

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ / REVIEW PAPER

УДК 711.5:551.586:556.16

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.5.685-712

Фиторемедиационный потенциал озелененных территорий в городе

Елена Юрьевна Зайкова, София Сергеевна Феофанова*Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Отклонение от средних температур в настоящее время составляет 1,5 °С. Если изменение климата продолжится и из-за антропогенного влияния температура воздуха поднимется до 3–4 °С, то аномально высокие тепловые волны будут возникать почти каждый год, принося с собой интенсивные медленно движущиеся ливни. Проведен обзор более 15 мировых программ по внедрению зеленой инфраструктуры в городах с момента появления этого термина в 1970-х годах и до настоящего момента. Все они имеют общие долгосрочные цели, совпадающие с рекомендациями Всемирной метеорологической организации и Управления Организации Объединенных Наций по снижению риска бедствий.

Материалы и методы. Авторы продолжают подробно исследовать перекресток Ленинского проспекта и улиц Лобачевского и Обручева в Москве. Кадастровая неустроенность территории исследования и создание особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Ландшафтный заказник "Лес на реке Самородинке"» в 2020 г. создают дополнительные возможности для сбора ливневой воды и внедрения фиторемедиационных технологий.

Результаты. Выполнен анализ состояния ООПТ, прилегающей к территории исследования, отмечены растения, находящиеся под угрозой исчезновения и занесенные в Красную книгу. Приведен примерный перечень растений для использования в фиторемедиационных сооружениях.

Выводы. Необходимо использовать озелененные территории в городе для раскрытия фиторемедиационного потенциала. Правильно подобранные растения, устойчивые в городской среде, помогут оздоровить существующий природный ресурс, повысить узнаваемость городской среды и добавить в постоянное пользование новые социокультурные сценарии для жителей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: умные ландшафты, зеленая инфраструктура, ландшафтная инфраструктура, дождевой сад, биоинженерные сооружения

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Зайкова Е.Ю., Феофанова С.С. Фиторемедиационный потенциал озелененных территорий в городе // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 5. С. 685–712. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.5.685-712

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

Phytoremediation potential of green spaces in the city

Elena Yu. Zaykova, Sofia S. Feofanova*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The deviation from average temperatures is currently 1.5 °C. If climate change continues, and due to anthropogenic influence, air temperature rises to 3–4 °C, then abnormally high heat waves will occur almost every year, bringing with them intense slow-moving rains. A review of more than 15 global programmes to implement green infrastructure in cities from the inception of this term in the 1970s and up to the present has been carried out. All of them have common long-term goals that coincide with the recommendations of the World Meteorological Organization and the United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

Materials and methods. The authors continue their detailed study of the intersection of Leninsky Prospekt and Lobachevsky and Obruchev streets in Moscow. The cadastral unsettledness of the research area and the creation of the specially protected area "Landscape Reserve "Forest on the Samorodinka River" in 2020 create additional opportunities for the collection of stormwater and implementation of phytoremediation technologies.

Results. The authors carried out an analysis of the state of protected areas adjacent to the research area, noted plants that are endangered and listed in the Red Book. The approximate list of plants for use in phytoremediation facilities is given.

Conclusions. It is necessary to use green areas in the city to reveal phytoremediation potential. Properly selected plants that are sustainable in the urban environment will help to improve the existing natural resource, increase the recognizability of the urban environment and add new socio-cultural scenarios for residents to permanent use.

KEYWORDS: smart landscapes, green infrastructure, landscape infrastructure, rain garden, bioengineering facilities

FOR CITATION: Zaykova E.Yu., Feofanova S.S. Phytoremediation potential of green spaces in the city. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(5):685-712. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.5.685-712 (rus.).

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

ВВЕДЕНИЕ

Климат Земли меняется, и большая часть наблюдаемого изменения связана с деятельностью человека. Это привело к перестройке температурных режимов, сопровождающихся скачком режима осадков. Острая потребность общества в решении проблем, связанных с воздействиями изменения климата на города и сельскохозяйственные территории, со смягчением риска бедствий и повышением устойчивости к ним, а также с обеспечением устойчивого развития на нашей планете, повышает важность климатических исследований. Увеличение объема дождевой воды, который должен освоить город, непосредственно влияет и на инженерную устойчивость городской территории, и на способность зеленой инфраструктуры к самоподдержанию.

Изменение климата уже привело к значительному увеличению интенсивных медленно движущихся ливней. По оценкам ученых [1], при потеплении на один градус по Цельсию содержание влаги в атмосфере увеличилось на 7 %. Этот температурный рекорд был установлен в июле 2017 г., однако в 2023 г. он был побит [2]. Отклонение от средних температур 1850–1900 гг., которые используются в качестве базовой климатической отметки, в настоящее время составляет 1,5 °C¹. «Этот доклад не означает, что мы навсегда превысим уровень в 1,5 °C, указанный в Парижском соглашении, которое касается долгосрочного потепления на протяжении многих лет. Тем не менее Всемирная метеорологическая организация (ВМО) выражает тревогу по поводу нарастания частоты временных превышений уровня в 1,5 °C», — заявил Генеральный секретарь ВМО профессор Петтери Таалас².

Согласно Шестому оценочному докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата (далее — МГЭИК)³, разогрев атмосферы, океана и суши произошел под влиянием человека. Первым этапом глобального потепления стало резкое развитие фабрик и заводов, вследствие чего средневзвешенная температура на планете Земля поднялась на 0,7 °C. В первой четверти XXI в. прибавка составила до 0,3 °C. Это существенно раскачало всю климатическую систему планеты. Воздушные массы стали больше передвигаться по оси юг-север. Горячий воздух с юга и холодный воздух с севера чаще и глубже проникают вдоль меридиа-

нов. И средняя температура складывается из гораздо больших колебаний, чем раньше, — считает лауреат Нобелевской премии мира 2007 г. за распространение научных знаний по проблеме изменения климата А. Кокорин⁴. Антропогенное изменение климата уже влияет на многие погодные и климатические экстремальные явления во всех регионах земного шара. Такие условия создали одни из самых серьезных проблем для физиологических порогов человека, общества и инфраструктуры, а также для окружающей среды.

