свойств городских территорий на формирование городской среды // Технические науки в России и за рубежом : м-лы IV Международ. науч. конф. Москва, январь 2015 г. Москва : Буки-Веди, 2015. С. 99–105. EDN: TREBRV
- [9] Ndehedehe C. Anthropogenic Influence on Terrestrial Hydrology // Satellite Remote Sensing of Terrestrial Hydrology. Springer Cham, 2022. P. 283–289. [http://doi.org/10.1007/978-3-030-99577-5\\_12](http://doi.org/10.1007/978-3-030-99577-5_12)
- [10] Sharannya T.M., Mahesha A. Assessing Hydrological Changes in Response to Climate and Anthropogenic Factors // Modern River Science for Watershed Management. Water Science and Technology Library. Vol. 128. Springer Cham, 2024. P. 59–69. [http://doi.org/10.1007/978-3-031-54704-1\\_5](http://doi.org/10.1007/978-3-031-54704-1_5)
- [11] Bosmans J.H.C., van Beek L.P.H., Sutanudjaja E. H., Bierkens M.F.P. Hydrological Impacts of Global Land Cover Change and Human Water Use // Hydrology and Earth System Sciences. 2017. Vol. 21, iss. 11. P. 5603–5626. <http://doi.org/10.5194/hess-21-5603-2017>
- [12] Станис Е.В. Изменение гидросферы под воздействием подземной добычи угля // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2004. № 1. С. 99–103. EDN: ПХТКВ
- [13] Позилов М.Н., Каримова Ф.С., Фарходова Ф.Ш. Возможные изменения гидрогеологических условий региона в связи с нарушением естественного процесса водообмена // Экономика и социум. 2024. № 3-1 (118). С. 807–812. EDN: GQDUYT
- [14] Базелюк А.А. Изменение гидрографии и стока рек Кумо-Манычской впадины под влиянием антропогенной деятельности // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2007. № 2. С. 89–90. EDN: LAFRND
- [15] Геращенко И.Н. Особенности гидрографии и гидрологии Северного Кавказа // Таврический научный обозреватель. 2017. № 3-1 (20). С. 106–113.

## References

- [1] Gapeeva MV, Zakonnov VV. Geochemical characteristics of the Uglich Reservoir ecosystem. *Proceedings of IBVV RAS*. 2016;75:41–46. (In Russ.) <http://doi.org/10.24411/0320-3557-2016-10019> EDN: YRNVGX
- [2] Bekbolov AA, Abilov AZh. Small towns as a factor of sustainable development. *Science and Education Today*. 2020;(6-1):88–91. (In Russ.) EDN: BIQBVC
- [3] Vavulin KE, Malaya EV. Concept of sustainable development of small historical towns. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2020;20(4):5–12. (In Russ.) EDN: SUFRBK
- [4] Kuposova NN, Volkova AV. Features of the development of a sustainable urban environment. *Advances in Current Natural Sciences*. 2020;(12):98–103. (In Russ.) <http://doi.org/10.17513/use.37544> EDN: VXNXDK
- [5] Lupanova IA, Krutenko SA, Grigoryeva IL, Fedorova LP. Comprehensive monitoring of the Uglich Reservoir. In: *Reservoirs of the Russian Federation: Modern Ecological Problems, State, Management. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Sochi, September 23–29, 2019*. Novocherkassk: Lik; 2019. p. 259–266. (In Russ.) EDN: HICZOD
- [6] Borzenkov AA. Influence of surface runoff from urbanized areas on channel processes (case study of Kursk). In: *Erosional and Channel Processes and Problems of Hydroecology. Proceedings of the V Seminar of Young University Scientists*. Moscow: MSU; 2004. p. 55–57. (In Russ.)
- [7] Kurochkina VA. Water bodies as the basis by open public spaces planning and an instrument of urban transformation. *The Eurasian Scientific Journal*. 2020;12(5). (In Russ.) Available from: <https://esj.today/PDF/63SAVN520.pdf> (accessed: 23.01.2025). <http://doi.org/10.15862/63SAVN520> EDN: WERBQT
- [8] Cherepanov KA. Influence of ecological properties of urban areas on the formation of the urban environment. In: *Technical Sciences in Russia and Abroad. Proceedings of the IV International Scientific Conference, Moscow, January 2015*. Moscow: Buki-Vedi publ.; 2015. p. 99–105. (In Russ.) EDN: TREBRV
- [9] Ndehedehe C. Anthropogenic influence on terrestrial hydrology. In: *Satellite Remote Sensing of Terrestrial Hydrology*. Springer Cham; 2022. p. 283–289. [http://doi.org/10.1007/978-3-030-99577-5\\_12](http://doi.org/10.1007/978-3-030-99577-5_12).
- [10] Sharannya TM, Mahesha A. Assessing hydrological changes in response to climate and anthropogenic factors. In: *Modern River Science for Watershed Management. Water Science and Technology Library*. Vol. 128. Springer Cham; 2024. p. 59–69. [http://doi.org/10.1007/978-3-031-54704-1\\_5](http://doi.org/10.1007/978-3-031-54704-1_5).
- [11] Bosmans JHC, van Beek LPH, Sutanudjaja EH, Bierkens MFP. Hydrological impacts of global land cover change and human water use. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2017;21(11):5603–5626. <http://doi.org/10.5194/hess-21-5603-2017>.
- [12] Stanis EV. Hydrosphere changing under effect underground output coil. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2004;(1):99–103. (In Russ.)
- [13] Pozilov MN, Karimova FS, Farkhodova FSh. Possible changes in the hydrogeological conditions of the region due to disruption of the natural water exchange process. *Economy and Society*. 2024;(3-1):807–812. (In Russ.) EDN: GQDUYT
- [14] Bazelyuk AA. Changes in hydrology and river flow of the Kumo-Manych Depression under anthropogenic impact. *Bulletin of Higher Education Institutes. North Caucasus Region. Series: Natural Sciences*. 2007;(2):89–90. (In Russ.) EDN: LAFRND
- [15] Gerashchenko IN. Features of hydrology and hydrography of the North Caucasus. *Taurida Scientific Review*. 2017;(3-1):106–113. (In Russ.)

**Сведения об авторах:**

*Шилов Владимир Александрович* – аспирант, ассистент кафедры «Инфраструктура и транспорт», Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, Ярославль, Московский проспект, д. 88. eLIBRARY SPIN-код: 7471-6675. E-mail: shilovva@ystu.ru

*Ладыгина Ольга Викторовна* – кандидат технических наук, заведующий кафедры «Инфраструктура и транспорт», Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, Ярославль, Московский проспект, д. 88. E-mail: ladyginaov@ystu.ru

**Bio notes:**

*Vladimir A. Shilov* – PhD student, Assistant at the Department of Infrastructure and Transport, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky Prospekt, Yaroslavl, 150023, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 7471-6675. E-mail: shilovva@ystu.ru

*Olga V. Ladygina* – Ph.D. in Technical Sciences, Head of the Department of Infrastructure and Transport, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky Prospekt, Yaroslavl, 150023, Russian Federation. E-mail: ladyginaov@ystu.ru