

# Определение приоритетных мест для внедрения компенсационных систем на основе оценки опасности затопления в г. Екатеринбурге



**Русинова  
Александра  
Дмитриевна**

лаборант-исследователь, Институт строительства и архитектуры, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ), Екатеринбург, Российская Федерация

e-mail:  
rusinova.alexandra.d@yandex.ru

В статье разработана оценка уровня опасности затопления мест в городе Екатеринбурге. Классификация мест затопления определена в зависимости от количественных показателей. Результатом работы является определение приоритетных городских территорий для внедрения компенсационных систем водно-зеленой инфраструктуры.

**Ключевые слова:** градостроительство, инженерное благоустройство, компенсационные мероприятия, количественные показатели затопления, оценка мест затопления

*Rusinova A. D., Tiganova I. A.*

*Identification of priority locations for the implementation of compensatory systems based on the assessment of the risk of flooding in Yekaterinburg*

*The article offers an assessment of the level of danger of flooding places in the city of Yekaterinburg. The classification of flooding sites is determined depending on quantitative indicators. The result of the work is the identification of priority urban areas for the implementation of compensatory systems of water-green infrastructure.*

*Keywords: urban planning, engineering improvement, compensatory measures, quantitative indicators of flooding, assessment of flooding sites.*



**Тиганова  
Ирина  
Александровна**

кандидат технических наук, доцент, Институт строительства и архитектуры, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ), Екатеринбург, Российская Федерация

e-mail: i.a.tiganova@urfu.ru

## Введение

Отвод поверхностного стока является одной из основных задач при освоении городских территорий и влияет на качество городской среды. Сегодня о теме экологического благополучия говорят по всему миру. При этом проблема отвода поверхностного стока на городских и промышленных территориях остается актуальной. В крупных городах наблюдается тенденция увеличения площадей водонепроницаемых покрытий [1], что, в свою очередь, приводит к увеличению объема поверхностного стока. Асфальт и другие водонепроницаемые покрытия выполняют роль «панциря», который задерживает влагу на поверхности и не дает ей просочиться в грунт. Происходит изменение скоростей движения ливневых потоков, инфильтрационных свойств покрытий, на которые выпадают осадки, и грунтов. Затопление городских территорий в периоды интенсивных дождей существенно затрудняет функционирование городской инфраструктуры, ограничивает движение автомобилей, общественного транспорта и пешеходов, создает затруднения, порой исключая возможность перемещения всех участников движения.

Информация о масштабах и влиянии мест затопления необходима как для участников дорожного движения с целью корректировки запланированного маршрута, так и для управляющих организаций с целью разработки надлежащих планов по модернизации существующих водоотводящих систем. Одним из перспективных направлений энергоресурсосбережения в области водоснабжения и водоотведения является использование в городских, промышленных и частных объектах дождевой воды [5].

Настоящее исследование закладывает основу для дальнейшей разработки предложений по внедрению компенсационных мероприятий в направлении поверхностного водоотвода. Компенсационные мероприятия включают в себя различные технологии озеленения, например, «система дождевого сада» [16]. Система может включать в себя один или несколько биоинженерных сооружений, каскады дождевых садов, реке водно-болотные угодья или задерживающие бассейны. В зависимости от назначения система может иметь одну или несколько функций: накопление стока, транспортировка стока, фильтрация, инфиль-

трация, транспирация и испарение. Специалисты отмечают, что внедрение «зеленых» технологий позволяет уменьшить нагрузку на очистные сооружения (ОС) до 75–80% от общего объема поверхностного стока, что влияет на выбор оборудования ОС и общую стоимость устройства и последующей эксплуатации [10].