Ученые отмечают, что изменение климата взаимодействует с такими глобальными тенденциями, как неустойчивое использование природных ресурсов, возрастающая урбанизация, социальное неравенство, потери и ущерб от экстремальных явлений и пандемии, ставя таким образом под угрозу будущее развитие человечества⁵.

Например, ежегодная глобальная стоимость деградации земли составляет около 300 млрд долл. США [3]. Только около 46 % этой суммы приходится на землепользователей, а остальные 54 % несут потребители экосистемных услуг за пределами сельскохозяйственного производства. Основная проблема заключается в том, что, хотя неблагоприятные климатические изменения происходят локально, потери и затраты на их корректировку являются глобальными. Так, несколько одновременных или последовательных негативных воздействий могут давать кумулятивный или каскадный эффекты и приводить к значительным потерям биоразнообразия и экосистемных услуг.

Если изменение климата продолжится, и из-за антропогенного влияния температура воздуха поднимется до 3–4 °C, то частота аномально высоких тепловых волн вырастет в 20 раз и будет возникать почти каждый год [4]. Таким образом в природе задержится избыточная тепловая энергия. Причем водяной пар относится к парниковым газам, так что возникает петля положительной обратной связи, усиливающая эффект.

Прогнозируемое учеными увеличение дефицита давления паров повлияет и на существующую взаимосвязь круговорота углерода, других минералов и воды на суше: усиление глобального потепления повлечет высыхание почвы [5] на территориях, где снижается количество среднегодовых осадков. Все эти процессы, вызванные антропогенными выбросами углерода, приводят у ряда ученых к опа-

¹ Парижское соглашение. 2015. URL: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf

² ВМО опубликовала доклад «Состояние климата в Азии в 2023 году» // Климатический центр Росгидромета. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/novosti/sobytiya>

³ Изменение климата 2021 — физическая научная основа // Шестой оценочный доклад МГЭИК. 2021. URL: <https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-2021-the-physical-science-basis/415F29233B8BD19FB55F65E3DC67272B#>

⁴ Как климатическая повестка изменит наш образ жизни. 2020. URL: <https://ru.valdaiclub.com/a/highlights/kak-klimaticheskaya-povestka-izmenit-nash-obraz-zhizni/>

⁵ Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 2023. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

сениям по поводу будущего дефицита почвенного азота [6], что напрямую влияет на выживаемость растений на Земле.

Изменение климата напрямую влияет на градостроительство, где основным показателем эффективности реализованных решений становится успешное противостояние погодным условиям через инженерную подготовку территории и работу с поверхностной дождевой водой в структуре растительного биотопа.

Решения мирового сообщества по проблеме глобального потепления климата

Для борьбы с последствиями изменения климата человечество создало множество международных инициатив⁶, организаций^{7, 8} и усилий^{1, 9} по обнаружению, сопоставлению и обработке климатических данных и разработке планов создания более безопасного и устойчивого будущего для всех.

Согласно Конвенции по борьбе с опустыниванием¹⁰ Организации Объединенных Наций (ООН) с 2012 г. имеется шесть глобальных стратегий реагирования для сокращения неблагоприятного воздействия на окружающую среду:

- многофункциональный подход к земельным ресурсам;
- формирование устойчивости к внешним воздействиям;
- сельскохозяйственная деятельность, нацеленная на многочисленные преимущества;
- регулирование границ между сельскими и лесными районами с одной стороны, городскими и индустриальными территориями с другой;
- недопущение суммарных потерь из-за нерационального потребления природных ресурсов;
- создание благоприятных условий для сохранения биоразнообразия.

Так, ВМО и Управление ООН по снижению риска бедствий возглавляют инициативу заблаговременные предупреждения для всех¹¹ вместе с Международным союзом электросвязи и Международной

федерацией обществ Красного Креста и Красного Полумесяца, в которой также участвует Россия.

Эта программа предлагает климатическое, метеорологическое и гидрологическое обслуживание для предотвращения ущерба, а также выгодного сельскохозяйственного производства, коррекции работы воздушного, морского и наземного транспорта, туризма и различных предприятий.

Под климатическим обслуживанием в Глобальной рамочной основе для климатического обслуживания¹² (ГРОКО) понимается создание информационной климатической продукции (данные о прошлом, настоящем и будущем) и предоставление ее в виде цифровых массивов, картографического материала, аналитических обзоров и рекомендаций через средства коммуникации и презентации. Приоритетным для Российской Федерации в дополнение к пяти областям ГРОКО является климатическое обслуживание транспорта, строительства и городов¹³.

Экологический градостроительный подход вписывается в Конвенцию ООН о биологическом разнообразии¹⁴, где дается исчерпывающее понятие адаптации регионов к изменениям климата на основе экосистем — использование биоразнообразия и экосистемных функций и услуг для улучшения благосостояния общества.

В таких программах международного сотрудничества все отчетливее проявляется конвергенция между климатическим и экосистемными видами обслуживания. Стираются границы между отраслями, и это требует новых моделей взаимодействия, способных еще больше усилить эффект, возникающий в результате сближения. Например, выработка общего языка и поддержание непрерывного диалога между профессиональными климатологами, представителями «отраслевых» технических наук и субъектами адаптации¹⁵.

Основная цель адаптационных мер — предотвратить гибель или снижение продуктивности экосистем на значительных территориях. Так, используются две группы экосистемных функций: защитные (для защиты от неблагоприятных погодноклиматических явлений и их последствий, включая наводнения, почвенную эрозию и др.) и регулирую-

⁶ Инициативы по борьбе с изменением климата // Организация Объединенных Наций. 2023. URL: <https://www.un.org/ru/climatechange/climate-action-coalitions>

⁷ Саммит по целям в области устойчивого развития // Организация Объединенных Наций. 2019. URL: <https://www.un.org/ru/about-us/>

⁸ ВМО — специализированное учреждение ООН. 2022. URL: <https://public.wmo.int/ru/%D0%BE-%D0%BD%D0%B0%D1%81>

⁹ Декларация Рио-де-Жанейро по окружающей среде и развитию. 1992. URL: <https://docs.cntd.ru/document/8308082>

¹⁰ Земельные ресурсы: всемирный обзор. Первое издание. 2017. URL: https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/GLO_Full_Report_low_res_Russian.pdf

¹¹ ВМО и Инициатива раннего предупреждения для всех. 2022. URL: <https://public.wmo.int/en/earlywarningsforall>

¹² Глобальная рамочная основа для климатического обслуживания. 2014. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/upload/iblock/442/groko.pdf>

¹³ Климатическое обслуживание // Климатический центр Росгидромета. 2022. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/obsluzhivanie>

¹⁴ Конвенция о биологическом разнообразии. 1992. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/biodiv.shtml

¹⁵ Ecumene 2022: Глобальный финансовый форум. URL: <http://voeikovmgo.ru/index.php/component/content/article/27-sobytiya/1134-ecumene-2022-globalnyj-finansovyj-forum>

шие (для создания комфортного микроклимата, поддержания гидрологического режима и др.) [7].

