

Инженерно-технический дизайн магистральных улиц с интеграцией элементов зеленой инфраструктуры

Елена Юрьевна Зайкова, София Сергеевна Феофанова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Климатические характеристики имеют ключевое значение в современной градостроительной практике. Увеличение количества атмосферных осадков «бросает вызов» устаревшим нормативным документам. Для повышения адаптационных возможностей городов к потеплению климата в 80-х гг. XX в. западными специалистами было предложено использовать зеленую инфраструктуру (ЗИФ). В нормативных документах РФ понятия, которое включало бы в себя применение науки и математики для решения проблемы подтопления городских пространств, еще не существует. Авторы предлагают свое видение решения обозначенной проблемы.

Материалы и методы. Дано авторское определение «инженерно-технического дизайна», указана разница между существующими видами действия в городской среде в этом вопросе, и выделены основные этапы внедрения данного определения в научную и практическую деятельность. Установлено, что часто подтапливаемые ливневыми водами городские территории в Москве — это магистральные улицы 2-го класса регулируемого движения в ЗАО. Проведен градостроительный анализ территории исследования с учетом климатических характеристик, обозначена роль ЗИФ и биоинженерных сооружений.

Результаты. Авторский расчет средней скорости потока ливневой воды в биоинженерном сооружении необходим для выбора размеров элементов ЗИФ, которые планируется разместить на территории. Скорость течения ливневой воды по непроницаемой поверхности почти в три раза выше, чем с сопротивлением почвы и растительности, в зависимости от уклона территории.

Выводы. Предложен вариант внедрения инженерно-технического дизайна на магистральной улице в Москве — Мичуринском проспекте, включающий дизайн-идею пространства с использованием структуры рукотворных биотопов. Ливневая вода аккумулируется и перераспределяется через биоинженерные сооружения, подпитывая растительность.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инженерно-технический дизайн, зеленая инфраструктура, биоинженерные сооружения, рукотворный биотоп, скорость потока ливневой воды, дух места, дизайн-код

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Зайкова Е.Ю., Феофанова С.С. Инженерно-технический дизайн магистральных улиц с интеграцией элементов зеленой инфраструктуры // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 8. С. 1260–1273. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.8.1260-1273

Автор, ответственный за переписку: София Сергеевна Феофанова, sonyafeofanova@mail.ru.

Engineering and technical design of main streets with integration of green infrastructure elements

Elena Yu. Zaykova, Sofia S. Feofanova

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Climatic characteristics are of key importance in modern urban planning practice. The increase in precipitation 'challenges' outdated normative documents. In order to increase the adaptive capacity of cities to climate warming in the 80s of the XX century, Western specialists proposed the use of green infrastructure (GIF). In the regulatory documents of the Russian Federation, the concept that would include the application of science and mathematics to resolve the problem of flooding urban spaces does not yet exist. The authors offer their own vision of solving this problem.

Materials and methods. The author's definition of "engineering and technical design" is given, the difference between the existing types of action in the urban environment is indicated, and the main stages of implementation are highlighted. The authors found that urban areas in Moscow that are often flooded by stormwater are main streets of the 2nd class of regulated traffic in the western administrative district. An urban planning analysis of the study area was carried out taking into account climatic characteristics, and the role of "green infrastructure" and bioengineering structures was also identified.

Results. The author's calculation of the average flow rate of stormwater in a bioengineered structure is necessary to select the size of the elements of the green infrastructure that are planned to be placed on the territory. The flow rate of stormwater over an impenetrable surface is almost three times higher than with soil and vegetation resistance, depending on the slope of the territory.

Conclusions. The variant of the implementation of engineering and technical design on the main street of Moscow — Michurinsky Prospekt, which includes the design idea of space using the structure of man-made biotopes, is offered. Storm water is accumulated and redistributed through bioengineered structures, feeding vegetation.

KEYWORDS: engineering and technical design, green infrastructure, bioengineering constructions, man-made biotope, stormwater flow rate, spirit of place, design code

FOR CITATION: Zaykova E.Yu., Feofanova S.S. Engineering and technical design of main streets with integration of green infrastructure elements. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(8):1260-1273. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.8.1260-1273 (rus.).

Corresponding author: Sofiia S. Feofanova, sonyafeofanova@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Климатические изменения неизбежно влекут за собой такие последствия, как повышение концентрации парниковых газов в атмосфере, удлинение тепловых волн и учащение подтоплений городов ливневыми водами. В городах уже отмечается повышение температуры вследствие изменения климата и прогнозируется усугубление потепления в будущем. Водные объекты на урбанизированных территориях могут способствовать снижению температуры и уменьшению эффекта теплового острова из-за процессов интенсивного испарения и высокой теплоемкости, а также за счет воздействия на местный воздушный поток [1]. Так, территории с водоемами, которые имеют более сложную форму и поддерживаются большим количеством зеленых насаждений рядом благоприятнее всего влияют на температуру и влажность воздуха. Чем больше видов есть в растительном сообществе, тем менее выраженными будут колебания температуры почвы под ним. Такое сглаживание происходит по причине роста концентрации почвенного углерода и увеличения площади поверхности листьев, которые характерны для экосистем с высоким биоразнообразием [2].

Существует и обратное воздействие города на озелененные территории: загрязнение воздушного бассейна, воды и почвы, сокращение природных ландшафтов, уменьшение видового разнообразия биоценоза. Одной из важных задач в функционировании и развитии города служит создание благоприятной экологической обстановки, сохранение и развитие целостной системы «природа – общество – человек» [3].

Для решения этой задачи США и страны Европы в 80-х гг. XX в. предложили использовать озелененные участки городских территорий и ввели понятие «зеленая инфраструктура» (ЗИФ) — специально спланированная система природных территорий естественного и антропогенного происхождения, расположенная в границах населенного пункта, способная осуществлять широкий спектр экосистемных услуг¹. На сегодняшний день это взаимо-

выгодное «сотрудничество» с растениями и почвой, чтобы собрать, замедлить и очистить ливневые стоки² расширилось до создания «ингредиентов» для решения городских и климатических проблем путем взаимодействия с природой — биофильтрационных склонов, биодренажных канав, дождевых садов. Эти «элементы зеленой инфраструктуры» проводят в городе адаптацию к климату, снижают тепловой стресс, улучшают качество воздуха и здоровые почвы, а также выполняют более антропоцентрические функции, такие как повышение качества жизни, посредством отдыха и предоставления тени и укрытия в городах и вокруг них³.

Таким образом, появились первые законодательно утвержденные программы по внедрению ЗИФ в зарубежных городах: «Экологическое управление ливневыми стоками» [4], «Технология экологически щадящего подхода к дизайну территории»⁴, «Зеленый город, чистые воды»⁵, «Города-губки» [5], «Городской дизайн, чувствительный к воде»⁶ и др.