В основу исследования легли положения и выводы, сформулированные в трудах российских и зарубежных ученых, научных групп о внедрении компенсационных систем водно-зеленой инфраструктуры в городскую среду: А.В. Крашенинников [1], О.А. Логинова [2], А.Г. Мелехин [3], С.М. Михайлова [4], В.А. Орлов [5], С.В. Чибирева [10], И.С. Щукин [3]. Данная работа развивает положения исследований темы водно-теплового баланса и инженерной подготовки территории, ранее проводимых на кафедре Городского строительства УрФУ А.А. Беляевым, И.А. Тигановой, В.Г. Шауфлером [7–9], а также раскрывает положения, опубликованные в «Стандарте комплексного благоустройства улично-дорожной сети Екатеринбурга» [6].

За последние несколько десятилетий чрезвычайные ситуации, связанные с затоплением городских улиц, часто происходили в таких западных городах, как Нью-Йорк, Лондон, а также в крупнейших городах развивающихся стран, таких как Пекин и Бангкок [12]. В Шотландии в 2009 г. агентство по охране окружающей среды (SEPA) было назначено ответственным за предварительную оценку рисков, карты опасностей наводнений и карты наводнений. На картах показаны районы, которые могут быть затоплены реками, морем и поверхностными водами [13]. Ключевым инструментом снижения риска затопления городских территорий является продвижение компенсационных систем поверхностного водоотвода (SUDS). В соответствии с законом о водной среде и водоснабжении с 2003 г. такие системы применяются по всей Шотландии [11].

В городских районах Вьетнама, несмотря на инвестиции в ремонт и модернизацию системы поверхностного водоотвода, проблема с затоплением улиц была всегда. В нормативных документах в полной мере не было отражено то, как определять параметры для классификации наводнений и влияние наводнений на транспортную инфраструктуру. Проведенное вьетнамскими специалистами исследование для разработки набора качественных критериев

оценки и классификации мест затопления позволило более эффективно управлять городской инфраструктурой [15].

На основе анализа литературных источников и нормативной базы можно сделать вывод, что отечественная методическая база имеет перспективы развития в вопросах оценки мест затопления городских территорий во время интенсивных дождей. Выявление таких участков должно решаться в каждом конкретном случае индивидуально с учетом природно-климатических, гидрологических и планировочных особенностей рассматриваемой территории.

**Объект исследования:** территория г. Екатеринбурга, подверженная затоплению во время интенсивных дождей.

**Предмет исследования:** инженерное благоустройство в части организации поверхностного водоотвода.

#### **Отвод дождевых вод с городских территорий**

В городских населенных пунктах наиболее часто встречаются традиционные системы ливневой канализации с сооружениями для физической и химико-биологической очистки. Согласно СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения» среднее числовое значение  $P = 1$ , принимаемое при расчетах отвода воды с городских магистралей, предполагает, что только один раз в течение года реальная интенсивность дождя может превысить интенсивность расчетного дождя. Это означает, что из среднего числа дождей за год (150 для г. Екатеринбурга) водосточные системы должны пропустить стоки 149 дождей, и лишь один раз в течение года при выпадении дождя с интенсивностью большей, чем у расчетного, могут произойти затопления улиц. Однако в действительности затопления улиц происходят намного чаще. Из-за изменения длины дождевых периодов [14] ливневая канализация в российских городах не справляется с объемами поверхностного стока, поэтому наблюдается эпизодическое затопление городских территорий.

В зарубежных странах для решения данной проблемы распространено внедрение в городскую среду «компенсационных систем поверхностного водоотвода» (SUDS). Данные системы считаются наиболее эффективными, имеют небольшую стоимость и высокую экологичность [4]. Так, в США развиты такие направления, как «Экологическое Управление Ливневыми стоками»

(Ecological Stormwater Management — ESM), а также «Low Impact Design — LID» (технология экологически щадящего подхода к дизайну территории, цель которого состоит в управлении городскими ливневыми стоками). В Великобритании есть похожая программа — «Устойчивые дренажные системы» (Sustainable Drainage Systems — SuDS), в Австралии развита технология управления ливневыми стоками «Water Sensitive Urban Design — WSUD» [4]. Все эти действия направлены на создание устойчивой системы городского водоотведения, и компенсационные мероприятия типа устройства системы дождевых садов здесь являются ключевым элементом. В данной работе под «системой дождевых садов» понимаются два и более биоинженерных сооружения, связанные между собой, работающие как единая система поверхностного водоотвода и дополняющая закрытую систему дождевой канализации.