Например, сохраняя и правильно используя озелененные территории и водные объекты, т.е. внедряя «зеленую» и «голубую» инфраструктуры, города становятся устойчивее и разнообразнее. В Китае с 1997 г. создаются города-губки, очищающие загрязненную ливневую воду с помощью фильтрационных свойств растений. Пилотным проектом стал Пекинский парк биологических наук Чжунгуаньцунь, где построенные в 2000 г. водно-болотные угодья собирают дождевую воду [8]. В 2005 г. парк «Красная лента» помог превратить заброшенную и заросшую пойму в популярный городской парк, используя стратегию минимального вмешательства в сложившуюся экосистему. Развитие точечных проектов в национальную политику произошло после катастрофического ливня в Пекине в 2012 г., унесшего десятки жизней. В 2015–2017 гг. проектный институт при правительстве Китая TURENSCAPE реализовал крупномасштабные проекты по строительству губчатых городов в г. Санья и на о-ве Хайнань, представляя комплексное применение знаний и опыта ведущего проектного института Китая, накопленных за предыдущие 20 лет. Эти инновации обеспечили множество экосистемных преимуществ по сравнению с обычным городом, прерывающим природный ландшафт: обеспечение чистой водой, предотвращение засух и наводнений, пополнение запасов грунтовых вод, очищение почвы, сохранение и поддержание биоразнообразия, регулирование микроклимата, а также предоставление новой территории для отдыха и эстетического обогащения городских жителей [9]. Великолепной иллюстрацией такого подхода также является работа команды TURENSCAPE «Парк Фэнсян на реке Мэйше, Хайкоу», который в 2021 г. получил престижную награду ICONIC LANDSCAPE на конкурсе от Итальянской организации поддержки и развития ландшафтной архитектуры PAYSAGE¹⁶.

«Правильное» использование означает, что городские территории получают обратно свои природные свойства, созданные технологическими средствами инженерной подготовки и подбором соответствующего ассортимента растений, способных осаждать и фильтровать дождевую воду. Питание почвы и растений большим количеством воды происходит не только за счет атмосферных осадков, но и с помощью рационального использования ливневых вод. Это позволяет объектам зеленой инфраструктуры решать сразу несколько задач, в отличие от объектов «серой» инфраструктуры.

¹⁶ «Парк Фэнсян на реке Мейше в Хайкоу, Китай» и «Лесной парк Саньтайшань в Суцзяне, Китай» получили награду World Iconic Landscape Award! 2021. URL: <https://www.turenscape.com/news/detail/2113.html>

Специалисты разных направлений продолжают работать над развитием цивилизации в направлении устойчивого развития, и в этом процессе уже участвуют государственные, общественные и коммерческие структуры большинства развитых стран мира.

В 1998 г. многие страны Европы присоединились к Конвенции о защите окружающей среды посредством уголовного законодательства¹⁷, чтобы совместно проводить согласованную политику, направленную на защиту окружающей среды. Эта конвенция, заключенная в Страсбурге, является одним из немногих примеров внимания международного сообщества к мерам именно уголовно-правового характера в сфере защиты окружающей среды.

Другие не менее значимые мировые программы по внедрению зеленой инфраструктуры в городах представлены в табл. 1. Особый интерес вызывает программа 1982 г., проведенная в Париже под названием «Городской парк XXI века» [10], где основополагающим элементом стала ландшафтная инфраструктура. Для зарождающейся зеленой инфраструктуры этот термин стал прорывом, опережающим свое время: организация парка планировалась с учетом того, что диапазон его функций в будущем неизвестен и не определен. Ландшафт был выбран в качестве наиболее подходящей среды, с помощью которой можно постепенно упорядочивать программные и социальные изменения, особенно сложно эволюционирующие механизмы городской деятельности. Распространяя этот опыт по всему миру, следует учитывать разницу температур и объемов осадков для организации элементов зеленой инфраструктуры и корректировать под местные погодные условия и аборигенные виды растений.

Можно констатировать, что к началу XXI в. сложилась определенная концепция, отражающая современное представление мирового сообщества о путях и методах решения проблем изменения климата в городской среде. Характерно, что большинство из этих предложений были сформулированы и выдвинуты экологами, физиками, химиками, биологами, социологами и другими заинтересованными специалистами, общественными деятелями, но не градостроителями.

Особенности изменения климата на территории РФ

Россия также понимает свою ответственность за сохранение и поддержание как природных, так и городских территорий в устойчивом состоянии не только перед своими гражданами, но и перед всем человечеством, и поэтому является активным членом многих глобальных конвенций, регулирующих международные отношения в области окружающей среды.

¹⁷ Конвенция о защите окружающей среды посредством уголовного законодательства. 1998. URL: <https://rm.coe.int/168007f58b>

Табл. 1. Существующие мировые программы по внедрению зеленой инфраструктуры в городах и их общие долгосрочные цели

Table 1. Existing global programmes for the introduction of green infrastructure in cities and their common long-term goals