В России нормативно закрепленным инструментом для решения поставленной задачи является «инженерное благоустройство». Это понятие охватывает ряд вопросов: инженерной подготовки территории, инженерного оборудования, озеленения, инженерного благоустройства естественных и искусственных водоемов, санитарного благоустройства города, малых архитектурных форм [6]. Также под «благоустройством» из п. 3.2 СП 82.13330.2016

² Что такое зеленая инфраструктура? // San Francisco Water Power Sewer. 2011. URL: <https://sfpsc.org/ru/programs/san-franciscos-urban-watersheds/what-green-infrastructure>

³ «Зеленая инфраструктура» // РусАльянс «Сова». 2023. URL: <https://sowa-ru.com/articletop/ekosistema/zelenaya-infrastruktura/>

⁴ Revising Local Codes to Facilitate Low Impact Development. Creating LID—Local Development Code Connections Will Assist With Implementation // EPA. USA. 2021. P. 8. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-06/documents/lid_fact_sheet_codes_june_2021_508.pdf

⁵ Greenworks Philadelphia // Greenworks. USA : Philadelphia, 2022. P. 64. URL: <https://www.phila.gov/media/20220421120407/OOS-Greenworks-Review-2022.pdf>

⁶ Water Sensitive Urban Design (WSUD)? // Water by design. Australia. 2020. URL: <https://waterbydesign.com.au/wsud>

¹ Глоссарий «Зеленая инфраструктура» // Экоурбанист. 2023. URL: <https://ecourbanist.ru/glossary/zelenaya-infrastruktura/>

«Благоустройство территорий»⁷ отдельно отмечают мероприятия, направленные на улучшение функционального, экологического и эстетического состояния участка. То есть предполагается комплексное действие в рамках городской среды, однако на практике этого не происходит.

С другой стороны, понятие «дизайн архитектурной среды» включает широкий спектр проектирования как предметов, так и пространственной среды⁸. Также существуют уточняющие определения для этих сфер:

- «промышленный дизайн» — процесс проектирования, применяемый к физическим продуктам, которые должны производиться массовым производством [7];

- «ландшафтный дизайн» — это наука о построении гармоничного пространства, видах растений, малых архитектурных формах [8];

- «дизайн городской среды» — комплексное формирование общественного пространства города⁹.

Следовательно, дизайн среды — это направление, которое включает самые разные виды дизайна: от ландшафтного до выставочного, от предметного до интерьерного.

В нормативных документах РФ, регулирующих эти сферы, понятия, которое включало бы в себя применение науки и математики для решения проблемы подтопления городских пространств, еще не существует. В городе необходимы инженерные сооружения, поглощающие ливневую воду и выполненные технически правильно, т.е. справляющиеся с предотвращением подтопления. Исходя из этого, авторы ставят перед собой цель научно описать в настоящей статье современный подход к решению обозначенной проблемы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Определение и этапы внедрения инженерно-технического дизайна

Авторы рекомендуют ввести понятие «инженерно-технический дизайн» и предлагают его определение: это модель благоустройства, которая включает в себя дизайн-идею пространства с использованием атмосферной воды как для ее аккумуляции за счет элементов ЗИФ, так и создания

структуры авторских рукотворных биотопов во времени без последующего поддержания.

Под процессом внедрения инженерно-технического дизайна городских территорий авторы подразумевают детальные расчеты количества ливневой воды¹⁰, скорости ее течения (авторский расчет, приведенный в данной статье), инфильтрации [9] и испарения [10], наличие инженерных коммуникаций на территории и внесение изменений в градостроительные нормативные документы. При создании инженерно-технического дизайна необходимо продумать все технические нюансы относительно передвижения воды в биоинженерных сооружениях, а также работ по озеленению территории и создания «умного благоустройства».

Инженерно-технический дизайн с интеграцией элементов ЗИФ сочетает в себе способы благоустройства территории (инженерной подготовки территории, ее озеленение, создание дорожек, освещение, обустройство мест отдыха, обустройство искусственных водоемов) и приемов ландшафтного дизайна (композиция, соотношение, перспектива, цвет, светотень, а также способы интеграции озеленения в здания [11]) на природных территориях естественного и антропогенного происхождения в границах населенных пунктов.

Авторы предлагают внедрить инженерно-технический дизайн на магистральных улицах городов и прилегающих территориях. Это понятие характеризуется инновационным технологическим подходом к озеленению, использованию биоинженерных сооружений и раскрытию фиторемедиационного потенциала городских территорий не только с утилитарной точки зрения, но и с «дизайнерской» — в контексте архитектурной среды города. Авторы выделяют основные этапы внедрения инженерно-технического дизайна такие, как:

- 1) оценка потенциала территории (форма и площадь участка для возможного внедрения зеленой инфраструктуры, условия рельефа, биоклиматические условия, возможность сбора ливневых вод, наличие коммуникаций для подключения);

- 2) анализ градостроительной ситуации (близость социальной и транспортной инфраструктур, жилой застройки, других пространственных ограничений);

- 3) оценка возможных рисков и препятствий (наличие экологических ограничений, наличие подземных коммуникаций, нормативные ограничения);

- 4) проведение инженерной подготовки территории (вертикальная планировка, выбор элементов ЗИФ, переустройство коммуникаций);

⁷ СП 82.13330.2016. Благоустройство территорий. 2017. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293747/4293747629.htm>

⁸ Перечень специальностей и направлений подготовки. Дизайн архитектурной среды // Институт архитектуры и строительства ВолгГТУ. 2023. URL: <https://vgasu.ru/abitur/perechen-spetsialnostey-i-napravleniy-podgotovki/dizayn-arkhitekturnoy-sredy/>

⁹ Что такое городской дизайн // Компания городского благоустройства Pillars. 2020. URL: <https://pillars.ru/chto-takoe-gorodskoj-dizajn/>

¹⁰ Об утверждении Методических указаний по расчету объема принятых (отведенных) поверхностных сточных вод : Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 17.10.2014 № 639/пр. 2014. URL: <https://base.garant.ru/70877958/>

5) создание зрительной запоминаемости территории (в контексте духа места и исторического аспекта, с помощью цветового дизайн-кода места через подбор и посадку растений).

Градостроительный анализ считается наиболее сложным типом предпроектного исследования, так как проводится на основе данных, которые зачастую отсутствуют в открытых источниках в структурированном виде, и требует обширного знания градостроительных документов. Для инженерно-технического дизайна магистральных улиц важное значение имеют нормативные документы, регулирующие создание, содержание и охрану зеленых насаждений, которые отличаются от города к городу из-за совместного ведения этих территорий Российской Федерацией и субъектами РФ.

Климат — один из недооцененных факторов, не полностью учитываемых в градостроительстве [12]. Так, строительная климатология изучает те элементы климата, которые воздействуют на здания и требуют учета при их проектировании, строительстве и эксплуатации. Также есть предмет «архитектурная климатология» — часть архитектурной физики, которая раскрывает связи между климатическими условиями и архитектурой зданий [13]. В СП 42.13330.2016¹¹ учи-

тываются следующие основные климатические характеристики: температура и влажность воздуха, ветровой режим и инсоляция. Также принимаются в расчет антропогенные факторы: уровень загрязнения атмосферы и гидросферы, состояние почвенно-растительного покрова, уровень шума и вибрации и т.д. Однако есть еще одна климатическая переменная, оказывающая значительное влияние на городскую среду и биоразнообразие [14], — количество осадков. Таким образом, нормативные документы в сфере градостроительства и зеленых насаждений не учитывают атмосферные осадки и скапливающиеся ливневые воды.

Градостроительный анализ территории исследования

Наиболее часто подтапливаемые территории в городе — это участки улично-дорожной сети (УДС) и общественных пространств с пониженным рельефом, куда естественным образом стекаются излишки атмосферных осадков и ливневой воды. Центр организации дорожного движения ГУП «Мосводосток» ведут статистику таких случаев. Авторами были изучены почти 50 адресов, которые встречались чаще всего за последние 3 года (рис. 1).