#### **Критерии и классификации величин затопленных мест**

В рамках разработки Стандарта комплексного благоустройства улично-дорожной сети, проведенной на кафедре Городского строительства в 2019–2020 гг., был выполнен анализ участков улиц, подверженных затоплению при интенсивных дождях. Результатом анализа стало выявление взаимосвязи между положением участков улиц, склонных к затоплению во время дождя, в плане города и их расположением на рельефе, а также территорий, которые в силу своего расположения на рельефе имеют наибольшую природную ценность и могут быть рекомендованы к раскрытию их потенциала в части формирования водно-зеленого каркаса города [6]. Данный анализ стал основой для введения новой типологии улиц: собирающая, распределяющая и перехватывающая. Далее предлагается ввести оценку затопления городских территорий для определения приоритета конкретного места для внедрения компенсационных мероприятий.

#### **Исследование территории г. Екатеринбурга на затопление во время интенсивных дождей**

Выделение отдельных участков в соответствии с классификацией выполнено на основе данных опросов эксплуатирующих организаций и натуральных обследований, зафиксированных в разные годы. Территория затопления оценивалась исходя из следующих параметров:

Таблица 1. Критерии и пределы определения и классификации величины затопленных мест

Классификация мест затопления	Оценка места затопления	Критерии				
		Глубина слоя осадков	Площадь затопления	Продолжительность затопления	Воздействие на транспорт	Воздействие на пешехода
Не затоплена	0	< 10 см	—	—	Транспорт не сталкивается с препятствиями, нет трудностей в перемещении. Пропускная способность не снижена	Пешеход не испытывает трудностей в перемещении
Слегка затоплена	1	10–15 см	< 2 000 м <sup>2</sup>	Вода полностью уходит в течение 30 мин после прекращения дождя	Транспорт сталкивается с трудностями при движении и вынужден немного снизить скорость. Пропускная способность снижается	Снижена скорость передвижения
Умеренно затоплена	2	15–30 см	2 000 — 4 000 м <sup>2</sup>	Вода уходит в течение 30–120 мин после прекращения дождя	Транспортные средства сталкиваются с трудностями при движении и вынуждены значительно снизить скорость. Пропускная способность значительно снижается. Наблюдается прерывистость поездки	Пешеход испытывает трудности в перемещении
Сильно затоплена	3	20–30 см	4 000 — 6 000 м <sup>2</sup>	Вода полностью не уходит в течение 120–360 мин	Транспортные средства сталкиваются с многочисленными препятствиями и движутся с перерывами. Пропускная способность сильно снижена	Пешеход испытывает значительные трудности в перемещении. Местами движение невозможно
Катастрофическое затопление	4	> 30 см	> 6 000 м <sup>2</sup>	Вода полностью не уходит > 360 мин	Большинство транспортных средств сталкиваются с перерывами в движении. Движение перегружено	Опасно для передвижения пешеходов

— *глубина воды на затопленном участке*. Параметр, напрямую влияющий на скорость движения автомобиля, пропускную способность улицы в момент затопления. Если улицы будут сильно затоплены, движение будет остановлено [15];

— *площадь участка затопления*. Это параметр, напрямую влияющий на время в пути [15];

— *продолжительность отступления воды*. Это параметр, указывающий, в течение какого времени территория остается затопленной после прекращения дождя;

— *влияние на пешеходный и транспортный трафик*. Это параметр, отражающий трудности при перемещении по затопленной территории каждого участника движения [15].