Начало программы Programme start	Страна Country	Наименование программы Name of the programme	Общие долгосрочные цели Common long-term goals
1969–2004	США USA	Экологическое управление ливневыми стоками [11] Ecological Stormwater Management (ESM) [11]	Моделирование различных режимов потока: заводь, подпитка, обратный поток и поверхностное взвешивание Modelling various flow regimes: backwater, surcharging, reverse flow, and surface ponding
1979–1983		Общенациональная программа по очистке городских стоков ¹⁸ Nationwide Urban Runoff programme ¹⁸	Испарение стоячих поверхностных вод Evaporation of standing surface water
1990		Технология экологически щадящего подхода к дизайну территории ¹⁹ Low Impact Design (LID) ¹⁹	Увеличение инфильтрации воды в почву Increased infiltration of water into the soil
1999		Зеленый город, чистые воды ²⁰ Greenworks Philadelphia ²⁰	Очищение грунтовых вод Groundwater purification
2003		Естественные дренажные системы в Сиэтле ²¹ Natural Drainage Systems in Seattle ²¹	Взаимодействие между грунтовыми водами и дренажной системой Interflow between groundwater and the drainage system
1982	Европейский союз European Union	Городской парк XXI в. [12] City Park of the XXI century [12]	Создание ландшафтной инфраструктуры Creation of landscape infrastructure
1985		Самоочищающаяся биосистема для плавательных прудов «Биотоп» [13] Self-cleaning biosystem for swimming ponds “Biotop” [13]	Повышение биоразнообразия городских экосистем Increasing the biodiversity of urban ecosystems
2013–2017		Экологизация экономики в странах Восточного партнерства ЕС ²² Greening the economy in the EU Eastern Partnership countries (EaP GREEN) ²²	Сохранение природных водоемов, водоразделов, береговых линий и естественная защита пойменных пространств Conservation of natural reservoirs, watersheds, coastlines and natural protection of floodplain spaces
2020		Зеленый пакт ²³ The European Green Deal ²³	Улучшение качества воздуха Improving air quality
1997	Китай China	Города-губки [14] Sponge-cities [14]	Улучшение капитальных строений Improvement of capital buildings

¹⁸ Results of the Nationwide Urban Runoff Programme. Vol. 1. Final report, EPA. Washington D.C., USA, 1983. 198 p. URL: https://www3.epa.gov/npdes/pubs/sw_nurp_vol_1_finalreport.pdf

¹⁹ Revising Local Codes to Facilitate Low Impact Development. Creating LID–Local Development Code Connections Will Assist With Implementation, EPA. Washington D.C., USA, 2021. 8 p. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-06/documents/lid_fact_sheet_codes_june_2021_508.pdf

²⁰ Greenworks Philadelphia. Greenworks 2021 Year in Review. Philadelphia, USA, 2022. 64 p. URL: <https://www.phila.gov/media/20220421120407/OOS-Greenworks-Review-2022.pdf>

²¹ Seattle’s Natural Drainage Systems. Seattle, USA, 2013. P. 20. URL: https://nacto.org/docs/usdg/seattle_natural_xdrainage_systems_seattle.pdf

²² Progress in the implementation of resolution 5.2 on the application of the principle of equitable geographical distribution within the recruitment strategy of the United Nations Environment Programme. Nairobi, 2022. URL: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/38005>

²³ Climate action and the Green Deal. The European Climate Law, European Union. 2020.

Начало программы Programme start	Страна Country	Наименование программы Name of the programme	Общие долгосрочные цели Common long-term goals
2000	Австралия Australia	Городской дизайн, чувствительный к воде ²⁴ Water Sensitive Urban Design (WSUD) ²⁴	Улучшение качества воды Improving water quality
2004	Новая Зеландия New Zealand	Управление ливневыми водами на месте ²⁵ Onsite Stormwater Management ²⁵	Сокращение объема ливневых стоков Reducing the volume of storm drains
2006	Сингапур Singapore	Активные, красивые, чистые воды ²⁶ Active, beautiful, clean waters (ABC waters) ²⁶	Снижение опасности затопления Reducing the risk of flooding
2008	Южная Корея South Korea	Зеленый новый курс ²⁷ Green New Deal ²⁷	Сохранение открытых пространств Preservation of open spaces
2015	Великобритания Great Britain	Устойчивые дренажные системы ²⁸ Sustainable Drainage Systems (SuDS) ²⁸	Сбор дождевой воды Rainwater harvesting
2021	Бразилия Brazil	Национальная программа зеленого роста ²⁹ National Green Growth Programme ²⁹	Экономическое развитие региона для привлечения дополнительных инвестиций Economic development of the region to attract additional investments
2021	Россия Russia	Дождевой сад при низкой температуре ³⁰ Rain garden at low temperature ³⁰	Использование природных материалов, обладающих поглотительными и ионообменными свойствами The use of natural materials with absorption and ion-exchange properties
2022		Зеленый стандарт — система сбора дождевой воды ³¹ Green Standard — rainwater collection system ³¹	Генеральное планирование систем сбора канализационных стоков и оценка систем городских водосборных бассейнов Master planning of sewage collection systems and assessment of urban catchment basin systems

²⁴ What is Water Sensitive Urban Design (WSUD)? Water by design. 2020. URL: <https://waterbydesign.com.au/wsud>

²⁵ On-Site Stormwater Management Guideline. Wellington, New Zealand. 2004. P. 239. URL: https://www.waternz.org.nz/Attachment?Action=Download&Attachment_id=2967

²⁶ Active, Beautiful, Clean Waters Programme, Singapore’s National Water Agency. 2020. URL: <https://www.pub.gov.sg/abc-waters/about>

²⁷ South Korea’s Green New Deal: A Very Big Deal for Australia, Asia Society. 2022. URL: <https://asiasociety.org/node/30643/south-koreas-green-new-deal-very-big-deal-australia#:~:text=The%20K%2DNew%20Deal%20comprised,billion%20from%20the%20private%20sector>

²⁸ An Introduction to Sustainable Drainage Systems (SuDS), The Flood Hub. 2021. URL: <https://thefloodhub.co.uk/wp-content/uploads/2018/09/An-Introduction-Sustainable-Drainage-Systems-SuDS-booklet.pdf>

²⁹ BRAZIL: Federal government launches Green Growth National Programme, Trench Rossi Watanabe. 2021. URL: <https://www.trenchrossi.com/en/legal-alerts/brazil-federal-government-launches-green-growth-national-programme/>

³⁰ В России проектируют первые дождевые сады, Рамблер новости. 2021. URL: https://news.rambler.ru/tech/46358484/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink

³¹ ГОСТ Р 70319–2022. «Зеленые» стандарты. Система сбора дождевой воды: очистка, хранение, использование. 2022. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200193005>

Современное глобальное потепление, отчетливо выраженное на территории России, имеет ряд важных особенностей. В последние десятилетия изменения границ биомов во многих регионах РФ продолжают идти в направлении, определяемом парниковым эффектом — на север на равнине и вверх в горах, — докладывает старший научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, профессор Альпийского университета Гренобля О. Золина³². Деградация вечной мерзлоты под воздействием климата способна кардинально повлиять на жизнедеятельность населения Арктики, — предупреждает заведующий отделом исследований изменений климата государственного гидрологического института О. Анисимов³³. По фрагментарным подтверждениям скорость таких изменений на европейской территории России в среднем выше, чем на азиатской³⁴. Хотя по климатическим показателям границы уже не соответству-

ют господствующему типу растительности, фактические их сдвиги происходят медленно.

