

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 711.5:556.12:556.14

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.4.499-514

Водочувствительный дизайн городской среды: города-губки и «умные» ландшафты

Елена Юрьевна Зайкова, София Сергеевна Феофанова

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В 2023 г. в мире зафиксирован рост случаев подтоплений городов. Количество ливневой воды многократно возросло, но в городах негде применить этот сверхштатный ресурс. Водочувствительный дизайн территорий должен стать приоритетным в планировке городов и обновлении нормативных документов градостроительной сферы в условиях глобального потепления.

Материалы и методы. Приведенный анализ климатических данных территории исследования имеет ключевое значение при вычислении нормы полива для функционирования зеленой инфраструктуры в условиях города. Предложено рассмотреть вегетационный полив — наиболее важное и зарегулированное поливное мероприятие, которое жизненно необходимо всем растениям в городских условиях.

Результаты. Управление ливневыми водами сократит затраты на полив и упростит содержание городских зеленых насаждений во время всего вегетационного периода. Предложенные изменения и дополнения нормативных документов Российской Федерации в области зеленой инфраструктуры смогут облегчить внедрение нового экосистемного подхода на практике. Рассмотрены световые условия для качественного функционирования зеленой инфраструктуры на территории исследования.

Выводы. Водочувствительный дизайн городской среды позволяет технологическими средствами имитировать природные процессы, поддерживать природные территории в состоянии устойчивости за счет растений местной флоры, а также может быть естественным образом связан с семантическим образом места, передавать цвет технологиями зеленой инфраструктуры. Авторские биотопы являются устойчивыми технологическими решениями инженерной подготовки территории, разработаны в контексте духа места с использованием растений местной флоры на основе разработанных нормативных рекомендаций в целях новой концепции водочувствительного дизайна городской среды.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: умные ландшафты, зеленая инфраструктура, ландшафтная инфраструктура, вегетационный полив, норма полива, исторический биотоп, дождевой сад

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Зайкова Е.Ю., Феофанова С.С. Водочувствительный дизайн городской среды: города-губки и «умные» ландшафты // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 4. С. 499–514. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.4.499-514

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

Water-sensitive urban design: sponge-cities and “smart” landscapes

Elena Yu. Zaykova, Sofia S. Feofanova

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

ABSTRACT

Introduction. In 2023, an increase in cases of urban flooding was recorded worldwide. The amount of stormwater has increased manifold, but there is nowhere to apply this supernumerary resource in the cities. Water-sensitive design of territories should become a priority in the planning of cities and updating of normative documents of the urban sphere in the face of global warming.

Materials and methods. The given analysis of climatic data of the study area is of key importance in calculating the irrigation rate for the functioning of green infrastructure in urban conditions. It is proposed to consider vegetative irrigation — the most important and regulated watering activity, which is vital for all plants in urban conditions.

Results. Stormwater management will reduce irrigation costs and simplify the maintenance of urban green spaces throughout growing season. The amendments and additions proposed by the authors of the regulatory documents of the Russian Federation in the field of green infrastructure will facilitate the implementation of a new ecosystem approach in practice. The light conditions for the high-quality functioning of the green infrastructure in the study area are also considered.

Conclusions. The author's biotopes are sustainable by technological solutions of engineering preparation of the territory, developed in the context of the spirit of the place using plants of local flora based on the developed regulatory recommendations for the new concept of water-sensitive design of the urban environment.

KEYWORDS: smart landscapes, green infrastructure, landscape infrastructure, vegetation irrigation, irrigation rate, historical biotope, rain garden

FOR CITATION: Zaykova E.Yu., Feofanova S.S. Water-sensitive urban design: sponge-cities and "smart" landscapes. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(4):499-514. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.4.499-514 (rus.).

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

ВВЕДЕНИЕ

Затопление территорий — градостроительная проблема, которая стала особенно актуальной в последнее время из-за увеличения частоты ливней. В 2023 г. в мире зафиксирован рост случаев подтопления городов. Количество ливневой воды многократно возросло, но в городах негде применить этот сверхштатный ресурс. Аккумулирование и перераспределение дождевой воды относится к современным технологиям инженерной подготовки территории [1]. И задача градостроительства — научиться управлять процессами урбанизации. Для объяснения, понимания и углубления в эту тему необходимо обратиться к изучению климатических особенностей региона проектирования. Атмосферные явления наблюдаются на всей планете и зависят от количества солнечной радиации, степени наклона солнечных лучей, атмосферного давления, ветрового режима и многих других переменных. Облака — одно из наиболее распространенных и заметных атмосферных явлений, наряду с восходом солнца и радугой после ливня.

Замеры российских ученых [2] показали, что общий уровень осадков на территории России вырос на 1–2 % за последние 50 лет и при этом соотношение типов дождей радикально изменилось. Резко выросла частота и интенсивность ливневых дождей, в некоторых южных регионах России доля мощных гроз повышается примерно на 10 % каждые десять лет. Более медленное движение штормов привело к возрастанию количества осадков. Согласно оценкам Росгидромета¹, в 2021 г. на юге России наблюдался «значительный избыток» осадков: в Южном федеральном округе 126 % нормы, в Северо-Кавказском федеральном округе — 132 %. В июле 2023 г. в Сочи за несколько часов выпало 80 мм осадков². В результате такого ливневого «залпа» — характерного признака глобального потепления — подтопило улицы и дома, сошли селевые потоки, повредившие инфраструктуру и транспорт. А в нескольких близлежащих населенных пунктах была проведена эвакуация жителей, так

как уровень воды в р. Хороте достиг отметки «опасное явление»³.

Штормовые предупреждения в Краснодарском крае объявлялись несколько раз за последние пять лет из-за непогоды и возможности появления смерчей. Сейчас эти процессы начали затрагивать и северные широты европейской и азиатской части нашей страны. Так, этим летом Приморский край накрыли волны сильнейших дождей с осадками до 110 мм в сутки⁴, что вызвало массовое затопление на дорогах и придомовых территориях, аварийные отключения электричества на множестве улиц. Также непогода привела к сжиганию грунта, падению деревьев и образованию паводка, после чего в регионе был введен режим чрезвычайной ситуации федерального масштаба.

К сожалению, такие катастрофические последствия стали происходить чаще из-за планировочной неподготовленности городов [3, 4]. Действующие градостроительные нормативные документы составлены в середине XX в. на основе устаревших климатических данных, когда волны тепла и аномальных осадков происходили раз в 50 лет, а риски затопления не учитывались при территориальном планировании. Также площадь городов была значительно меньше настоящей, т.е. процент проницаемых территорий, в том числе сельскохозяйственного назначения, был выше, а экологическая ситуация — стабильнее [5].