В ходе анализа было выделено 49 мест затоплений в г. Екатеринбурге во время интенсивных дождей (Иллюстрация 1). Среди рассмотренных мест у 49% наблюдается ежегодная повторяемость затоплений, что увеличивает необходимость усовершенствования системы поверхностного водоотвода. Глубина слоя осадков имеет большой диапазон и варьируется от 5 до 50 см при продолжительности интенсивного дождя от 10–20 минут.

Рассмотренные участки города были сгруппированы с выделением наиболее характерных показателей. На основе собранных данных предлагаются следующие пределы определения и классификации величины затопленных мест для оценки

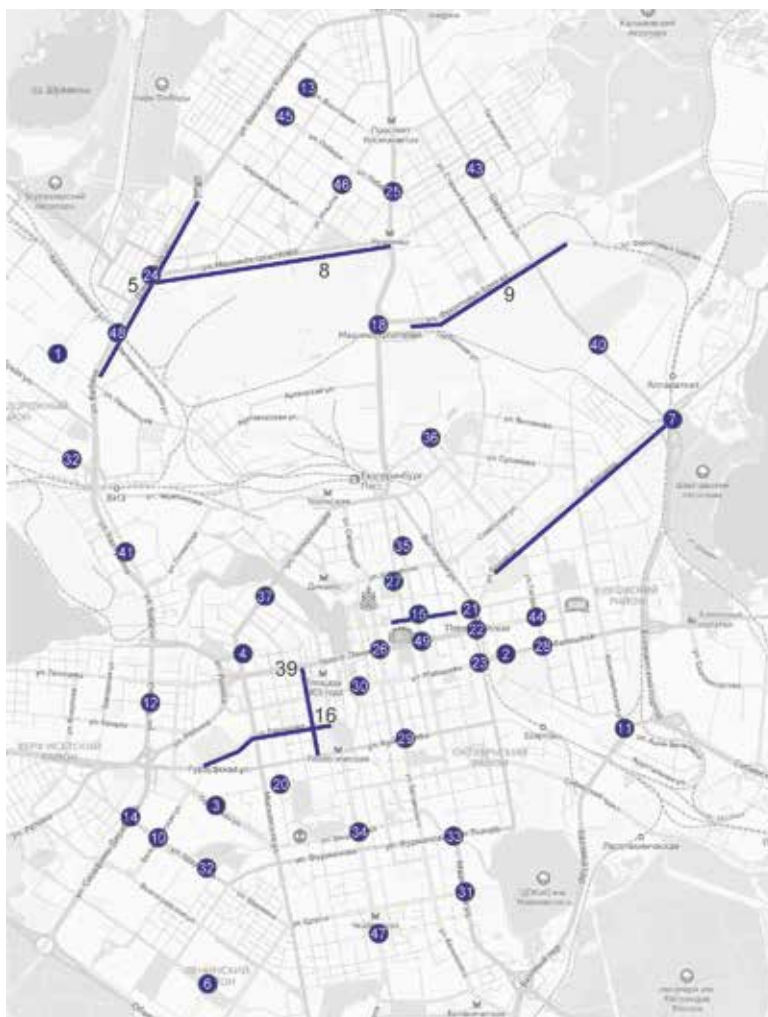


Иллюстрация 1. Схема затопления территории во время дождя в г. Екатеринбурге. Автор А. Д. Русинова. 2023 г.