Так, наибольшее количество подтоплений УДС происходит в ЗАО Москвы на магистральных ули-

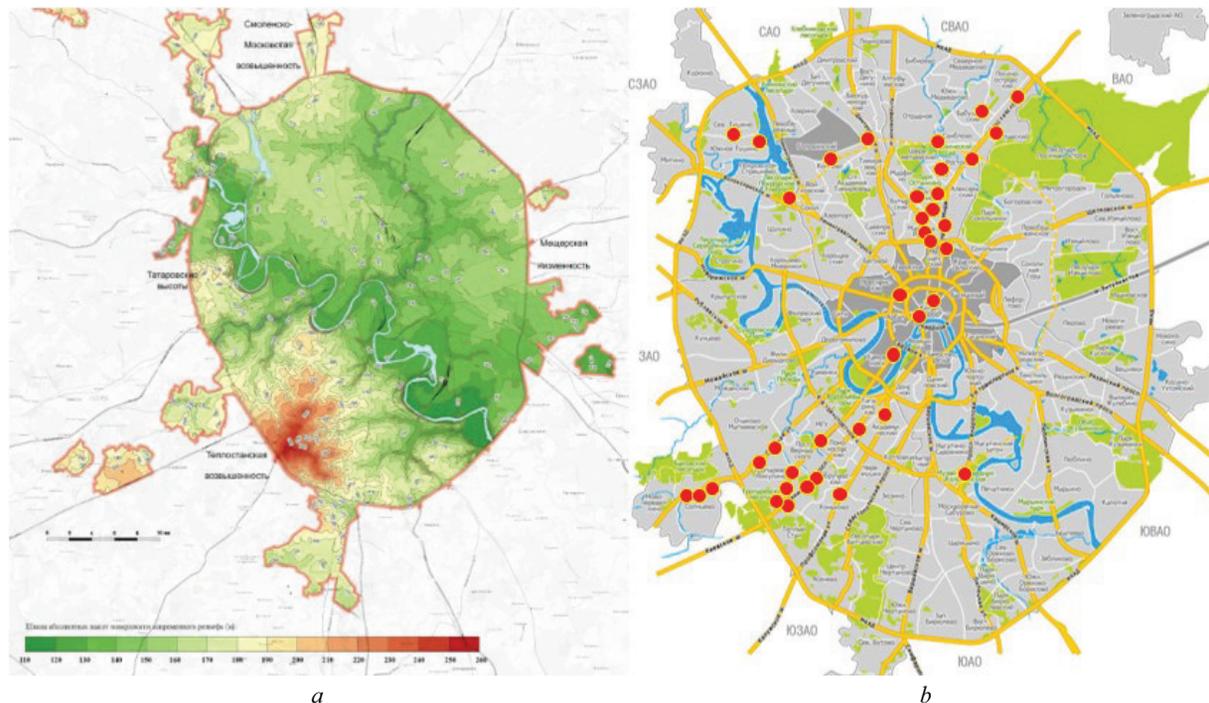


Рис. 1. Гипсометрическая карта современного рельефа г. Москвы (а)¹² и карта частых подтоплений улично-дорожной сети 2020–2023 гг. (b) (схема авторов)

Fig. 1. Hypsometric map of the Moscow modern relief (a)¹² and map of frequent flooding of the street and road network in 2020–2023 (b) (authors' scheme)

¹¹ СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* (с Изменениями № 1, 2). 2017. URL: <http://sniprf.ru/sp42-13330-2016>

¹² Перечень специальностей и направлений подготовки. Дизайн архитектурной среды // Институт архитектуры и строительства ВолГТУ. 2023. URL: <https://vgasu.ru/abitur/perechen-spetsialnostey-i-napravleniy-podgotovki/dizayn-arkhitekturnoy-sredy/>

цах 2-го класса регулируемого движения — проспектах Ленинский, Мичуринский и Вернадского, несмотря на недавнее благоустройство. Это объясняется возросшим количеством осадков в Москве и низинным рельефом местности, поэтому выберем их для проведения исследования. В табл. 1 приведен краткий градостроительный анализ территории исследования.

Климат Москвы характеризуют как умеренно континентальный. Зимой наряду с устойчивыми морозами почти ежегодно наблюдаются оттепели, летом ясная и довольно жаркая погода перемежается

с дождливой и относительно прохладной. Вегетационный период в Москве составляет 175–216 дней, с апреля по ноябрь, большую часть которого солнце светит по 15–17 ч, а температура воздуха имеет положительные значения.

При проведении анализа климатических данных авторы выявили проблему: период осреднения данных об осадках приходится на 1961–1990 гг.¹³ Сказывает-

¹³ Среднемесячные климатические данные для г. Москвы // Гидрометцентр России. 2023. URL: <https://meteoinfo.ru/categ-articles/98-climate-cat/1709-moskva-climat>

Табл. 1. SWOT-анализ территории исследования

Table 1. SWOT analysis of the research area

Фактор Factor	Положительные стороны The positive aspects	Отрицательные стороны The negative aspects
Внутренняя среда Internal environment	Ширина проспектов колеблется от 50 до 120 м The width of streets ranges from 50 to 120 m	Наблюдается перегруженность системы отведения ливневых вод There is an overload of the stormwater drainage system При проектировании для стока воды не был учтен естественный рельеф The natural relief was not taken into account when designing for the water flow
	Наличие пешеходных и транспортных потоков The presence of pedestrian and traffic flows	Непонятное расположение подземных инженерных коммуникаций The location of the underground utilities is unclear
	Наличие озелененных полос и ООПТ The presence of green areas and protected areas	Современное благоустройство не отвечает международным стандартам Modern landscaping does not meet international standards
Внешняя среда External environment	Влажный континентальный климат Humid continental climate	Часто выпадает большое количество осадков There is often a lot of precipitation
	Механическая фильтрация сточных вод Mechanical filtration of wastewater	Отсутствие проницаемых покрытий The absence of permeable coatings
	Существует запас места для размещения зеленой инфраструктуры There is a reserve of space for the placement of green infrastructure	Строительство новых километров ливневой канализации и дополнительных очистных сооружений экономически невыгодно The construction of new kilometers of storm sewers and additional sewage treatment plants is economically unprofitable