Решением обозначенных градостроительных проблем может стать водочувствительный дизайн городской среды. Сбор излишков атмосферных осадков с пешеходных и транспортных зон и перераспределение ливневых вод на территориях, занятых зеленой инфраструктурой (далее — ЗИФ), повысит устойчивость городов на фоне климатических изменений. Таким образом, водочувствительный дизайн территорий является приоритетным в планировке городов и обновлении нормативных документов градостроительной сферы в условиях глобального потепления.

³ В реке Хороте в Сочи уровень воды повысился до опасной отметки. 2023. URL: <https://tass.ru/proisshestiya/18229575>

⁴ Станет ли лето 2023 года самым дождливым в Приморье за последние годы? 2023. URL: <https://zr.media/news/2023-07-22/stanet-li-leto-2023-goda-samym-dozhdlivym-v-primorie-za-poslednie-gody-2991847>

¹ Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. М., 2022. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/images/news/20220324/4/Doklad.pdf>

² На Сочи обрушились сильные ливни. 2023. URL: <https://sochi1.ru/text/incidents/2023/07/09/72479324/>

Актуальность темы настоящей статьи подтверждается не только климатическими данными, но и авторитетными исследованиями ученых в мире, которые призывают внедрять «природоориентированные решения» [6] — один из самых эффективных и мало-затратных способов, помогающих сохранять экосистемы и развивать города на их основе.

Городские территории жизненно важно использовать для взаимодействия с водным ресурсом, «падающим с неба» в прямом смысле. Сегодня назрела необходимость внесения изменений в нормативные документы для добавления инструментов устройства открытого дренажа в условиях города. Колоссальное количество атмосферных осадков, дарованных природой, следует возвращать на территории, предназначенные для их усвоения — генерализованные, т.е. адаптированные к широкому диапазону — озера, реки, пруды, и их частные случаи — дождевые сады, биодренажные каналы [7]. Такой подход создает «умные» ландшафты, готовые

принять на себя неудобные для человека погодные условия и сгладить их последствия за счет новых технологических решений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Анализ климатических данных территории исследования

В Москве основным типом атмосферных осадков является дождь. По климатическому графику Москвы⁵ среднее количество дождливых дней каждого месяца за 20 лет увеличилось с 9 до 14 (табл. 1). Это соответствует влажному умеренно континен-

⁵ Климатические данные г. Москвы // WeatherOnline. 2023. URL: https://www.weatheronline.co.uk/weather/maps/city?LANG=en&PLZ=____&PLZN=____&WMO=27612&CO NT=euro&R=0&LEVEL=162®ION=0006&LAND=RS&MOD=tab&ART=TEM&NOREGION=1&FMM=1&FY Y=2022&LMM=12&LYY=2022

Табл. 1. Средние климатические показатели г. Москвы за период с 2000 по 2022 г. и 2023 г.
Table 1. Average climatic indicators of Moscow for the period from 2000 to 2022 and 2023

Показатели Indicators	Период Period	Вегетационный период 175 суток Vegetation season 175 days						
		Апрель April	Май May	Июнь June	Июль July	Август August	Сентябрь September	Октябрь October
Норма осадков, мм Precipitation rate, mm	Среднее Average	44	51	75	94	77	65	59
	2023	29	21	70	152	63	10,6	113
Влажность воздуха, % Air humidity, %	Среднее Average	66	65	68	72	74	80	82
	2023	61,5	61,5	67	67,5	65	68	83
Дождливые дни Rainy days	Среднее Average	9	8	11	12	10	11	10
	2023	8	9	7	18	9	3	14
Влажность почвы, % Soil moisture, %	Среднее Average	55	50	45	40	35	50	55
	2023	33	30	25	27	30	22	37
Показатели Indicators	Период Period	Устойчивые морозы Persistent frosts						
		Ноябрь November	Декабрь December	Январь January	Февраль February	Март March		
Норма осадков, мм Precipitation rate, mm	Среднее Average	58	56	42	36	34		
	2023	—	—	28,8	32,7	60,4		
Влажность воздуха, % Air humidity, %	Среднее Average	86	87	85	82	74		
	2023	—	—	84	85,5	83,5		
Дождливые дни Rainy days	Среднее Average	12	12	11	8	8		
	2023	—	—	20	19	22		
Влажность почвы, % Soil moisture, %	Среднее Average	—	—	—	—	—		
	2023	—	—	—	—	—		

тальному климату с сильным влиянием атлантического морского климата и четко выраженной сезонностью. Для климатического обслуживания городов в мире используются обновленные многолетние средние нормы за период 1971–2010 гг. или 1981–2010 гг., в то время как Гидрометцентр России по ряду финансовых и кадровых причин не производит перерасчет норм с 1961–1990 гг. и 1971–2000 гг., что означает отсутствие объективных отечественных современных данных характеристик климата Москвы. Таким образом, изменение климата, рост среднегодовой температуры и количества осадков становится еще более заметным относительно устаревших сведений. За неполный 2023 г. есть уже три месяца, которые превысили норму осадков в 1,5–2 раза. Однако, несмотря на увеличение количества атмосферных осадков, относительная влажность воздуха и почвы снижается. Так сказывается парниковый эффект и отсутствие экосистемного подхода в инженерном устройстве отвода ливневых вод. Неравномерное распределение атмосферных осадков по времени вегетационного периода создает дополнительные трудности для поддержания зеленых насаждений в здоровом виде.

В табл. 1 также приведены данные влажности почвы. Основным типом почв в Москве являются урбаноземы с морфологическими признаками дерново-подзолистой почвы. Урбаноземы сочетают ненарушенную среднюю и нижнюю части профиля и антропогенно нарушенные верхние слои [8]. Нормативная влажность дерново-подзолистых почв составляет 40–50 %. Данные за 2023 г. констатируют снижение средней влажности почвы до 20–30 %, что считается критическим значением. При такой почвенной влажности невозможен рост растений без дополнительного ухода, и это тоже следствие глобального потепления и урбанизации территорий. Иссущение почв настолько значительно, что осенние осадки не вызывают их сквозного промачивания. Для увеличения влажности почвы при благоустройстве городских цветников используется привезенный чернозем. Тогда почвенный состав меняется на урбанозем с морфологическими признаками чернозема, а влажность аккумулятивной функциональной зоны почвы повышается до 50 %. Такой искусственный прием создает конструктозем — последовательно сменяющиеся слои грунта разного гранулометрического состава и насыщенности органическими соединениями, отсыпанные для целей конструирования профиля по аналогу природной модели почвы [9].

Анализ нормативных документов РФ в области ЗИФ

В Постановлении Правительства Москвы «Правила создания, содержания и охраны зеленых на-

саждений и природных сообществ города Москвы»⁶ предписано держать почву под газонами во влажном состоянии на уровне 75 %. Для выполнения установленных показателей созданные конструктоземы следует дополнительно поливать. В нормативных документах указаны различные цели полива:

- посадочный полив — необходим для приживаемости саженцев и травосмесей;
- вегетационный — выполняется по графику для поддержания влажности почвы;
- подкормочный — для ввода минеральных удобрений;
- освежающий — для предохранения растений от иссушения во время жаркой погоды;
- влагозарядковый — позволяет насытить влагой верхние и нижние слои почвы осенью и весной.