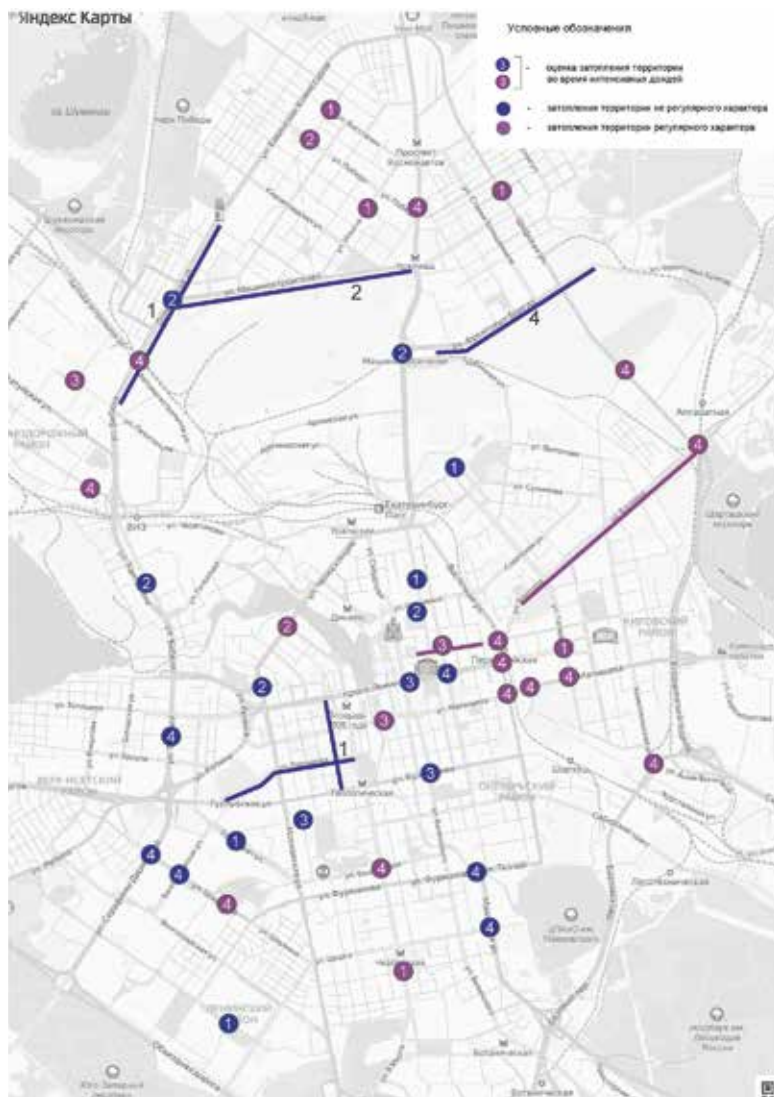


Иллюстрация 2. Схема оценки затопления территории во время дождя в г. Екатеринбурге. Автор А. Д. Русинова. 2023 г.

по опасности затопления во время ливней (Таблица 1), где оценка «0» является показателем незатопленной территории, а оценка «4» — катастрофически затопленной.

### Оценка мест затоплений в период интенсивных дождей в г. Екатеринбурге

В ходе исследования были выявлены участки территории, которые регулярно затапливаются в период интенсивных дождей. Оценка мест затопления была выполнена на основании критериев, приведенных в Таблице 1. Основным критерием для определения оценки являлся показатель «глубина слоя осадков». Если значение одного из пяти критериев превышало указанные значения, оценка повышалась на один балл.

В результате были установлены основные причины затопления городской территории Екатеринбурга:

— *климатические особенности региона*, включая изменение дождевых периодов из одно- и двухсуточных в многосуточные;

— *геоморфологические особенности территории города*, включая величину уклона, расположение на рельефе, в том числе пониженных участков местности, игнорирование при застройке сложившейся системы водостока;

— *особенности инженерного благоустройства*, включая большое количество водонепроницаемых покрытий и отсутствие либо малое количество озеленения, наличие разрушенных покрытий;

— *нарушение работы дождевой канализации*, включая засорение элементов системы, несоответствие диаметров объему отводимого стока, износ магистральных сетей, недостаточная обеспеченность дождеприемными колодцами.

Как правило, на выделенных улицах встречается совокупность вышеперечисленных факторов.