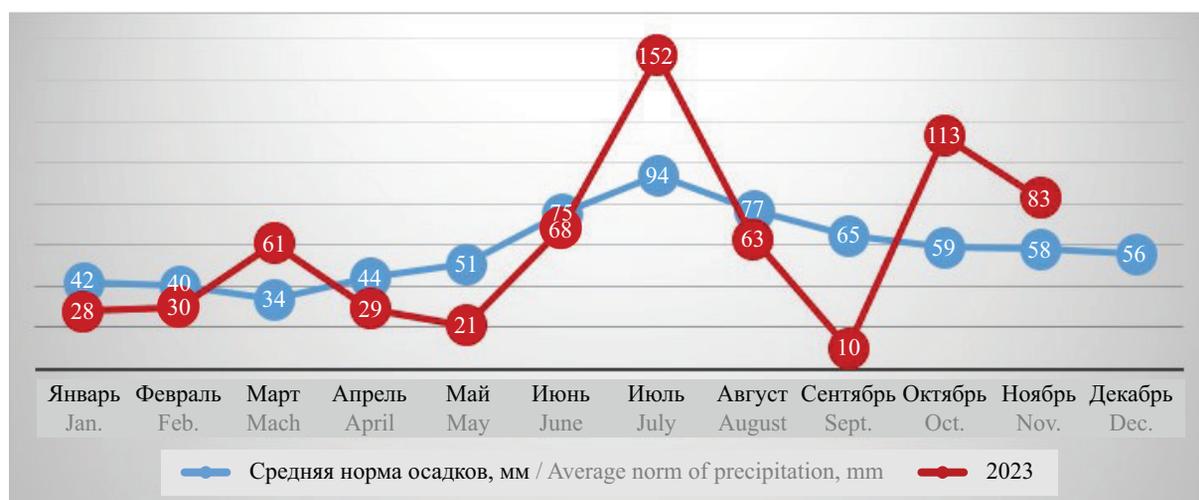
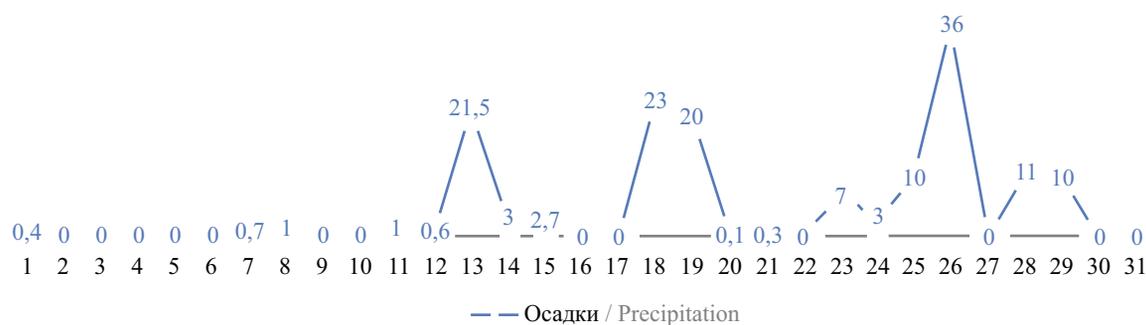


Рис. 2. Сравнение количества осадков за 2023 г. относительно средней нормы (схема авторов)

Fig. 2. Comparison of precipitation for 2023 relative to the average norm (authors' scheme)

Рис. 3. График осадков за июль 2023 г.¹⁴ (схема авторов)Fig. 3. Precipitation chart for July 2023¹⁴ (authors' scheme)

ся отсутствие полноценных исследований по комплексному учету природных климатических факторов в России с 1990-х гг. до настоящего времени [15].

На рис. 2 отмечается два месяца в вегетационный период с 1,5–2-кратным превышением нормы осадков — июль и октябрь 2023 г. Так сказывается рост среднегодовой температуры из-за изменения климата. Таким образом, увеличение количества осадков становится еще более заметным относительно устаревших данных.

Рассмотрим подробнее рис. 3. Четко видно пиковое значение — 36 мм осадков за 26 июля, что означает ливень. Прослеживаются еще три всплеска: два эпизода сильного дождя с 12 по 14 июля и с 18 по 20 июля — в среднем по 22 мм осадков, и один эпизод умеренного дождя 28–29 июля по 10 мм осадков. Такой неравномерный характер атмосферных осадков является следствием глобального потепления с увеличением количества «залповых» ливней, когда за один раз выпадает треть месячной нормы.

Для дальнейших расчетов авторы предлагают взять за основу данные о ливневом дожде 26 июля 2023 г. — 36 мм осадков, который длился около трех часов с 14 до 17 ч. За 1 ч дождя выпало около 12 мм осадков на 1 м². Такое количество осадков — это 12 кг воды на каждый квадратный метр. Из-за уклонов рельефа выпавшие осадки стекают в пониженные места, образуя бурные ручьи и глубокие лужи на непроницаемых поверхностях, в то время как на территориях зеленых насаждений поток ливневой воды гораздо меньше.

ЗИФ в инженерно-техническом дизайне магистральных улиц

Инженерно-технический дизайн в городской среде также оперирует понятиями из «зеленой инфраструктуры» и использует технологические инновации для упрощения процедур содержания зеленых насаждений в эстетическом виде. Наиболее распространенные биоинженерные сооружения, помогающие управлять ливневыми водами в горо-

де, — биофильтрационный склон, биодренажная канава и дождевой сад [16].

Для этих элементов ЗИФ авторами предложены группы растений, отличающиеся по норме водопотребления в 1,5 раза друг от друга. Так, растения, которым требуется от 1 до 7 л воды в сутки на 1 м² посадки, относятся к сухому биотопу 1, например, медуница (*Pulmonria*) и ацена мелколистная (*Acaena microphylla*). Такой биотоп поливается естественными осадками. Растения с водопотреблением от 7,1 до 14 л воды в сутки на 1 м² посадки относятся к сухому биотопу 2, например, вероника (*Veronica*), шалфей дубравный (*Salvia nemorosa*) и ястребинка (*Hieracium*). Растения с нормой полива от 14,1 до 25 л воды в сутки на 1 м² посадки относятся к сухому биотопу 3, например, колокольчик (*Campanula*), лапчатка (*Potentilla*) и горечавка (*Gentiana*). В такие биотопы возможно устройство дополнительного водоотведения с тротуаров. Под сухими биотопами могут располагаться подземные коммуникации, так как предполагается движение небольшого количества ливневой воды по территории, необходимой для полива растений.

Высшие водные и прибрежно-водные растения с нормой водопотребления от 25 до 50 л в сутки авторы относят к полувлажному биотопу, например, полынь (*Artemisia*) и волжанка (*Arunus*). Растения, которым требуется более 50 л в сутки входят в состав влажного биотопа, например, рогоз (*Typha*) и камыш укореняющийся (*Scirpus radicans*). Очевидно, что в полувлажном и влажном биотопах, которые авторы предлагают устроить в дождевых садах и биодренажных канавах, невозможно наличие подземных коммуникаций.

Наиболее эффективная форма дождевого сада зависит от распределения направлений ветра: на территориях, где преобладает штиль, более эффективным будет округлый водоем, в то время как в местах с выраженным направлением ветра более эффективным будет удлиненный водоем в его направлении [17]. Высшими водными растениями подавляется развитие водорослей, а значит, устраняется вредное «цветение» воды, выделяются во внешнюю среду физиологически активные вещества, убивающие микроорганизмы, поэтому в дождевом саду бу-

¹⁴ Погода в Москве в июле 2023 года // World Weather. 2023. URL: <https://world-weather.ru/pogoda/russia/moscow/july-2023/>

дет наблюдаться частичная или полная стерилизация воды. Водные растения играют роль сорбента и поглотителя, ускоряя самоочищение воды даже от такого стойкого загрязнителя, как нефть [18].

Инженерная подготовка территорий для устройства биоинженерных сооружений — обязательная часть инженерно-технического дизайна, чтобы адаптировать элементы ЗИФ к условиям рельефа улиц и количеству принимаемых ливневых вод. Определено, что на территории исследования существует достаточный запас места для размещения нескольких элементов зеленой инфраструктуры [19].

Отвод поверхностных вод следует осуществлять со всего «бассейна», предусматривая ливневую канализацию закрытого типа или открытую систему отвода поверхностных вод. Выпадающие на территории города атмосферные осадки не полностью стекают и поступают в водосточную сеть. Авторами установлено, что только 20 % осадков попадают в ливневую канализацию и 40 % осадков испаряется [16]. Таким образом, простейшим способом сбора оставшихся поверхностных ливневых вод является открытая система — лотки, каналы, кюветы, канавы, которая без механической очистки перенаправляет поток в ближайший водоем. Эти регулирующие пруды рассчитываются на дождевой сток, так как интенсивность дождя обычно значительно выше интенсивности снеготаяния [20].