Рост содержания водяного пара в атмосфере при повышении температуры потенциально способствует росту осадков, в особенности экстремальных осадков. Так, в середине XX в. проливные и обложные дожди на юге Дальнего Востока России приносили по 200–250 мм осадков в год. Сейчас ситуация стала радикально иной — доля ливней выросла почти в два раза и достигла 350 мм [15]. Также парниковый эффект повлиял и на резкое повышение температуры воды в Черном море, создав новый тип «круговорота» воды в атмосфере, похожий на тропический, что проявилось в виде проливных дождей на юге европейской части России³⁵. В среднем по территории России увеличение количества осадков диагностируется в интервале 1976–2020 гг. как для годовых сумм (рис. 1), так и для сумм осадков в отдельные вегетационные сезоны³⁶.

На рис. 1 хорошо заметно увеличение количества осадков относительно нормы именно с начала 2020-х гг., когда эффект от глобального потепления стал заметен не только по статистике, но и невоору-

³² Онлайн-конференция в МИА «Россия сегодня» — глобальное изменение климата. 2021. URL: <https://ru.scientificrussia.ru/articles/onlajn-konferencia-v-mia-rossia-segodna-globalnoe-izmenenie-klimata>

³³ Эксперты решают, как спасти уникальные экологические системы Севера. 2018. URL: <https://tass.ru/v-strane/4920602>

³⁴ Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы : материалы междунар. науч.-практ. конф. Воронеж : Цифровая полиграфия, 2019. Т. 2. 444 с. URL: http://www.geogr.vsu.ru/NIR/Konferencii_fakylteta/T2.pdf

³⁵ Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации // Росгидромет. СПб : Научно-технологические, 2022. 676 с. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2022/od3.pdf>

³⁶ Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год // Росгидромет. М., 2023. 104 с. URL: <https://meteoinfo.ru/images/media/climate/rus-clim-annual-report.pdf>



Рис. 1. Изменения годовых сумм осадков на территории России в % от нормы (рисунок авторов)

Fig. 1. Changes in annual precipitation amounts on the territory of Russia in % of the norm (authors' figure)

женным глазом городского жителя. Эти изменения необходимо учитывать в разных отраслях, например, разница увлажнения почвы важна для сельского хозяйства, — поясняет А. Чернокульский из Института физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН в Москве³⁷, — изменение климата необходимо держать в уме и в городском планировании. Так, в Москве наблюдается повторяемость наиболее интенсивных осадков, которая за последние годы стала на 11,6 % выше фоновой [16].

Таким образом, становится очевидна необходимость использования атмосферных осадков для полива городских зеленых насаждений. Первая в России система сбора дождевой воды для полива растений появилась в «Аптекарском огороде» Ботанического сада Московского государственного университета в 2018 г.³⁸ Однако она собирает осадки с крыши оранжерей, не используя сток с дорожек. Через четыре года этот успешный опыт экстраполировали на федеральный уровень. В 2022 г. был принят «зеленый» стандарт³¹ — новый ГОСТ для сбора, очистки, хранения и использования дождевой воды. По этому нормативному документу неочищенный дождевой сток с предварительной проверкой качества можно применять для орошения почвы, чтобы обеспечить питание подземных вод. Следующим этапом рационального использования дождевой воды служит дождевой сад — естественный фильтр для дождевого стока на основе биоремедиационных технологий. Такие экологические технологии, как дождевые сады, уже 40 лет являются ключевым элементом устойчивой системы городского дренажа.

Изучение всех этих климатических и физических процессов, как надеются ученые, поможет понять, как будет меняться ситуация в будущем на территории РФ и какие действия стоит предпринять для предотвращения затопления и улучшения экологической ситуации в городах. Сохранение и восстановление естественных экосистем градостроительными средствами должно быть приоритетным инструментом в борьбе с изменением климата.

Адаптация растений к климатическому кризису

Наибольший интерес вызывает адаптация растений к глобальному потеплению, ведь они неспособны активно передвигаться или скрываться от действия высоких температур.

Период с 2021 по 2030 г. объявлен десятилетием ООН по восстановлению экосистем. Одно из действий, провозглашенных в программе: «Менять поведение». Нельзя перейти к устойчивому развитию, сохраняя нынешние стереотипы мыш-

ления³⁹. Одним из таких вредных шаблонов было убеждение, что растения только «рады» повышению CO₂ и «с удовольствием» поглощают его, останавливая глобальное потепление. Исследование ученых из Китая после проведения тщательного анализа данных с наземных мониторов по всему миру за 1982–2016 гг. зафиксировало рост уровня CO₂ и в то же время снижение скорости фотосинтеза растений [17]. В глобальном масштабе этот эффект может отвечать за 16 % от общей величины потепления климата над сушей, а для восточной части Азии и Северной Америки эта цифра может составлять до 25 %.

Этот же эффект будет отвечать за повышенные стоки в ливневую канализацию и водоемы, которые пополнятся не только из-за увеличения количества осадков, но и из-за того, что больше воды станет проходить этот цикл, минуя систему испарения растений. Ученые [18] называют это интенсификацией гидрологического цикла, что приведет к снижению относительной влажности воздуха и повышению дефицита давления пара. «Отклик растений на изменение концентрации углекислого газа и влажности воздуха очень важен для корректности климатических прогнозов. Все зависит от типа растительности, покрывающей сушу. Мы должны с очень большой осторожностью вмешиваться в экосистемы и леса, так как это может иметь серьезные климатические последствия», — подытожил профессор факультета наук о земной системе Стэнфордского университета Кен Калдейра⁴⁰.