Территории, которые регулярно затапливаются, имеют наивысшую оценку — «4» и классифицируются как «катастрофически затопленные», являются наиболее приоритетными для внедрения компенсационных мероприятий. Определено следующее соотношение опасности затопления:

- оценка «1» (слегка затопляемая) — 23%;
- оценка «2» (умеренно затоплена) — 19%;
- оценка «3» (сильно затоплена) — 15%;
- оценка «4» (катастрофически затоплена) — 48%.

Из 49 выделенных мест затоплений 48% имеют катастрофически опасное затопление и являются приоритетными для внедрения компенсационных мероприятий. При таком затоплении большинство транспортных средств сталкиваются с перерывами в движении, а передвижение для пешеходов становится опасным или невозможным.

Отмечена определенная конфигурация затоплений: локальное (на перекрестке двух улиц или на дворовых территориях) и линейное (на протяжении всей или части улицы). Это может повлиять на выбор компенсационного мероприятия для конкретной территории.

По территориальному распределению места, представляющие наибольшую опасность, расположены преимущественно в восточной части города. Данное распределение обосновывается геоморфологическими и планировочными особенностями территории.

### Заключение

Антропогенное влияние на ландшафт городской среды при инженерном освоении территории и развитии городских инфраструктур приводит к изменению скоростей и направлений потоков дождевой воды, образующейся на водосборных территориях. Строительство дорог и зданий снижает естественные фильтрационные свойства поверхности и увеличивает скорость поверхностных стоков. На увеличение объема воды, отводимого в закрытую систему, также влияет увеличение дождевых периодов: из одно- и двухсуточных в многосуточные.

В ходе анализа инженерного благоустройства города были определены затапливаемые участки улиц в г. Екатеринбурге (Иллюстрация 1). Среди них 49% подвержены регуляр-

ному затоплению в период интенсивных дождей (Иллюстрация 2). Была предложена количественная классификация мест для оценки по опасности затопления во время интенсивных дождей. Затопление происходит даже на улицах, оборудованных системой ливневой канализации. 48% выделенных мест является «катастрофически затопляемыми» согласно предложенной классификации (Таблица 1). Такие территории являются приоритетными для внедрения компенсационных мероприятий, которые служат закономерным эволюционным этапом развития открытой и комбинированной системы поверхностного водоотвода. В дальнейшем исследования должны быть направлены на определение типов и размеров биоинженерных сооружений в выделенных местах. В условиях сложившейся застройки комбинированная работа ливневой канализации и биоинженерных сооружений способна улучшить работу систем водоотведения и исключить затопление городских территорий.