Существуют нормативы по скорости потока воды в трубе ливневой канализации¹⁵, однако нормативов для сбора и перераспределения поверхностного стока ливневых вод в настоящий момент нет. Такой расчет необходим для выбора размеров элементов ЗИФ, которые планируется разместить на территории. Для расчетов скорости поверхностного потока ливневых вод нужно учитывать, что часть осадков впитывается в почву, часть остается в виде смачивающего слоя на водонепроницаемых поверхностях и испаряется в атмосферу.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вычисление средней скорости потока ливневой воды в биоинженерных сооружениях

Эмпирическая формула Маннинга применяется для оценки средней скорости воды, текущей в открытом канале в местах, где нецелесообразно сооружать водослив или лоток для измерения расхода с большей точностью. Эмпирическая формула является приближенной к экспериментальным данным, простым аналогом более сложного точного теоретического соотношения. В 2000-х гг. эта формула была получена теоретически с использованием феноменологической теории турбулентности. В 2018 г. профессор Османд Э. Шарпантье из Панамы создал

¹⁵ СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85 (с Изменением № 1). 2018. URL: <http://sniprf.ru/sp32-13330-2018>

физико-математическую демонстрацию формулы, доказав ее жизнеспособность [21].

Вычислим среднюю скорость потока ливневой воды в открытом русле по эмпирической формуле Маннинга [22]:

$$V = \frac{k}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

где V — средняя скорость безнапорного потока в открытом русле, м/с; k — переводной коэффициент для СИ, м^{1/3}; n — коэффициент шероховатости поверхности протекания потока, с/м^{1/3}; I — гидравлический уклон, м/м; R — гидравлический радиус, м, рассчитываемый по формуле [23]:

$$R = \frac{A}{P}, \quad (2)$$

где A — площадь потока ливневых вод (на 1 м²); P — смоченный периметр, м.

Коэффициент шероховатости характеризует грунт или непроницаемое покрытие ложа потоков. Величина коэффициента шероховатости грунта определяется величиной выступов на дне и стенках русла, формой русла в плане, наличием в нем растительности и других источников местных сопротивлений (рис. 4).

Степень увеличения коэффициента зависит от растений, их густоты и занятой доли глубины потока, которые в большинстве случаев рассредоточены в русле беспорядочно [24]. Запишем эти данные для начала вычисления в табл. 2. Проведем вычисление средней скорости течения ливневой воды в биоинженерных сооружениях и на непроницаемом покрытии в табл. 2.

Вычисленные скорости движения ливневого потока примерно равны половине скорости обычного течения реки, а значит, расчеты можно признать верными. Переменность скорости потока ливневых вод объясняется тем, что по мере хода дождя происходит насыщение поверхности стока водой и ее впитывание постепенно прекращается или стабилизируется. Если определенная по расчету скорость воды превышает допустимую на размыв, следует применять отвод поверхностных вод колодцами-поглотителями¹⁶.

Авторы предлагают к сравнению скорость течения ливневой воды в биоинженерных сооружениях и по непроницаемой поверхности. Из-за сопротивления растительности скорость ливневого потока в биоинженерном сооружении почти в три раза ниже, чем по условному асфальту, в зависимости от уклона территории. Таким образом, можно сделать вывод, что растительность замедляет поверхностный сток, впитывая его и удерживая на участках зеленых насаждений. Также биоинженерные сооружения го-

¹⁶ СП 100.13330. СНиП 2.06.03–85. Мелиоративные системы и сооружения. 2016. URL: http://sudexpertiza.org/upload/iblock/a23/sp-100.13330.2016-snip-2.06.03_85-meliorativnye-sistemy-i-sooruzheniya.pdf

товы принять на себя дополнительный объем воды, чтобы снизить вероятность затопления улиц и повысить комфортность городской среды.

Произведенный расчет поможет при выборе биоинженерного сооружения для устройства на городских озелененных пространствах. Авторы рекомендуют предложенную методику использовать для дополнения и расширения содержания нормативных документов.

Инженерно-технический дизайн магистральных улиц

Ландшафт служит основой для развития городской среды и культурной неповторимости [25]. Вос-

приятие архитектурной городской среды происходит с различных плоскостей пространства, и наиболее привычной позицией для восприятия города человеком является уровень зрительного восприятия каждого конкретного пользователя, т.е. при прохождении. Следовательно, восприятие города как целостной визуальной среды обусловлено структурой движения по основным магистралям [26]. Так, благоустройство помогает «идентифицировать» пространство: жители ощущают себя дома, а туристы запечатлевают уникальность. Все это создает условия для выявления «духа места» — первоначального смысла территории, сохраняющегося и передающегося в будущее,