В данной статье авторами будет рассматриваться вегетационный полив — наиболее важное и регулируемое поливное мероприятие, которое жизненно необходимо всем растениям в городских условиях. Количество воды для создания оптимальной влажности при поливе называется нормой полива. Действующий Регламент содержания зеленых насаждений I и II категории г. Москвы⁷ для засушливой, жаркой погоды (далее — Регламент) устанавливает нормы и кратность полива в жаркую, засушливую погоду, которая должна определяться с учетом механического состава почвы и ее влажности, степени влаголюбия и засухоустойчивости видов, а также глубины и ширины залегания корневой системы растений (не менее 30 см). Для этого требуется осуществлять полив всех зеленых насаждений площадью примерно 92 млн м² около 55 раз за вегетационный период из-за повышенной температуры воздуха, что будет дополнительно очищать и увлажнять воздух. Однако на практике эти регламенты не выполняются, ухудшая водный и воздушный режимы почвы. Это подтверждается данными мониторинга и многочисленными обращениями граждан в мэрию Москвы и департамент ЖКХ. Неисполнение поливных мероприятий также привело к уплотнению почвенной массы и снижению влагопроницаемости почвы. Изменился и тепловой режим почвы в городе. Увеличилась амплитуда колебаний температуры в течение года при смене сезонов, это отрицательно влияет на выживаемость растений: почва в жаркие дни нагревается в среднем на 3–5° выше оптимальной температуры, а при по-

⁶ Об утверждении Правил создания, содержания и охраны зеленых насаждений и природных сообществ города Москвы : Постановление Правительства Москвы от 10.09.2002 № 743-ПП (редакция, действующая с 01.03.2023). 2023. URL: <https://docs.cntd.ru/document/3638729>

⁷ Об утверждении Регламента по содержанию зеленых насаждений I и II категории города Москвы для засушливой жаркой погоды : Распоряжение Правительства Москвы от 03.12.2010 № 05-14-495/0.

нижении температуры осенью быстрее отдает свое тепло и промерзает [10].

Анализ территории исследования

Исследование авторов проходит в Москве на перекрестке Ленинского проспекта и улиц Обручева и Лобачевского, где в 2021 г. было выполнено благоустройство, в том числе высажены новые деревья и кустарники, уложен рулонный газон. В предыдущей статье авторов была подробно рассмотрена градостроительная ситуация избранной территории и сделан вывод о том, что на территории исследования существует запас места для внедрения ЗИФ [11].

В продолжение исследования оценим состояние зеленых насаждений на территории перекрестка с помощью фотофиксации. Авторами выявлено девять участков фактических зеленых насаждений вдоль улиц рассматриваемого перекрестка до жилой застройки. На рис. 1 представлена фотография от 15 августа 2022 г.⁸, на которой видно неудовлетворительное состояние зеленых насаждений: на участке 3, входящем в особо охраняемые природные территории (ООПТ), газон пожелтел без полива, атмосферных осадков не хватает для полно-

⁸ Панорамы улиц на карте Москвы. 2022. URL: <https://yandex.ru/maps/-/CDaZBP9U>

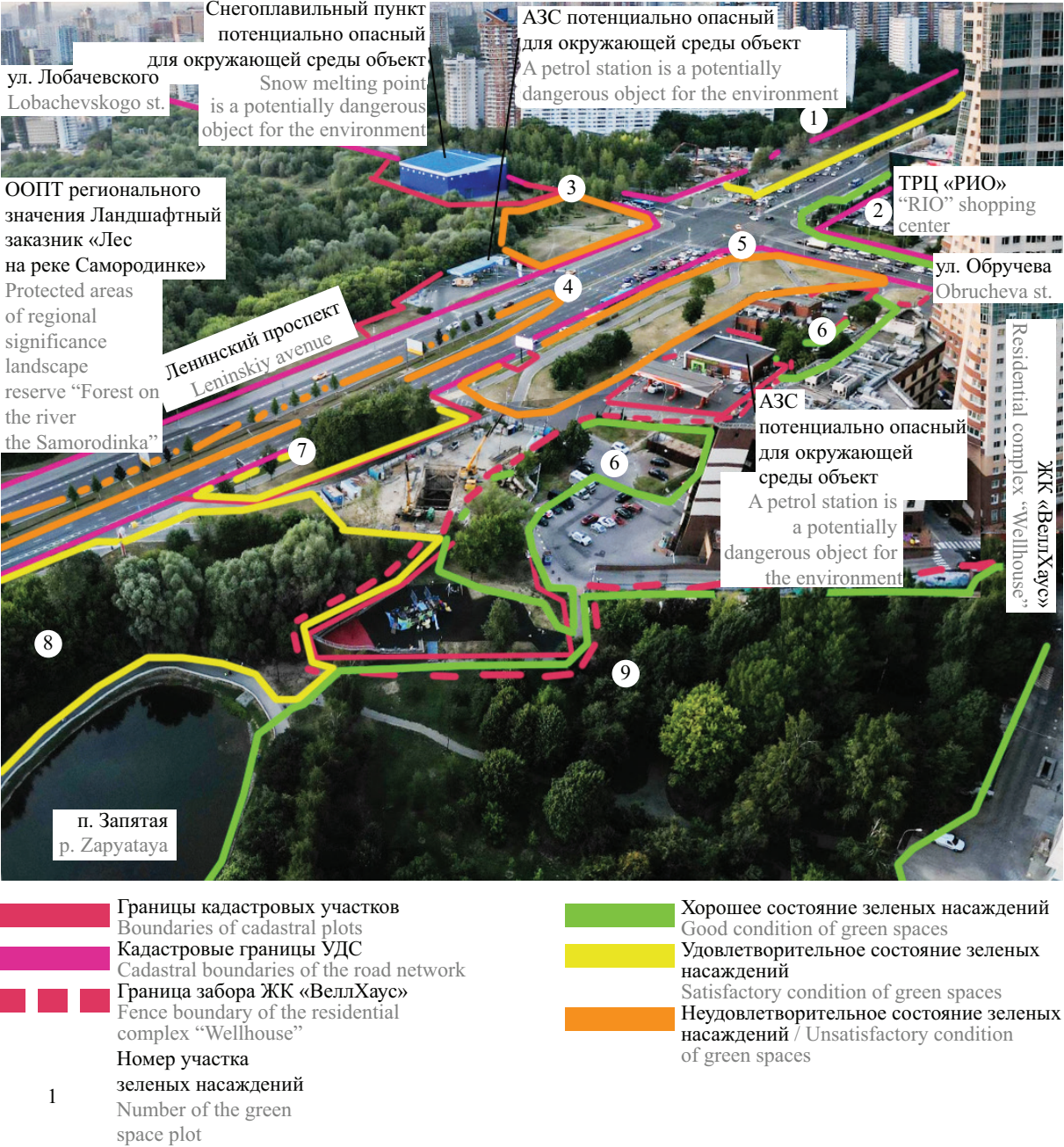


Рис. 1. Фотофиксация существующего состояния озеленения на территории исследования (рисунок авторов)
Fig. 1. Photo fixation of the existing situation of landscaping in the study area (authors’ figure)