### Список использованной литературы

- [1] Крашенинников А. В., Садковская О. Е. Градостроительная реконструкция малых и средних городов с учетом изменения климата // *Sciences of Europe*. — 2017. — № 18–2 (18). — С. 3–12.
- [2] Логинова О. А., Азаревич Э. Н. Улучшение организации водоотвода на улично-дорожной сети Казани // *Изв. КГАСУ*. — 2020. — № 4 (54). — С. 112–120.
- [3] Мелехин А. Г., Шукин И. С. Анализ существующих биоинженерных сооружений очистки поверхностного стока и возможности их применения в условиях Западного Урала // *Вестн. Перм. нац. исслед. политех. ун-та. Строительство и архитектура*. — 2013. — № 2. — С. 40–51.
- [4] Михайлова С., Бродач М. Дождевые сады как элемент системы устойчивого развития города // *Здания высоких технологий*. — 2017. — Т. 1. — № 1–1. — С. 18–27.
- [5] Орлов В. А., Волкова Л. А., Литвиненко Л. Л. Экологические аспекты использования поверхностного стока для подпитки систем оборотного водоснабжения промышленного предприятия // *Экосистемы, их оптимизация и охрана*. — 2012. — № 6 (25). — С. 251–256.
- [6] Стандарт комплексного благоустройства объектов улично-дорожной сети Екатеринбурга, утвержденный Приказом Администрации города Екатеринбурга «Об утверждении Стандарта комплексного благоустройства объектов улично-дорожной сети Екатеринбурга» от 05.07.2021 г. № 2/41/0132.
- [7] Тиганова И. А. Водонепроницаемые покрытия: эволюция инженерного благоустройства города // *Архитектон: известия вузов*. — 2015. — № 3 (51).
- [8] Тиганова И. А. Индекс водного баланса застраиваемой территории // *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. — 2013. — № 4. — С. 30–32.
- [9] Тиганова И. А., Банникова Л. А., Байбородова О. Д. Рекомендации по благоустройству улиц г. Екатеринбурга с учетом характеристики ландшафта // *Актуальные проблемы строительства, природообустройства, кадастра и землепользования: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф., Махачкала, 14 мая 2022 г.* — Махачкала: ООО «Издательство АЛЕФ», 2022. — С. 207–211.
- [10] Чибиряева С. В. Дождевой сад как актуальная форма городского ландшафта // *Великие реки 2015: тр. конгресса 17-го Междунар. науч.-пром. форума: в 3 т., Нижний Новгород, 19–22 мая 2015 г.* / Нижегород. гос. арх.-строит. ун-т. — Н. Новгород: Нижегород. гос. арх.-строит. ун-т, 2015. — С. 320–323.
- [11] Houston D., Werrity A., Bassett et al. Pluvial (rain-related) flooding in urban areas: the invisible hazard. — York: Univ. of Dundee, 2011. — 92 p.
- [12] Jie Yin, Dapeng Yu, Zhane Yin, Min Liu. Evaluating the impact and risk of pluvial flash flood on intra-urban road network: A case study in the city center of Shanghai, China // *J. of Hydrology*. — 2016. — № 537. — P. 38–145.
- [13] Scottish Environment Protection Agency (SEPA). — URL: <https://www.sepa.org.uk/environment/water/flooding/> (дата обращения: 30.01.2023).
- [14] United Nations Statistics Division. The United Nations world water development report 2020: water and climate change. — Paris: UNESCO, 2020. — 219 p.
- [15] Viet-Phuong Nguyen, Tuan-Hung Pham, Thi-Thuy-Ha Ung, Tung Hoang, Ngoc-Tu Tong. Proposal of a set of quantitative criteria for evaluating and classifying urban street flooding spots in Vietnam // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. — 2020. — № 869. — P. 1–4.
- [16] Woods Ballard T., Wilson S., Udale-Clarke H. The SuDS Manual. — London: CIRIA, 2015. — 937 p.

### References

- [1] Krashennnikov A.V., Sadkovskaya O.E. Gradostroitel'naya rekonstrukciya malyh i srednih gorodov s uchetom izmeneniya klimata // *Sciences of Europe*. — 2017. — № 18–2 (18). — S. 3–12.
- [2] Loginova O. A., Azarevich E. N. Uluchshenie organizacii vodootvoda na ulichno-dorozhnoj seti Kazani // *Izv. KGASU*. — 2020. — № 4 (54). — S. 112–120.
- [3] Melekhin A.G., Shchukin I.S. Analiz sushchestvuyushchih bioinzhenernyh sooruzhenij ochistki poverhnostnogo stoka i vozmozhnosti ih primeneniya v usloviyah Zapadnogo Urala // *Vestn. Perm. nac. issled. politekh. un-ta. Stroitel'stvo i arhitektura*. — 2013. — № 2. — S. 40–51.
- [4] Mihajlova S., Brodach M. Dozhdevye sady kak element sistemy ustojchivogo razvitiya goroda // *Zdaniya vysokih tekhnologij*. — 2017. — T. 1. — № 1–1. — S. 18–27.
- [5] Orlov V. A., Volkova L. A., Litvinenko L. L. Ekologicheskie aspekty ispol'zovaniya poverhnostnogo stoka dlya podpitki sistem obrrotnogo vodosnabzheniya promyshlennogo predpriyatiya // *Ekosistemy, ih optimizaciya i ohrana*. — 2012. — № 6 (25). — S. 251–256.
- [6] Standart kompleksnogo blagoustrojstva ob'ektov ulichno-dorozhnoj seti Ekaterinburga, utverzhdenyj Prikazom Administracii goroda Ekaterinburga «Ob utverzhdenii Standarta kompleksnogo blagoustrojstva ob'ektov ulichno-dorozhnoj seti Ekaterinburga» ot 05.07.2021 g. № 2/41/0132.
- [7] Tiganova I. A. Vodonepronicaemye pokrytiya: evolyuciya inzhenernogo blagoustrojstva goroda // *Arhitektion: izvestiya vuzov*. — 2015. — № 3 (51).
- [8] Tiganova I. A. Indeks vodnogo balansa zastroivaemoj territorii // *Akademicheskij vestnik UralNII-proekt RAASN*. — 2013. — № 4. — S. 30–32.