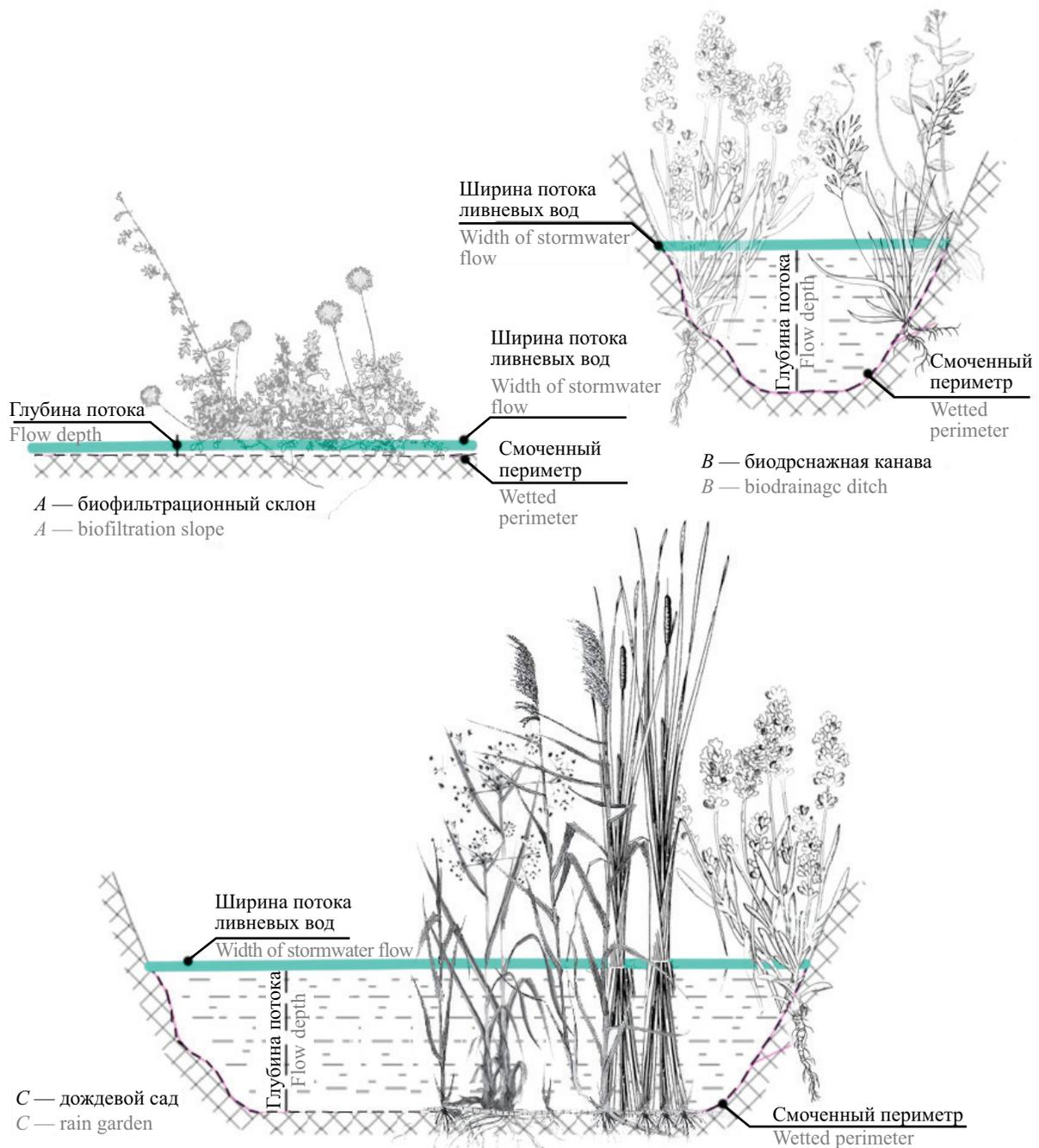


Рис. 4. Схематичные разрезы биоинженерных сооружений с потоком ливневой воды (схема авторов)

Fig. 4. Schematic sections of bioengineered structures with stormwater flow (authors' scheme)

Табл. 2. Описание переменных и вычисление средней скорости течения ливневой воды в биоинженерных сооружениях
 Table 2. Schematic sections of bioengineered structures with stormwater flow (authors' scheme)

Тип биотопа посадки Type of biotope planting	Сухой 1 Dry biotope 1	Сухой 2 Dry biotope 2	Сухой 3 Dry biotope 3	Полувлажный Semi-wet biotope	Влажный Wet biotope	Непроницаемое покрытие Impermeable covering
Тип биоинженерного сооружения Type of bioengineering structure	Биофильтрационный склон Biofiltration slope	Биодренажная канава Biodrenage ditch		Дождевой сад Rain garden		—
Доля глубины потока, занятой растительностью, % The proportion of the stream depth occupied by vegetation, %	95	70		50	60	0
Глубина потока, м Flow depth, m	0,01	0,05		0,1	0,2	0,01
Ширина потока ливневых вод, м Width of stormwater flow, m	1	0,2		2		1
Возможный уклон рельефа, % Possible terrain slope, %	0–3	3–9	9–15	0–15		0–15
Гидравлический уклон I Hydraulic slope I	0,001–0,03	0,03–0,09	0,09–0,15	0,001–0,15		0,001–0,15
Коэффициент шероховатости поверхности почвы n Soil surface roughness coefficient n	1–1,2	1,2–1,4		1,5	1,6	0,15–0,62
Площадь потока ливневых вод A (на 1 м ²) Stormwater flow area A (per 1 m ²)	1	0,2		2	2	1
Смоченный периметр P , м Wetted perimeter P , m	1	0,4		2,2	2,4	1
Гидравлический радиус R , м Hydraulic radius R , m	1	0,05		0,95	0,9	1
Скорость течения ливневой воды V , м/с Stormwater flow rate V , m/s	0,17	0,019–0,03	0,03–0,24	0,02–0,25	0,017–0,22	0,21–0,62

духовного наполнения, вызывающего эмоции и чувства человека в конкретном месте городского пространства или разных городах.

Зеленые насаждения имеют важное эстетическое значение, являясь полноправным компонентом благоустройства архитектурно-градостроительной среды города [27]. С помощью озеленения авторы предлагают изменить облик города в сторону природной естественности и подражания природным экосистемам, придать черты индивидуальной вы-

разительности магистральным улицам. Формирование дизайн-кода конкретного места в городе предлагается осуществлять посредством структуры биотопов с подбором ассортимента растений для соответствующих почвенных, влажностных и декоративно-цветовых условий. В общественных местах биотопы будут иметь декоративный рукотворный вид, а на озелененных территориях вдоль магистралей биотоп должен иметь естественный образ, сменяя виды в своей структуре, выполняя принцип

«работать в союзе с природой, а не против нее»¹⁷. Этот прием «спонтанной природы» повысит биоразнообразие городской среды [28]. Такие подходы соответствуют принципу поддерживаемого благо-

устройства, усиливающего адаптационные возможности городской среды и регенерацию озелененных территорий современного города [29].

Немаловажная часть инженерно-технического дизайна — дизайн-идея пространства. Необходимость внедрения дизайн-кодов стала очевидной одновременно с ростом популярности эргономичных

¹⁷ Жиль Клеман и его «сады в движении». 2012. URL: <https://www.gardener.ru/events/miscellanea/cat1091.php>



Рис. 5. Перспективный вид инженерно-технического дизайна на территории исследования (рисунок авторов)

Fig. 5. A prospective view of engineering and technical design in the research area (authors' scheme)

и благоустроенных общественных пространств. Основные элементы дизайн-кода — это палитра цветов и подчинение определенной логике. Цвет возникает из истории каждого места и привносит социально-семиотические черты в обновленную городскую среду. Территорией для внедрения результатов исследования были выбраны юго-западные магистральные улицы 2-го класса регулируемого движения. Дизайн-идеи для Ленинского пр-та [30] и пр-та Вернадского [25] проиллюстрированы в предыдущих статьях авторов. В данной статье рассмотрим третий проспект из наиболее часто подтапливаемых в ЗАО Москвы — Мичуринский.

В инженерно-техническом дизайне используется прием подражания природе для наполнения городской среды растительными элементами. На пересечении общественной и транспортной функциональных зон происходит наполнение биоинженерных сооружений декоративными растениями, водными потоками, за счет чего обеспечивается всесезонность цветения. Авторы называют такой метод «урбанизированное подражание».

На рис. 5 представлен перспективный вид Мичуринского пр-та с дизайн-кодом в духе места. Территория исследования названа в честь И.В. Мичурина — известного русского биолога и выдающегося селекционера. Благодаря своим новаторским идеям в области селекции растений И.В. Мичурин сумел вывести множество сортов яблонь, вишен и других плодовых и ягодных культур, которые цветут в палитре от бело-розового до темной фуксии. Именно эту гамму авторы определили для цветового кода исследуемой территории.

В инженерной части авторы предлагают устройство биофильтрационный склон, который будет передавать ливневую воду вниз по рельефу к Большому Очаковскому пруду, а пешеходная коммуникация должна иметь проницаемую конструкцию дорожной одежды, способную своей типологией элементов отводить поверхностную воду в контур на зеленые участки, что создаст меньший поверхностный сток.

Рукотворный биотоп с имитацией природных процессов и цвето-размерным воплощением духа места позволит не только управлять ливневыми водами, но и повысить идентичность архитектурной среды города. Инженерно-технический дизайн — это инструмент для формирования взаимосвязанной стилистически единой комфортной и безопасной архитектурно-градостроительной и наполненной художественной среды города, которая включает внешние поверхности зданий, строений и сооружений, городской ландшафт, элементы благоустройства, навигации, информации и рекламы на территории города.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предложения авторов рекомендуются для внесения дополнений в нормативные документы РФ, такие как СП 42.13330.2016 «Градостроительство»¹¹, СП 82.13330.2016 «Благоустройство территорий» и национальные «зеленые» стандарты РФ¹⁸. Отличительной особенностью предложенного авторского решения является расчетная проработка вопроса, позволяющая экстраполировать проведенное исследование на другие города нашей страны, с обязательным учетом ландшафтных и климатических характеристик территории.