ценного увлажнения почвы и растительности. Однако на участке 6, где газон располагается за шлагбаумом и относится к ЖК «ВеллХаус», растения выглядят более ухоженными и насыщенными влагой. Существующие зеленые насаждения около перекрестка Ленинского проспекта и улиц Обручева и Лобачевского находятся в том числе на территориях, не имеющих кадастровых границ и номеров. Например, участок зеленых насаждений под номером 5 со стороны ул. Обручева не относится ни к улично-дорожной сети (УДС), ни к парковым зонам. Такая неопределенность вызывает вопрос: кто же ответ-

Табл. 2. Описание состояния зеленых насаждений на территории исследования

Table 2. Description of the condition of green spaces in the study area

Номер участка на рисунке Plot number in the figure	Кадастровый номер Cadastral number	Категория земель Land category	Фактический собственник участка The actual owner of the plot	Визуальная оценка состояния зеленых насаждений Visual assessment of the green spaces' condition
1	77:07:0013007:219	Земли эксплуатации УДС Lands of settlements operating the road network	Городские власти City authorities	Удовлетворительное: газон пожелтел, деревья здоровые Satisfactory: the lawn has turned yellow, the trees are healthy
2	77:06:0003013:137		ТРЦ «РИО» RIO shopping center	Хорошее: склоны рельефа зеленые, деревья здоровые Good: the terrain slopes are green, the trees are healthy
3	77:07:0014008:121	Земли эксплуатации УДС Lands of settlements operating the road network	Городские власти City authorities	Неудовлетворительное: газон пожелтел, кустарники сухие Unsatisfactory: the lawn has turned yellow, the bushes are dry
	77:07:0014008:118			
	77:07:0014008:14297	Для размещения особо охраняемых природных объектов (территорий) For the placement of specially protected natural objects (territories)		
4	77:07:0014008:121	Земли эксплуатации УДС Lands of settlements operating the road network	Городские власти City authorities	Неудовлетворительное: газон пожелтел, деревья не разрастаются Unsatisfactory: the lawn has turned yellow, the trees are not growing
5	—	—	Нет установленного владельца No established owner	Неудовлетворительное: газон пожелтел Unsatisfactory: the lawn has turned yellow
6	—	—	ЖК «ВеллХаус» Residential complex "Wellhouse"	Хорошее: газон зеленеет, деревья здоровые Good: the terrain slopes are green, the trees are healthy
7	77:06:0006001:11919	Земли населенных пунктов, благоустройство территории Lands of settlements, landscaping	Городские власти City authorities	Удовлетворительное: газон пожелтел, деревья здоровые Satisfactory: the lawn has turned yellow, the trees are healthy
8	77:06:0006001:11222	Земельные участки, занятые городскими лесами, парками Land plots engaged in urban forests, parks	Городские власти City authorities	Удовлетворительное: газон пожелтел, деревья здоровые Satisfactory: the lawn has turned yellow, the trees are healthy
	77:06:0006001:126	Земли эксплуатации УДС Lands of settlements operating the road network		
9	—	—	Нет установленного владельца No established owner	Хорошее: склоны рельефа зеленые, деревья здоровые Good: the terrain slopes are green, the trees are healthy

ственен за благоустройство и содержание территорий зеленых насаждений? Это стало особенно заметно после проведенного благоустройства в 2021 г.: в разделительной полосе между направлениями движения на Ленинском проспекте (участок 4) были высажены новые деревья и кустарники и обновлен бордюрный камень, в то время как зеленые насаждения на этом неразмежеванном кадастровом участке сократились. За счет этих зеленых насаждений, по карте не входящих в УДС, была добавлена полоса движения на проезжей части и расширен тротуар. По нормативам молодые лиственные деревья нужно поливать по 2 раза в неделю, нормой для них будет 50–80 л воды в летний период, однако высаженные пару лет назад деревья и кустарники на участках 3 и 4 так и не достигли размера и диаметра кроны, соответствующего возрасту, а газон пожелтел — все это из-за несоблюдения Регламента и недостатка поливочных мероприятий.

Результат визуальной оценки состояния зеленых насаждений приведен в табл. 2. Треть из обозначенных участков находится в хорошем состоянии, так как частные владельцы зеленых насаждений ответственно подходят к содержанию собственной территории. Еще треть участков зеленых насаждений в неудовлетворительном состоянии, в том числе и территории, входящие в состав ООПТ регионального значения «Лес на реке Самородинке», утвержденной в 2020 г. В удовлетворительном состоянии оставшаяся треть из обозначенных участков с небольшим уклоном рельефа. Эта особенность позволяет участкам 1, 7 и 8 самостоятельно проводить ливневой сток, увеличивать количество впитываемой воды, перемещая ее по уклону рельефа.

Одним из главных препятствий для распределения ливневой воды по участкам зеленых насаждений является высота бордюрного камня, препятствующая отводу воды с дорог и тротуаров. Таким образом, транспортные зоны превращаются в замкнутые емкости без возможности инфильтрации ливневых вод из-за непроницаемых покрытий — асфальта и бетона, а также из-за малой пропускной способности ливневой канализации. Конкретно на территории исследования существует всего 4 элемента «серой» инфраструктуры, которые расположены по направлению ливневого стока. Их максимальная проводимость — до 20 % появляющихся ливневых вод на перекрестке, т.е. ливневки не справляются с возросшим количеством атмосферных осадков [11]. Такое положение снижает качество городской среды несмотря на недавно проведенное благоустройство.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вычисление нормы полива для функционирования ЗИФ

В Регламенте по содержанию зеленых насаждений указываются несколько типов в городе

(табл. 3). Так, у каждого типа зеленых насаждений есть своя поливная норма, но в Регламенте нет дифференциации на виды растений, использующихся в них. Поэтому предложим модели участков зеленых насаждений размером 1 м² с целью проведения расчета средней нормы полива для каждого типа и сравним эти данные с нормативными. Как видно из табл. 3, количество дождливых дней и объем осадков за вегетационный период немного превышают количество дней полива по Регламенту. То есть атмосферные осадки по частоте выпадения и объему примерно равны поливным мероприятиям по Регламенту. Однако некорректно напрямую сравнивать дождь и полив, ведь они должны работать в совокупности и дополнять друг друга. На практике это означает, что растениям нужно меньше воды для полива, чем это указано в Регламенте, но больше воды для питания, чем выпадает атмосферных осадков. Отсюда следует необходимость собирать, направлять, использовать и хранить ливневые воды в зеленых насаждениях города, чтобы компенсировать малое количество поливных мероприятий. Другие нормативные показатели отличаются от фактических в большую сторону, поэтому Регламент нуждается в изменениях, обновлениях и уточнениях.