Климат внутри любого города отличается от климата прилегающих территорий из-за обилия непроницаемых поверхностей и плотной застройки. В результате изменяется циркуляция воздуха, за ней — температурный режим, и возникает городской остров тепла — значительно ускорившееся изменение климата в сторону потепления [19]. Так, потепление климата сдвинуло сроки смены сезонов и изменило их продолжительность, что повлияло на период созревания листьев на деревьях. На разных этапах жизни у растений меняется интенсивность фотосинтеза и способность ассимилировать атмосферный углерод [20]. Ученые предполагают, что цветение и появление первых листьев весной будет ускоряться на 5–6 дней в году при повышении средней температуры на каждый градус Цельсия, а каждый дополнительный день вегетации означает поглощение от 3 до 9,8 г углерода на 1 м² леса [21]. В городах эти явления заметны сильнее даже для обычного жителя, ведь процент запечатанных территорий высок, а зеленые насаждения

³⁷ Александр Чернокульский: Через 50 лет борьба за климат обойдется дороже. 2020. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/5e7dbde09a7947b827f4d14e>

³⁸ В «Аптекарском огороде» запустили первую в России систему сбора дождевой воды. 2018. URL: <https://www.asi.org.ru/news/2018/10/18/aptekarskij-ogorod-dozhd/>

³⁹ О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию : Указ Президента Российской Федерации от 01.04.1996 № 440.

⁴⁰ Геоинженерия климата. Наука, управление и неопределенность. 2009. URL: https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/8693.pdf

сконцентрированы в отдельных городских парках и не могут нормализовать температуру на всей территории города.

После очередной температурной волны 2019 г. власти Парижа обнаружили, что город остро нуждается в зеленых насаждениях, которые могут создавать тень⁴¹. Оказалось, что деревья в столице Франции занимают только 10 % площади города. Из-за отсутствия тени температура на открытых участках городских пространств поднимается до 56 °С, хотя в «зеленом» пригороде она держится на отметке 28 °С. Разница в наблюдаемых тенденциях потепления между городами и их окрестностями частично объясняется урбанизацией: геометрия города снижает интенсивность природной вентиляции территорий, промышленность и другая антропогенная деятельность повышают общую температуру города. В то время как менее плотно застроенные территории с большим количеством зеленых насаждений и водными объектами не имеют эффекта городского теплового острова. Схожую проблему наблюдают и жители Санкт-Петербурга⁴² — в городе не хватает деревьев, мало новых посадок. Отчасти это из-за трудностей в согласовании проекта посадок, корни деревьев могут повредить существующие инженерные коммуникации, проложенные под землей.

Инженерная инфраструктура в нормативной практике РФ

Градостроительство прямо связано с инженерной подготовкой и защитой территории, в которой нормативные документы дают ряд ограничений для высадки новых растений и использования поверхностной воды. В настоящее время нормативными документами СанПиН 2.1.5.980–00⁴³, СанПиН 1.2.3685–21⁴⁴ и ФЗ № 52⁴⁵ определены нормативы сброса сточных вод (СВ) в канализацию, а также даны количественные показатели допустимого со-

держания разных химических составов. Основным критерием проверки является состояние воды в водоеме, куда сбрасывается очищенная вода. То есть ливневый сток с автомобильных дорог и тротуаров по существующим правилам нельзя перенаправлять на зеленые насаждения в городе. Эти запреты были продиктованы предельно допустимой концентрацией (ПДК) — ливневые стоки должны иметь минимальное количество вредных примесей, в то время как на самом деле стоки загрязнены нефтепродуктами и взвешенными веществами. Таким образом, весь ливневый сток по нормативным документам должен быть отведен в канализацию.

По расчетам авторов [22], только 20 % ливневого стока уходит в канализацию. Из оставшегося количества ливневой воды на поверхности дорог и тротуаров половина испаряется, поднимая в воздух «вредные» частицы, а другая половина все равно проходит поверхностную и глубокую инфильтрацию, несмотря на несоответствие ПДК. Очевидно, что канализация и ливневки, представляющие «серую инфраструктуру», не справляются с увеличившимися в результате глобального потепления атмосферными осадками.

Проблема очистки поверхностных стоков во многих случаях заключается в нестабильности состава и характера загрязняющих веществ (ЗВ) [23]. Однако нормативными документами РФ не предусматривается использование следующих способностей растений:

- фильтровать воду и способствовать оседанию взвешенных веществ;
- поглощать биогенные элементы и некоторые органические вещества;
- накапливать некоторые металлы и органические вещества, которые трудно разлагаются;
- окислять и в процессе фотосинтеза обогащать воду кислородом;
- преобразовывать токсичные вещества в нетоксичные.

Для осуществления этих функций растениями необходимо создать условия в городе: не обустривать дороги бордюрами, собирать ливневый сток в траншеи и высадить высшие водные растения. Их стойкость к воздействию больших концентраций ЗВ и взаимодействие с биоценозом микроорганизмов позволяет успешно очищать СВ в мире без применения систем хлорирования или озонирования воды [24–26].

В городе нужны системы открытого дренажа для сбора, хранения и перераспределения ливневых вод. Другие нормативные документы РФ, в которых упоминается дренаж, приведены в табл. 2.

В результате проведенного анализа авторами были найдены упоминания «дренажа» в существующих законодательно закрепленных правилах РФ, которые относятся к выбору, проектированию и порядку выполнения работ по устройству дренажа

⁴¹ Heatwave in Paris exposes city's lack of trees. 2022. URL: <https://www.reuters.com/world/europe/heatwave-paris-exposes-citys-lack-trees-2022-08-04/>

⁴² Эксперты рассказали, почему в Петербурге становится все меньше деревьев. 2022. URL: <https://nsp.ru/32764-eksperty-rasskazali-pocemu-v-peterburge-stanovitsya-vsemense-derevev>

⁴³ СанПиН 2.1.5.980–00. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. 2001. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006938>

⁴⁴ СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : утв. Постановлением главного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2. 2022. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>

⁴⁵ О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения : Федеральный закон. 2023. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901729631>

Табл. 2. Дренаж в нормативных документах России
Table 2. Drainage in regulatory documents of Russia