Представлены вычисления средней скорости потока ливневой воды в биоинженерных сооружениях: биофильтрационный склон, биодренажная канава, дождевой сад, а также по непроницаемой поверхности. Приведенные данные являются среднестатистическими для таких элементов ЗИФ и меняются в зависимости от уклона территории, наличия и количества растительности, размеров и площади сооружения, т.е. зависят от типологических характеристик конкретного участка градостроительного анализа. Таким образом, полученный результат авторы признают валидным.

Авторы считают, что влияние природно-климатических условий местности на решение градостроительных задач велико. На любой стадии инженерно-технического дизайна территории необходима информация обо всех территориальных факторах, в результате анализа которых выделяются пригодные для внедрения ЗИФ территории, выполняются работы по устройству поверхностного дренажа, выясняются требования охраны природы и окружающей среды, определяются ведущие элементы ландшафта с целью создания наиболее благоприятной среды для жизни, труда и отдыха населения.

В дополнение к инженерной подготовке территории устройством открытых дренажей авторы принимают в расчет количество поверхностной воды для полива растительности. Принцип подражания природе предоставляет широкие возможности по использованию растений местной флоры для формирования структуры биотопов. Подбор растений по цвету в контексте «духа места» открывает идентичность территории и придает современность данному исследованию. Авторами представлен новый способ управления градостроительным развитием территорий, учитывая изменение климата и зависящее от этого увеличение количества осадков.

¹⁸ ГОСТ Р 70346–2022. «Зеленые» стандарты. Здания многоквартирные жилые «зеленые». Методика оценки и критерии проектирования, строительства и эксплуатации. 2022. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200193111>

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zhao L., Li T., Przybysz A., Liu H., Zhang B., An W. et al. Effects of urban lakes and neighbouring green spaces on air temperature and humidity and seasonal variabilities // *Sustainable Cities and Society*. 2023. Vol. 91. P. 104438. DOI: 10.1016/j.scs.2023.104438
2. Huang Y., Stein G., Kolle O., Kübler K., Schulze E.D., Dong H. et al. Enhanced stability of grassland soil temperature by plant diversity // *Nature Geoscience*. 2023. Vol. 17. Issue 1. Pp. 44–50. DOI: 10.1038/s41561-023-01338-5
3. Кузнецов О.Л., Кузнецов П.Г., Большаков Б.Е. Система природа – общество – человек: устойчивое развитие. Дубна, 2000. 272 с.
4. Tharp R. Ecological Stormwater Management: Analysis of design components to improve understanding and performance of stormwater retention ponds: Dissertation. Burlington, University of Vermont, 2018. 158 p.
5. Harrisberg K. What are ‘sponge cities’ and how can they prevent floods? // Thomson Reuters Foundation. 2022.
6. Тугова Т.А. Инженерное благоустройство городских территорий и транспорт : методическое пособие. Бишкек : КРСУ, 2007. 54 с.
7. Голубятников И.В., Кухта М.С. Промышленный дизайн : учебник. Томск : Изд-во Томского политехнического ун-та, 2013. 310 с.
8. Гарнизоненко Т.С. Справочник современного ландшафтного дизайнера. Ростов-на-Дону : Феникс, 2005. 313 с.
9. Ларионов Г.А., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф., Горобец А.В. и др. Влияние плотности почвы, сопротивления разрыву и инфильтрации воды на скорость разрушения межагрегатных связей // *Почвоведение*. 2017. № 3. С. 354–359. DOI: 10.7868/S0032180X17010099. EDN YIVCRR.
10. Тимофеев М.П., Кириллова Т.В. Метеорологический режим водоемов // *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*. Л., 1967. № 206.
11. Zaykova E. Formation methods of hybrid urban spaces in the historic city center // *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 97. P. 01031. DOI: 10.1051/e3sconf/20199701031
12. Янковская Ю.С., Лебедева Е.Н., Лобанов Ю.Н. Природно-климатические и экологические аспекты в архитектурно-градостроительном проектировании и исследовании жилой среды // *Вестник гражданских инженеров*. 2020. № 5 (82). С. 49–58. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-5-49-58. EDN UAVNDR.
13. Лицкевич В.К., Конова Л.И. Учет природно-климатических условий местности в архитектурном проектировании : учебно-методические указания к курсовой расчетно-графической работе. М. : МАРХИ, 2011. 44 с.
14. Wang Y., Cadotte M.W., Chen Y., Fraser L.H., Zhang Y., Huang F. et al. Global evidence of positive biodiversity effects on spatial ecosystem stability in natural grasslands // *Nature Communications*. 2019. Vol. 10. Issue 1. DOI: 10.1038/s41467-019-11191-z
15. Тимофеева В.А., Жидкова Е.И. Влияние природно-территориальных условий местности на решение градостроительных задач // *Инженерный вестник Дона*. 2020. № 10 (70). С. 1–9. EDN NHKQZF.
16. Feofanova S.S., Zaykova E.Y. Territorial physical and mathematical model of stormwater management // *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 403. P. 04003. DOI: 10.1051/e3sconf/202340304003
17. Ampatzidis P., Cintolesi C., Petronio A., Sabatino S.D., Kershaw T. Evaporating waterbody effects in a simplified urban neighborhood: A RANS analysis // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2022. Vol. 227. P. 105078. DOI: 10.1016/j.jweia.2022.105078
18. Гуркина О.А. Санитарная гидробиология : краткий курс лекций. Саратов, 2016. 107 с.
19. Зайкова Е.Ю., Феофанова С.С. Зеленая инфраструктура как инструмент управления ливневыми водами // *Вестник МГСУ*. 2022. Т. 17. № 11. С. 1429–1452. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.11.1429-1452. EDN AIPUNV.
20. Ampatzidis P., Kershaw T. A review of the impact of blue space on the urban microclimate // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 730. P. 139068. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139068
21. Charpentier O.E. Manning formula demonstration. 2018.
22. Manning R. On the flow of water in open channels and pipes // *Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland*. 1891. Pp. 161–207.
23. Васильев Н.Н., Исаакян О.Н., Рогинский Н.О. и др. Технический железнодорожный словарь. М. : Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1941.
24. Глазунов Г.П., Кузнецов М.С. Эрозия и охрана почв : учебник. М. : Издательство Московского университета, 1996.
25. Feofanova S.S., Zaykova E.Y. Perspectives of green infrastructure in the city’s color design-code // *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 458. P. 07008. DOI: 10.1051/e3sconf/202345807008
26. Филько А. Визуальное восприятие образа города и методы его исследования // *Урбанистика*. 2015. № 3. С. 1–15. DOI: 10.7256/2310-8673.2015.3.16497. EDN UIYGZL.
27. Zaykova E.Yu. Healing landscapes in the multi-functional hybrid objects // *Proceedings of*

the Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering. 2019. Pp. 347–355.

28. Зайкова Е.Ю. Методы интеграции местных растений в биотопы промышленных зон // Успехи современной науки. 2017. Т. 2. № 5. С. 7–11. EDN YTAUJD.

29. Zaykova E. Strategies ensuring the Stability of Natural and Urbanized Biotopes in hybrid multifunction-

al objects // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1030. Issue 1. P. 012065. DOI: 10.1088/1757-899x/1030/1/012065

30. Зайкова Е.Ю. Природно-инженерный каркас города и ландшафта (исторические предпосылки и принципы формирования) : монография. М. : КУРС, 2023. 128 с.