Произведем расчет поливной нормы по формуле (1) в табл. 3, чтобы вычислить средний объем ливневых вод для выполнения нормы полива по виду растений, л/м². Норма полива на 1 м² площади зеленых насаждений зависит от дефицита запаса почвенной влаги и типа почвы [12]:

$$H = V_{\text{пр}} \cdot (O - P) \cdot \Gamma. \quad (1)$$

Предложения по изменению и дополнению нормативных документов РФ в области ЗИФ

По результатам расчета нормы полива наиболее широкий диапазон требуется для категории «цветники многолетников»: от 2 до 50 л ливневой воды на 1 м². Это значит, что в данном типе зеленых насаждений встречается множество видов растений с разнящейся водопотребностью. Так, например, 5–8 штук растения *вейник остроцветковый* (*Calamagrostis acutiflora*), расположенных на 1 м² конструкторозема при глубине промачивания почвы 10 см для оптимальной влажности 80 %, требуют ежедневно 10,5 л на 1 м². А нивяник обыкновенный (*Leucanthemum vulgare*) при таких же условиях — 28 л на 1 м². В табл. 4 приведен пример расчета поливной нормы и подходящего биотопа для посадки конкретного растения. Таким образом, необходимо расширить и дополнить понятие из Регламента «Цветники многолетников», заменив его на разновидности биотопов, отличающихся друг от друга по норме полива в 1,5 раза (рис. 2). В зависимости от растения будет определяться вид биотопа посадки со скоростью движения, сбора и хранения ливневых вод по территории.

Табл. 3. Описание переменных для вычисления средней нормы полива каждого из типов зеленых насаждений в городе и сравнение с Регламентом

Table 3. Description of parameters for calculating the average irrigation rate of each type of green spaces in the city and comparison with the Regulations

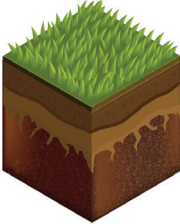
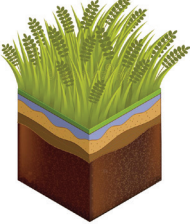
Тип зеленых насаждений Type of green spaces		Газон Grass	Цветники многолетников Flower beds of perennials	Кустарники и живые изгороди Shrubs and hedges	Свободно растущие деревья Free-growing trees
Модель территории Territory model					
Тип почвы Soil type		Конструктозем с морфологическими признаками чернозема A soil-constructor with morphological features of chernozem		Урбанозем с морфологическими признаками дерново-подзолистой почвы Urbanozem with morphological features of sod-podzolic soil	
Коэффициент предельной полевой влагоемкости $B_{пр}$, % Coefficient of marginal field moisture capacity $V_{пр}$, %		35		25–27	26–27
Оптимальная влажность почвы O , % Optimal soil moisture O , %	по регламенту under regulations	75			
	по виду растений by the type of plants	75	80	70–75	65–70
Реальная влажность почвы R , % Real soil moisture R , %	по нормативу under specifications	65		40	
	фактическая actual	50		25	
Глубина увлажнения почвы G , см Depth of soil moisture G , cm	по регламенту under regulations	10	≥ 30	30–50	> 50
	по виду растений by the type of plants	10	5–40	20–30	30–40
Частота полива, дни Watering frequency, days	по регламенту under regulations	20–50	20–50	25–50	50–75
	дождь rain	54–60			
Норма полива H , л/м ² Watering rate H , l/m ²	по регламенту under regulations	20–40	13–30	20–40	30–50
	дождь rain	55–85			
	объем ливневых вод volume of stormwater	8,75	2–50	25–50	25–50

Табл. 4. Расчет поливной нормы и подходящего биотопа для посадки конкретного растения

Table 4. Calculation of irrigation rates and the appropriate biotope for planting a particular plant

Растение Plant	Количе- ство на 1 м ² , шт. Quantity per 1 m ² , pcs.	$V_{пр}$	O	R	G	Водо- потребность, м ³ Water demand, m ³	Водо- потребность, л Water demand, l	Тип биотопа посадки Type of biotope planting	Значок Sign
Медуница Pulmonaria	6–8	0,35	0,8	0,4	0,03	0,0042	4,2	Сухой 1 Dry biotope 1	☐
Вейник остроцвет- ковый Calamagrostis acutiflora	5–8	0,35	0,8	0,5	0,1	0,0105	10,5	Сухой 2 Dry biotope 2	⊘
Молиния Molinia	4–6	0,27	0,75	0,4	0,25	0,02363	23,6	Сухой 3 Dry biotope 3	⊂
Нивяник обыкновенный Leucanthemum vulgare	6	0,35	0,8	0,4	0,2	0,028	28	Полу- влажный Semi-wet biotope	⊆
Дербенник иволистный Lythrum salicaria	4–5	0,35	0,9	0,4	0,4	0,06125	61	Влажный Wet biotope	⊃

Предлагаемые авторами разновидности биотопов относятся к различным типам городских территорий по строению рельефа и наличию инженерных сетей. В устройстве дождевых садов могут быть использованы растения, относящиеся не только к влажному биотопу, но и к полувлажному, для сохранения структуры водоема — мелководных и глубоководных зон [13]. Во избежание риска полного зарастания влажного биотопа следует запланировать глубоководную зону 3 м, поскольку многие разрастающиеся водяные растения растут только до глубины воды около 2 м. Это также создаст жизненные пространства для различных видов животных.

Водопотребность — не единственное условие для нормальной жизнедеятельности растений. Большое влияние оказывают световые условия территории для посадки. Растения делятся на четыре большие группы, отличающиеся по времени инсоляции и характеру затенения (табл. 5). Время инсоляции напрямую отражается на плотности посадки зеленых насаждений. Чем больше солнечных лучей попадает на участок с влаголюбивыми растениями, тем активнее стоит их поливать. Необходимо обращать внимание на длину теней окружающих зданий, их наложения. По итогам инсоляционного анализа территории определяются места для озеленения, разрабатывается дендроплан территории и подбирается цветочный ассортимент. Например, газон относится к светолюбивым растениям, поэтому на теневых участках он редееет, обнажая почву, и теряет насыщенность окраса. В таком случае его следует заменить на тенелюбивые многолетники, которые

защитят почву от эрозии и сохраняют эстетичный вид в течение нескольких лет, а также выполняют другие функции ЗИФ. Световые условия посадки растений не учитываются ни в одном нормативном документе этой области, что является существенным недостатком, подлежащим исправлению.