Нормативный документ РФ Regulatory document of the Russian Federation	Раздел Section	Содержание Content
ОДМ 218.2.055–2015 «Рекомендации по расчету дренажных систем дорожных конструкций» ⁴⁶ Industry road methodological document of the IRMD 218.2.055–2015 “Recommendations for the calculation of drainage systems of road structures” ⁴⁶	3. Термины и определения, обозначения и сокращения 3. Terms and definitions, designations and abbreviations	3.19. Дренаж : естественное или искусственное удаление воды с поверхности земли и поступающей грунтовой воды к сооружению 3.19. Drainage : natural or artificial removal of water from the surface of the earth and incoming groundwater to the structure
		3.20. Дренаж горизонтальный: система трубчатых дрен, канав, лотков 3.20. Horizontal drainage : a system of tubular drains, ditches, trays
		3.21. Дренаж комбинированный: система, сочетающая горизонтальную дренаж с рядом вертикальных дренажных колодцев. Применяют ее в тех случаях, когда один вертикальный или один горизонтальный дренаж не может обеспечить требуемого перехвата подземных вод 3.21. Combined drainage : a system combining horizontal drainage with a number of vertical drainage wells. It is used in cases where one vertical or one horizontal drainage cannot provide the required interception of groundwater
		3.22. Дренаж комбинированный плоскостной (многослойный композиционный дренирующий материал, дренажный геомат, дренажный геокомпозит, плоская геодрена): комбинированный геосинтетический материал в определении ГОСТ Р 55028, включающий слой (слои) нетканого геотекстильного материала, выполняющего роль фильтра, и слой, формирующий объемную структуру геосинтетического материала — дренажное ядро (геомат, георешетка, геосетка, геопластмасса) и выполняющий функции дренирования дорожных конструкций 3.22. Combined planar drainage (multilayer composite drainage material, drainage geomat, drainage geocomposite, flat geodrene): Combined geosynthetic material as defined by GOST R 55028, including a layer (layers) of non-woven geotextile material acting as a filter, and a layer forming a volumetric structure of geosynthetic material — drainage core (geomat, geogrid, geogrid, geoplastics) and performing the functions of drainage of road structures
		3.23. Дренажная система : система инженерных сооружений, предназначенная для понижения уровня подземных вод и их отвода 3.23. Drainage system : A system of engineering structures designed to lower the level of groundwater and drain it
		3.24. Дренажная труба : труба, предназначенная для точечного сбора ливневых и сточных вод из дренажных каналов и сброса их в систему водоотведения моста 3.24. Drainage pipe : A pipe designed for spot collection of stormwater and wastewater from drainage channels and their discharge into the drainage system of the bridge
	4. Основные положения 4. Main statements	4.1. Документ содержит нормы и указания по конструированию и расчету дренажных конструкций одежд автомобильных дорог общего пользования. Им следует пользоваться при: проектировании дренажных конструкций одежд на вновь сооружаемых дорогах и на участках реконструируемых дорог 4.1. The document contains standards and guidelines for the design and calculation of drainage structures for public roads. They should be used when: designing drainage structures of clothing on newly constructed roads and on sections of reconstructed roads
		4.2. Документ не распространяется на проектирование понижающего и перехватывающего дренажа 4.2. The document does not apply to the design of lowering and intercepting drainage

⁴⁶ Отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.2.055–2015. Рекомендации по расчету дренажных систем дорожных конструкций. 2015. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200125026>

Продолжение табл. 2 / Continuation of the Table 2

Нормативный документ РФ Regulatory document of the Russian Federation	Раздел Section	Содержание Content
СП 104.13330.2011 «СНиП 2.06.15–85 Инженерная защита территории от затопления и подтопления» ⁴⁷ СР 104.13330.2011 “SNiP 2.06.15–85 Engineering protection of the territory from flooding and flooding” ⁴⁷	3. Требования к проектированию объектов и сооружений инженерной защиты 3. Requirements for the design of engineering protection facilities and structures	3.1. В состав средств инженерной защиты от затопления могут входить: дамбы обвалования, дренажи, дренажные и водосбросные сети, нагорные водосбросные каналы, быстротоки и перепады, трубопроводы и насосные станции 3.1. Engineering flood protection equipment may include: collapse dams, drains, drainage and spillway networks, upland spillway channels, rapid flows and drops, pipelines and pumping stations
		3.23. При выборе систем дренажных сооружений должны быть учтены форма и размер территории, требующей дренирования, характер движения грунтовых вод, геологическое строение, фильтрационные свойства и емкостные характеристики водоносных пластов, область распространения водоносных слоев с учетом условий питания и разгрузки подземных вод, определены количественные величины составляющих баланса грунтовых вод, составлен прогноз подъема уровня грунтовых вод и снижения его при осуществлении защитных мероприятий 3.23. When choosing drainage systems , the shape and size of the territory requiring drainage, the nature of groundwater movement, geological structure, filtration properties and reservoir characteristics of aquifers, the area of distribution of aquifers, taking into account the conditions of groundwater supply and discharge, the quantitative values of the components of the groundwater balance are determined, the forecast of groundwater level rise is made of water and its reduction in the implementation of protective measures
	5. Защитные сооружения. Дренажные системы и дренажи 5. Protective structures. Drainage systems and drains	5.20. При проектировании дренажных систем предпочтение следует отдавать системам дренажа с отводом воды самотеком . Дренажные системы с принудительной откачкой воды требуют дополнительного обоснования. В зависимости от гидрогеологических условий надлежит применять горизонтальные, вертикальные и комбинированные дренажи 5.20. When designing drainage systems , preference should be given to drainage systems with gravity drainage . Drainage systems with forced pumping of water require additional justification. Depending on the hydrogeological conditions, horizontal, vertical and combined drains should be used
		5.25. Открытые дренажные каналы и траншеи следует устраивать в тех случаях, когда требуется осушение значительных по площадям территорий с одно-, двухэтажной застройкой небольшой плотности. Их применение также возможно и для защиты от подтопления наземных транспортных коммуникаций 5.25. Open drainage channels and trenches should be arranged in cases where drainage of large areas with one- and two-storey buildings of low density is required. Their use is also possible to protect against flooding of land transport communications
		5.28. Сброс дренажных вод в ливневую канализацию допускается, если пропускная способность ливневой канализации определена с учетом дополнительных расходов воды, поступающей из дренажной системы. При этом подпор дренажной системы не допускается 5.28. Discharge of drainage waters into the storm sewer is allowed if the capacity of the storm sewer is determined taking into account the additional costs of water coming from the drainage system. At the same time, the drainage system is not allowed to be backed up