Поступила в редакцию 17 марта 2024 г.

Принята в доработанном виде 21 марта 2024 г.

Одобрена для публикации 11 июня 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Елена Юрьевна Зайкова — кандидат архитектуры, доцент, доцент кафедры градостроительства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 3019-6269, ORCID: 0000-0002-0555-9941; lena_landscape21@mail.ru;

София Сергеевна Феофанова — аспирант кафедры градостроительства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 8352-1211; sonyafeofanova@mail.ru.

Вклад авторов:

Зайкова Е.Ю. — научное руководство, развитие методологии исследования, научное редактирование текста, предоставление собственных фотоматериалов, итоговые выводы.

Феофанова С.С. — сбор и обработка материала, написание исходного текста, создание иллюстраций и таблиц.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Zhao L., Li T., Przybysz A., Liu H., Zhang B., An W. et al. Effects of urban lakes and neighbouring green spaces on air temperature and humidity and seasonal variabilities. *Sustainable Cities and Society*. 2023; 91:104438. DOI: 10.1016/j.scs.2023.104438
2. Huang Y., Stein G., Kolle O., Kübler K., Schulze E.D., Dong H. et al. Enhanced stability of grassland soil temperature by plant diversity. *Nature Geoscience*. 2023; 17(1):44-50. DOI: 10.1038/s41561-023-01338-5
3. Kuznetsov O.L., Kuznetsov P.G., Bol'shakov B.E. *The nature – society – human system: sustainable development*. Dubna, 2000; 272. (rus.).
4. Tharp R. *Ecological Stormwater Management: Analysis of design components to improve understanding and performance of stormwater retention ponds: Dissertation*. Burlington, University of Vermont, 2018; 158.
5. Harrisberg K. What are 'sponge cities' and how can they prevent floods? *Thomson Reuters Foundation*. 2022.
6. Tugova T.A. *Engineering improvement of urban areas and transport: methodological guide*. Bishkek, KRSU, 2007; 54. (rus.).
7. Golubyatnikov I.V., Kukhta M.S. *Industrial design : textbook*. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2013; 310. (rus.).
8. Garnizonenko T.S. *Handbook of a modern landscape designer*. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2005; 313. (rus.).
9. Larionov G.A., Dobrovol'skaya N. G., Kiryukhina Z.P., Krasnov S.F., Litvin L.F., Gorobets A.V. et al. Effect of soil density, tensile strength, and water infiltration on the rupture rate of interaggregate bonds. *Pochvovedenie*. 2017; 3:354-359. DOI: 10.7868/S0032180X-17010099. EDN YIVCRR. (rus.).
10. Timofeev M.P., Kirillova T.V. Meteorological regime of reservoirs. *Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikov*. 1967; 206. (rus.).
11. Zaykova E. Formation methods of hybrid urban spaces in the historic city center. *E3S Web of Conferences*. 2019; 97:01031. DOI: 10.1051/e3sconf/20199701031
12. Yankovskaya Y.S., Lebedeva E.N., Lobanov Yu.N. Natural-climatic and environmental aspects in architectural and urban design and research of the residential environment. *Bulletin of Civil Engineers*. 2020; 5(82):49-58. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-5-49-58. EDN UAVNDR. (rus.).
13. Litskevich V.K., Konova L.I. *Taking into account the natural and climatic conditions of the area in architectural design : educational and methodological guidelines for course calculation and graphic work*. Moscow, MARKhI, 2011; 44. (rus.).
14. Wang Y., Cadotte M.W., Chen Y., Fraser L.H., Zhang Y., Huang F. et al. Global evidence of positive biodiversity effects on spatial ecosystem stability in nat-

- ural grasslands. *Nature Communications*. 2019; 10(1). DOI: 10.1038/s41467-019-11191-z
15. Timofeeva V.A., Zhidkova E.I. The influence of the natural-territorial conditions of the area on the solution of urban planning problems. *Engineering journal of Don*. 2020; 10(70):1-9. EDN NHKQZF. (rus.).
16. Feofanova S.S., Zaykova E.Y. Territorial physical and mathematical model of stormwater management. *E3S Web of Conferences*. 2023; 403:04003. DOI: 10.1051/e3sconf/202340304003
17. Ampatzidis P., Cintolesi C., Petronio A., Sabatino S.D., Kershaw T. Evaporating waterbody effects in a simplified urban neighborhood: A RANS analysis. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2022; 227:105078. DOI: 10.1016/j.jweia.2022.105078
18. Gurkina O.A. *Sanitary hydrobiology : short course of lectures*. Saratov, 2016; 107. (rus.).
19. Zaykova E.Yu., Feofanova S.S. Green infrastructure as a stormwater management tool. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2022; 17(11):1429-1452. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.11.1429-1452. EDN AIPUNV. (rus.).
20. Ampatzidis P., Kershaw T. A review of the impact of blue space on the urban microclimate. *Science of the Total Environment*. 2020; 730:139068. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139068
21. Charpentier O.E. *Manning formula demonstration*. 2018.
22. Manning R. On the flow of water in open channels and pipes. *Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland*. 1891; 161-207.
23. Vasil'ev N.N., Isaakyan O.N., Roginskiy N.O. et al. *Technical Railway Dictionary*. Moscow, State Transport Railway Publishing House, 1941. (rus.).
24. Glazunov G.P., Kuznetsov M.S. *Erosion and soil protection : textbook*. Moscow, Moscow University Publishing House, 1996. (rus.).
25. Feofanova S.S., Zaykova E.Y. Perspectives of green infrastructure in the city's color design-code. *E3S Web of Conferences*. 2023; 458:07008. DOI: 10.1051/e3sconf/202345807008
26. Fil'ko A. Visual perception of the image of the city and methods of its research. *Urban Studies*. 2015; 3:1-15. DOI: 10.7256/2310-8673.2015.3.16497. EDN UIYGZL. (rus.).
27. Zaykova E.Yu. Healing landscapes in the multifunctional hybrid objects. *Proceedings of the Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering*. 2019; 347-355.
28. Zaykova E.Yu. Methods of integration of local plants into biotopes of industrial zones. *Advances in Modern Science*. 2017; 2(5):7-11. EDN YTAYJD. (rus.).
29. Zaykova E. Strategies ensuring the stability of natural and urbanized biotopes in hybrid multifunctional objects. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. 2021; 1030(1):012065. DOI: 10.1088/1757-899x/1030/1/012065
30. Zaykova E.Yu. *Natural engineering framework of the city and landscape (historical background and principles of formation) : monograph*. Moscow, COURSE, 2023; 128. (rus.).

Received March 17, 2023.

Adopted in revised form on March 21, 2024.

Approved for publication on June 11, 2024.

B I O N O T E S : **Elena Yu. Zaykova** — Candidate of Architecture, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 3019-6269, ORCID: 0000-0002-0555-9941; lena_landscape21@mail.ru;

Sofia S. Feofanova — postgraduate student of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 8352-1211; sonyafeofanova@mail.ru.

Contribution of the authors:

Elena Yu. Zaykova — scientific guidance, development of research methodology, scientific text editing, providing own photographic materials, final conclusions.

Sofia S. Feofanova — collecting material, processing material, writing source text, creating illustrations and tables.

The authors declare that there is no conflict of interest.