Применение разработанных рекомендаций на территории исследования

На рис. 3 схематично изображена граница территории исследования и результат применения инсоляционной линейки для определения границы тени от зданий в течение вегетационного периода. Жилой комплекс «ВеллХаус» по адресу Ленинский пр-т, д. 111, корп. 1 высотой около 150 м дает большую часть тени, попадающей на территорию исследования. Данные инсоляционного анализа приведены в табл. 5. Большая часть видов растений для благоустройства этой территории будет относиться к светолюбивым. На рис. 3 авторами предлагается несколько мест для устройства дождевого сада по направлению стока на рельефе территории исследования. Отметим, что охранный зона ООПТ не установлена, по ее краям расположены объекты потенциального загрязнения окружающей среды: снегоплавильный пункт и автомобильная заправочная станция, у которых должны быть собственные охранные зоны. Большинство мест будущего расположения дождевых садов приходится на территорию ООПТ регионального значения ландшафтный заказник «Лес на реке Самородинке» для очищения фиторемедиационными технологиями и попол-

нения водами р. Самородинка после таяния снега и ливневых дождей. В настоящий момент река поч-

ти не протекает, а существует в виде цепочки из четырех декоративных водоемов с бетонированными

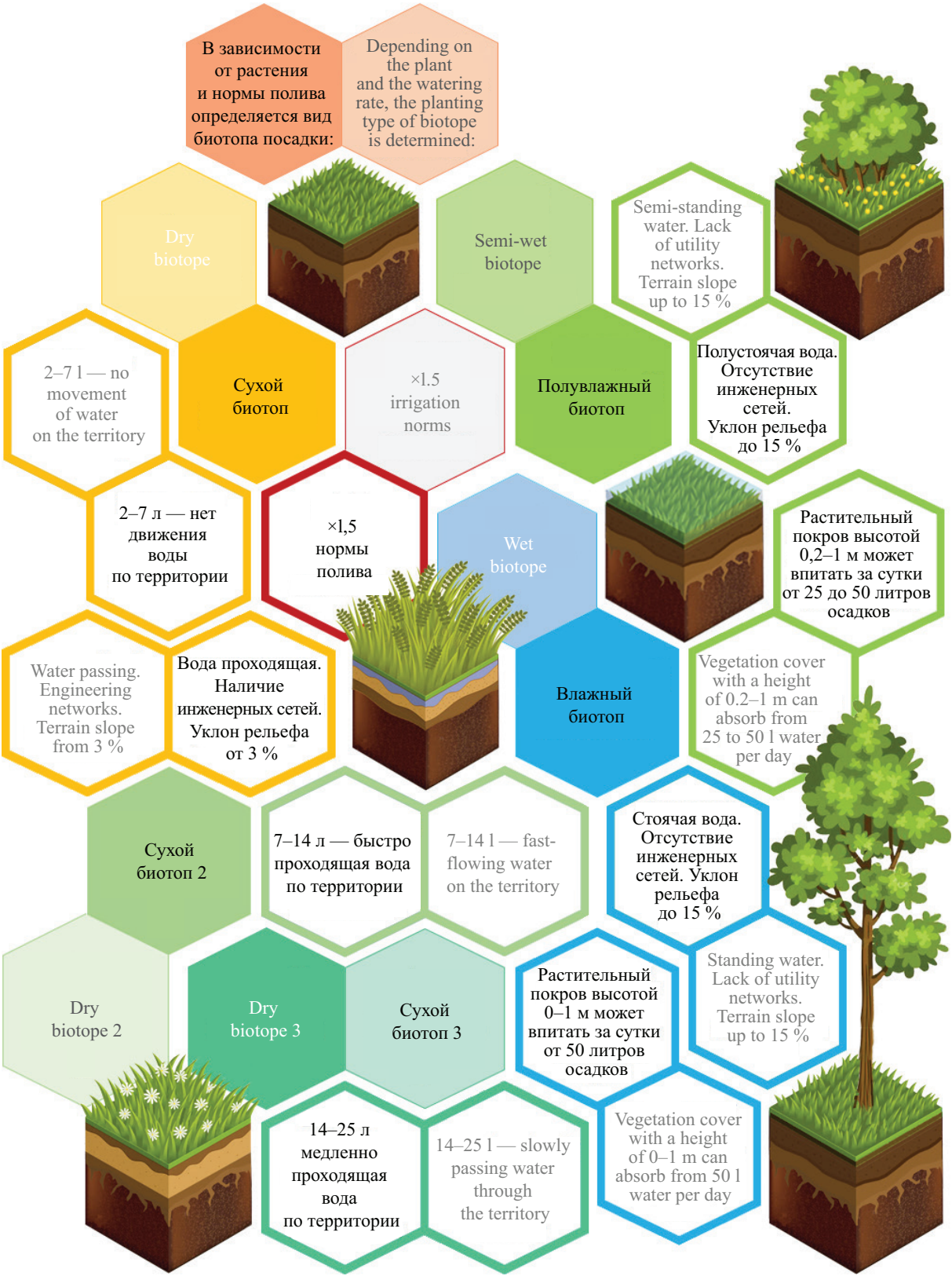


Рис. 2. Схема разновидности биотопов с кратким описанием условий территории для их создания (рисунок авторов)

Fig. 2. The scheme of biotopes' variety with a brief description of the territory conditions for their creation (authors' figure)

Табл. 5. Характеристика световых условий для растений

Table 5. Characteristics of light conditions for plants

Световые условия Light conditions	Освещение солнцем, ч в день Solar illumination, hours per day	Характер затенения территории Characteristics of the territory's shading	Значок Sign	Соотношение участков на территории исследования, % The ratio of plots in the study area, %
Только под солнцем Only under the sun	>6	Открытый участок без тени Open area without shade	○	60
Солнце и полутень Sun and partial shade	3–6	Открытый участок с непродолжительным затенением от зданий или деревьев Open area, with short shading from buildings or trees	○ %	30
Полутень и тень Partial shade and shade	<3	Постоянная тень около корней деревьев Permanent shade near the roots of trees	% ●	5
Только тень Only shade	1–3	Постоянная тень около зданий Permanent shade near buildings	●	5

отвесными берегами⁹. Так, в обход коллекторов и рукотворного пруда Запятая прокладывается Тро-ицкая линия Московского метрополитена.