- [9] Tiganova I. A., Bannikova L. A., Bajborodova O. D. Rekomendacii po blagoustrojstvu ulic g. Ekaterinburga s uchedom harakteristiki landshafta // Aktual'nye problemy stroitel'stva, prirodobustrojstva, kadastra i zemlepol'zovaniya: sb. nauch. tr. mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Mahachkala, 14 maya 2022 g. — Mahachkala: OOO «Izdatel'stvo ALEF», 2022. — S. 207–211.
- [10] Chibiryaeva S. V. Dozhdevoj sad kak aktual'naya forma gorodskogo landshafta // Velikie reki' 2015: tr. kongressa 17-go Mezhdunar. nauch.-prom. foruma: v 3 t., Nizhnij Novgorod, 19–22 maya 2015 g. / Nizhegor. gos. arh.-stroit. un-t. — N. Novgorod: Nizhegor. gos. arh.-stroit. un-t, 2015. — S. 320–323.
- [11] Houston, D., Werrity, A., Bassett et al. Pluvial (rain-related) flooding in urban areas: the invisible hazard. — York: Univ. of Dundee, 2011. — 92 p.
- [12] Jie Yin, Dapeng Yu, Zhane Yin, Min Liu. Evaluating the impact and risk of pluvial flash flood on intra-urban road network: A case study in the city center of Shanghai, China // J. of Hydrology. — 2016. — № 537. — P. 38–145.
- [13] Scottish Environment Protection Agency (SEPA). — URL: <https://www.sepa.org.uk/environment/water/flooding/> (data obrashcheniya: 30.01.2023).
- [14] United Nations Statistics Division. The United Nations world water development report 2020: water and climate change. — Paris: UNESCO, 2020. — 219 p.
- [15] Viet-Phuong Nguyen, Tuan-Hung Pham, Thi-Thuy-Ha Ung, Tung Hoang, Ngoc-Tu Tong. Proposal of a set of quantitative criteria for evaluating and classifying urban street flooding spots in Vietnam // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2020. — № 869. — P. 1–4.
- [16] Woods Ballard T., Wilson S., Udale-Clarke H. The SuDS Manual. — London: CIRIA, 2015. — 937 p.

B. N. Yeltsin (UrFU), Yekaterinburg, Russian Federation  
e-mail: rusinova.alexandra.d@yandex.ru

**Tiganova Irina A.**  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Institute of Civil Engineering and Architecture, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Yekaterinburg, Russian Federation  
e-mail: i.a.tiganova@urfu.ru

Статья поступила в редакцию  
29.08.2023.  
Опубликована 30.09.2023.

**Rusinova Alexandra D.**  
Laboratory Assistant Researcher, Institute of Civil Engineering and Architecture, Ural Federal University named after the first President of Russia