Создание авторских биотопов в контексте духа места

Для создания биотопов на улицах Москвы рас-смотрим исторически сложившуюся совокупность видов растений. В 1826 г. был опубликован «Список растений московской флоры» Михаилом Максимовичем [14], состоящий из 926 наименований. Дру-гая работа коллектива авторов В.Н. Ворошилова, А.К. Скворцова и В.Н. Тихомирова под названи-ем «Определитель растений Московской области» спустя 140 лет насчитывает уже 1312 видов расте-ний [15]. В 2018 г. в «Списке сосудистых растений Московской флоры» [16] приведено 1908 видов, подвидов и гибридов растений, из которых 1006 яв-ляются заносными. Такое увеличение объясняется территориальным развитием — территории Москов-ской губернии сейчас в составе Москвы, а границы Москвы и Московской области существенно рас-ширились. Также многие виды были занесены че-рез транспортные пути или семенным материалом спорадически. Описанные растения произрастают на характерных для Москвы и области дерново-подзолистых почвах, а значит приспособлены к бы-строму впитыванию воды в почвенную толщу. Мож-но говорить об имевшихся в Москве собственных «исторических» биотопах, которые имеет смысл

воссоздать заново для восстановления и поддержа-ния природных экосистем.

Выбранный для исследования проспект назван в честь В.И. Ленина — вождя мирового пролетари-ата и выдающейся личности своего времени, внес-шего неоценимый вклад в развитие российского государства. Узнаваемыми символами революци-онной эпохи являются флаг и звезда красного цве-та, как цвета мужества и пролитой крови рабочего класса в борьбе за свою свободу. Передавая славное прошлое революционного движения, именно крас-ный цвет отражает символизм и передает дух места при ассоциации с Ленинским проспектом. Поэтому в представленном перспективном виде дождевого сада (рис. 4) авторы попытались передать семанти-ческий образ и запоминаемость среды через модели структуры биотопа, возможности растительности, рельефа места и технологий при водочувствитель-ной реставрации Ленинского проспекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Современное глобальное потепление, отчет-ливо выраженное на территории России, имеет ряд важных особенностей [17]. Территория России теплеет почти вдвое быстрее, чем суша в целом: +0,51 °C за десятилетие, причем каждое десятиле-тие с 1981–1990 гг. теплее предыдущего, а 9 из 10 самых теплых лет наблюдались в XXI в. Годовые суммы атмосферных осадков на территории РФ демонстрируют устойчивый рост, превышая сред-ние глобальные показатели. Для водных экосистем отмечается и прогнозируется не только изменение стока (годового, сезонного), режима питания рек, учащение экстремальных паводков и маловодий, но также изменение русел, увеличение мутности, повышение температуры и связанное с ним измене-

⁹ Кадастровое дело № 019 «Особо охраняемая природная территория регионального значения ландшафтный заказник «Лес на реке Самородинке». 2020. URL: <https://www.mos.ru/upload/content/files/019KDLZLesnarekeSamorodinke.docx>



510



Рис. 4. Перспективный вид дождевого сада на территории исследования в июле (рисунок авторов)

Fig. 4. A perspective view of the rain garden in the study area in July (authors' figure)

ние состава и численности гидробионтов и водных растений, внедрение инвазивных видов. Повышение температуры в сочетании с эвтрофикацией приводит к существенному снижению качества воды [18].

Оказать обратное влияние на появившуюся тенденцию может повсеместное внедрение элементов зеленой инфраструктуры. Управление ливневыми водами как основной инструмент водочувствительного дизайна городской среды утверждает экосистемный подход к планированию и использованию территорий.

Проведенный авторами анализ нормативных документов РФ показывает неэффективность использования устаревших данных и технологий для поддержания зеленых насаждений в хорошем виде на улицах городов. Практика других регионов России демонстрирует, что устройство дождевых садов для приема и дальнейшего распределения ливневых вод сочетает высокую эффективность, экологичность, оптимальную стоимость и эстетичный внешний вид [19–22].

Сегодня Москва и ее ближайшие окрестности практически превратились в сплошной антропогенно трансформированный ландшафт, и единственная возможность сохранить биоразнообразие в городе — это создать «умный ландшафт» на основе современных градостроительных решений в инженерной подготовке городской территории. Водочувствительный дизайн городской среды позволяет технологическими средствами имитировать природные процессы, поддерживать природные территории в состоянии устойчивости за счет растений местной флоры, а также может быть естественным образом связан с семантическим образом места, передавать цвет технологиями ЗИФ.

Авторами осуществлен подбор растений для климатической зоны Москвы по условиям морозостойкости, освещенности и водопотребности. Представленные растения используются с целью создания полувлажного и влажного биотопов в дождевых садах для очистки ливневой воды и пополнения р. Самородника, протекающей на территории исследования.

Результаты проведенного исследования в виде предложения новой классификации городских зеленых насаждений и корректировки нормативных показателей вегетационного полива активно повлияют на создание узнаваемого благоустройства с включением природных биотопов разной структуры и гидрофильности в целях комфортной и устойчивой среды для нынешнего и будущего поколений жителей нашей страны.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Chu X., Campos-Guereta I., Dawson A., Thom N. Sustainable pavement drainage systems: Subgrade moisture, subsurface drainage methods and drainage effectiveness // *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 364. P. 129950. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129950
2. Гинзбург А.И., Лебедев С.А., Шеремет Н.А. Южные моря России. М. : Росгидромет, 2014. 1008 с.
3. Dias F.T., Pereira D.M., Clemente C.M.S., Parma G.O.C., Beattie V.I., de Andrade Guerra J.B.S.O. Environmental challenges to gray cities becoming green cities // *Implementing the UN Sustainable Development Goals — Regional Perspectives*. 2023. Pp. 521–544. DOI: 10.1007/978-3-031-16017-2_2
4. Li H., Zhang C., Chen M., Shen D., Niu Y. Data-driven surrogate modeling: Introducing spatial lag to consider spatial autocorrelation of flooding within urban drainage systems // *Environmental Modelling & Software*. 2023. Vol. 161. P. 105623. DOI: 10.1016/j.envsoft.2023.105623
5. Zhuravlev P., Sborshchikov S., Kochenkova E. Managerial features of the design of technical solutions for engineering protection of the territories during the life cycle and their reengineering // *Building Life-cycle Management. Information Sys-*

tems and Technologies. 2022. Pp. 467–476. DOI: 10.1007/978-3-030-96206-7_49

6. *Strassburg B.B.N., Iribarrem A., Beyer H.L., Cordeiro C.L., Crouzeilles R., Jakovac C.C. et al.* Global priority areas for ecosystem restoration // *Nature*. 2020. Vol. 586. Issue 7831. Pp. 724–729. DOI: 10.1038/s41586-020-2784-9

7. *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

8. *Литвенкова И.А.* Экология городской среды: урбоэкология : курс лекций. Витебск : Изд-во УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2005. 163 с.

9. *Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А.* Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // *Почвоведение*. 2011. № 5. С. 611–623. EDN NTOPHL.

10. Кузнецов В.А. Почвы и растительность парково-рекреационных ландшафтов Москвы : дис. ... канд. биол. наук. М., 2015. 170 с. EDN MPCSU.

11. *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

12. *Калмыкова А.Л.* Строительство и содержание объектов ландшафтной архитектуры: краткий курс лекций для студентов направления подготовки 35.04.09 «Ландшафтная архитектура». Саратов, 2016. 37 с. URL: <https://www.vavilovsar.ru/files/pages/25758/14725337574.pdf>

13. *Хольцер Й.А., Хольцер К., Калькхоф Й.* Травяные спирали, сады на террасах. Орел : Зенина С.В., 2012. 271 с. EDN QLCSKH.

14. *Максимович М.* Список растений Московской флоры, составленный Михаилом Максимовичем. М. : Университетская типография, 1826. 24 с.

15. *Ворошилов В.Н., Скворцов А.К., Тихомиров В.Н.* Определитель растений Московской области. М. : Наука, 1966.

16. *Щербаков А.В., Любезнова Н.В.* Список со- судистых растений Московской флоры : монография. М. : ООО Галлея-Принт, 2018. 160 с. EDN FMRRLL.

17. *Akaev A., Davydova O.* Climate and energy: energy transition scenarios and global temperature changes based on current technologies and trends // *Reconsidering the Limits to Growth*. 2023. Pp. 53–70. DOI: 10.1007/978-3-031-34999-7_4

18. *Fuso F., Stucchi L., Bonacina L., Fornaroli R., Bocchiola D.* Evaluation of water temperature under changing climate and its effect on river habitat in a regulated Alpine catchment // *Journal of Hydrology*. 2023. Vol. 616. P. 128816. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.128816

19. *Vitiuk E.Yu.* Biodrainage ditches and rain gardens as improvement tools in a modern city // *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2022. Issue 3. DOI: 10.47055/1990-4126-2022-3(79)-11

20. *Zaykova E.Y.* Healing landscapes in the multi-functional hybrid objects // *Proceedings of the Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering*. 2019. Pp. 347–355.

21. *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

22. *Zaykova E.* Strategies ensuring the stability of natural and urbanized biotopes in hybrid multifunctional objects // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1030. Issue 1. P. 012065. DOI: 10.1088/1757-899x/1030/1/012065

Поступила в редакцию 13 ноября 2023 г.

Принята в доработанном виде 18 ноября 2023 г.

Одобрена для публикации 11 января 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Елена Юрьевна Зайкова** — кандидат архитектуры, доцент кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 503400, ORCID: 0000-0002-0555-9941; lana_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, итоговые выводы.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Chu X., Campos-Guereta I., Dawson A., Thom N. Sustainable pavement drainage systems: Subgrade moisture, subsurface drainage methods and drainage effectiveness. *Construction and Building Materials*. 2023; 364:129950. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129950
2. Ginzburg A.I., Lebedev S.A., Sheremet N.A. *Climate impacts on marine natural systems. Southern seas of Russia*. Moscow, Rosgidromet, 2014; 1008. (rus.).
3. Dias F.T., Pereira D.M., Clemente C.M.S., Parma G.O.C., Beattie V.I., de Andrade Guerra J.B.S.O. Environmental challenges to gray cities becoming green cities. *Implementing the UN Sustainable Development Goals — Regional Perspectives*. 2023; 521-544. DOI: 10.1007/978-3-031-16017-2_2
4. Li H., Zhang C., Chen M., Shen D., Niu Y. Data-driven surrogate modeling: Introducing spatial lag to consider spatial autocorrelation of flooding within urban drainage systems. *Environmental Modelling & Software*. 2023; 161:105623. DOI: 10.1016/j.envsoft.2023.105623
5. Zhuravlev P., Sborshchikov S., Kochenkova E. Managerial features of the design of technical solutions for engineering protection of the territories during the life cycle and their reengineering. *Building Life-cycle Management. Information Systems and Technologies*. 2022; 467-476. DOI: 10.1007/978-3-030-96206-7_49
6. Strassburg B.B.N., Iribarrem A., Beyer H.L., Cordeiro C.L., Crouzeilles R., Jakovac C.C. et al. Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature*. 2020; 586(7831):724-729. DOI: 10.1038/s41586-020-2784-9
7. 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
8. Litvenkova I.A. *Ecology of the urban environment: urban ecology : course of lectures*. Vitebsk, Publishing house of the Educational institution “VSU named after P.M. Masherov”, 2005; 163. (rus.).
9. Prokofyeva T.V., Martynenko I.A., Ivannikov F.A. Classification of Moscow soils and parent materials and its possible inclusion in the classification system of Russian soils. *Soil Science*. 2011; 5:611-623. EDN NTOPHL. (rus.).
10. Kuznetsov V.A. *Soils and vegetation of park and recreational landscapes of Moscow : thesis of candi-date of biological sciences*. Moscow, 2015; 170. EDN MIICSY. (rus.).
11. 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 (rus.).
12. Kalmykova A.L. *Construction and maintenance of landscape architecture objects : a short course of lectures for students of the training direction 35.04.09 “Landscape architecture”*. Saratov, 2016; 37. URL: <https://www.vavilovsar.ru/files/pages/25758/14725337574.pdf> (rus.).
13. Khol'tser Y.A., Khol'tser K., Kal'kkhof Y. *Grass spirals, terraced gardens*. Orel, Zenina S.V., 2012; 271. EDN QLCSKH. (rus.).
14. Maksimovich M. *List of plants of the Moscow flora, compiled by Mikhail Maksimovich*. Moscow, University Printing House, 1826; 24. (rus.).
15. Voroshilov V.N., Skvortsov A.K., Tikhomirov V.N. *Determinant of plants of the Moscow region*. Moscow, Nauka, 1966. (rus.).
16. Shcherbakov A.V., Lyubeznova N.V. *List of taxa of vascular plants of Moscow flora : monograph*. Moscow, LLC Galleya-Print, 2018; 160. EDN FMRLL. (rus.).
17. Akaev A., Davydova O. Climate and energy: energy transition scenarios and global temperature changes based on current technologies and trends. *Reconsidering the Limits to Growth*. 2023; 53-70. DOI: 10.1007/978-3-031-34999-7_4
18. Fuso F., Stucchi L., Bonacina L., Fornaroli R., Bocchiola D. Evaluation of water temperature under changing climate and its effect on river habitat in a regulated Alpine catchment. *Journal of Hydrology*. 2023; 616:128816. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.128816
19. Vitiuk E.Yu. Biodrainage ditches and rain gardens as improvement tools in a modern city. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2022; 3. DOI: 10.47055/1990-4126-2022-3(79)-11
20. Zaykova E.Y. Healing landscapes in the multifunctional hybrid objects. *Proceedings of the Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering*. 2019; 347-355.
21. 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
22. 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

Received November 13, 2023.

Adopted in revised form on November 18, 2023.

Approved for publication on January 11, 2024.

B I O N O T E S: **Elena Yu. Zaykova** — Candidate of Architecture, 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, ID RSCI: 503400, 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, 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.