⁴⁷ СП 104.13330.2011. СНиП 2.06.15–85 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления». 2011. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/a7d/sp-104.pdf>

Продолжение табл. 2 / Continuation of the Table 2

Нормативный документ РФ Regulatory document of the Russian Federation	Раздел Section	Содержание Content
Типовая технологическая карта (ТТК) «Устройство дренажа мелкого заложения» ⁴⁸ Typical technological map (TTM) “Shallow drainage device” ⁴⁸	II. Общие положения II. General terms and conditions	<p>2.3. В состав работ, последовательно выполняемых при устройстве дренажа мелкого заложения, входят следующие технологические операции:</p> <ul style="list-style-type: none">• геодезические разбивочные работы;• устройство смотровых колодцев;• отрывка дренажной траншеи;• устройство песчаной подготовки;• подготовка дренажных труб;• укладка дренажных труб в траншею;• испытание дренажной системы;• обратная засыпка траншеи дренирующим грунтом <p>2.3. The work performed sequentially during the installation of shallow drainage includes the following technological operations:</p> <ul style="list-style-type: none">• geodetic center work;• installation of inspection wells;• a fragment of a drainage trench;• sand preparation device;• preparation of drainage pipes;• laying drainage pipes in a trench;• testing of the drainage system;• backfilling of the trench with draining soil
	III. Организация и технология выполнения работ III. Organization and technology of work	<p>3.3.1. Дренаж — естественное либо искусственное удаление воды с поверхности земли, либо подземных вод. Земля часто нуждается в отводе грунтовых либо ливневых вод для улучшения агротехники, строительства зданий и сооружений.</p> <p>Дренаж в строительстве — метод сбора и отвода грунтовых вод от участка и сооружений с помощью системы дренажных труб, скважин, каналов, подземных галерей и других устройств.</p> <p>Для понижения уровня грунтовых вод устраивают дренажи мелкого и глубокого заложения, откосные дренажи на автомобильных дорогах, дренажи на промышленных предприятиях и в жилищном строительстве</p> <p>3.3.1. Drainage is the natural or artificial removal of water from the surface of the earth or groundwater. The land often needs the drainage of groundwater or stormwater to improve agricultural technology, construction of buildings and structures.</p> <p>Drainage in construction is a method of collecting and diverting groundwater from a site and structures using a system of drainage pipes, wells, channels, underground galleries and other devices.</p> <p>To lower the groundwater level, shallow and deep drains, slope drains on highways, drains at industrial enterprises and in housing construction are arranged</p> <p>3.3.2. Дренажи мелкого заложения применяют в городах с развитой водосточной сетью.</p> <p>Дренаж мелкого заложения служит для:</p> <ul style="list-style-type: none">• понижения уровня грунтовых вод путем отвода из почвы лишней влаги;• осушения песчаного подстилающего слоя и обеспечения устойчивости дорожного покрытия;• сброса атмосферных осадков с плоскостных конструкций, таких как газоны, площадки спортивных сооружений <p>3.3.2. Shallow drains are used in cities with a developed drainage network.</p> <p>Shallow drainage is used for:</p> <ul style="list-style-type: none">• lowering the groundwater level by removing excess moisture from the soil;• drainage of the sandy underlying layer and ensuring the stability of the road surface;• precipitation discharge from planar structures such as lawns, playgrounds of sports facilities

⁴⁸ Типовая технологическая карта (ТТК). Устройство дренажа мелкого заложения. 2007. URL: <https://docs.cntd.ru/document/450703085>

Продолжение табл. 2 / Continuation of the Table 2

Нормативный документ РФ Regulatory document of the Russian Federation	Раздел Section	Содержание Content
СП 50-101–2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений» ⁴⁹ CP 50-101–2004 “Design and installation of foundations and foundations of buildings and structures” ⁴⁹	11. Проектирование водопонижения и гидроизоляции 11. Design of water treatment and waterproofing	11.1.1. Для защиты подземных сооружений и котлованов от подземных вод в периоды строительства и (или) эксплуатации применяют искусственное понижение уровня подземных вод с применением водоотлива, водопонижительных скважин, иглофильтров, электроосмоса и дренажа 11.1.1. To protect underground structures and pits from groundwater during construction and (or) operation, artificial lowering of the groundwater level is used using drainage, water-lowering wells, needle filters, electroosmosis and drainage
		11.1.15. Дренажи подразделяют на общие (головной, береговой, отсечной и систематический) и местные (локальные) (кольцевой, пристенный и пластовый) 11.1.15. Drains are divided into general (head, shore, cut-off and systematic) and local (local) (ring, wall and reservoir)
		11.1.18. Траншейный дренаж допускается устраивать на свободных от застройки территориях. Закрытый беструбчатый дренаж (траншеи, заполненные фильтрующим материалом) следует предусматривать, как правило, для кратковременной эксплуатации (на оползневых склонах в период осуществления мероприятий по их стабилизации, в котловане в период строительства сооружения и т.п.) 11.1.18. Trench drainage is allowed to be arranged in areas free from development. Closed tubeless drainage (trenches filled with filter material) should be provided, as a rule, for short-term operation (on landslide slopes during the implementation of measures to stabilize them, in a pit during the construction of a structure, etc.)
СП 120.13330.2022 «Метрополитены» ⁵⁰ CP 120.13330.2022 “Underground” ⁵⁰	5.4. Станции, перегонные тоннели, притоннельные сооружения 5.4. Stations, distillation tunnels, tunnel structures	5.4.1.7. Дренажные лотки необходимо выполнять вдоль обделки наклонных ходов в уровне ступеней, вдоль стен под траволаторами, а также вдоль стен подземных сооружений, через которые возможно поступление грунтовых вод, в том числе в служебных помещениях и натяжной камере эскалаторов. В пассажирских помещениях дренажные лотки должны быть расположены за облицовкой стен 5.4.1.7. Drainage trays must be carried out along the lining of inclined passages at the level of steps, along the walls under the travolators, as well as along the walls of underground structures through which groundwater can flow, including in office premises and the tension chamber of escalators. In passenger areas, drainage trays should be located behind the wall cladding
ГОСТ Р 59433–2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Сооружения защитные от воздействия воды. Общие технические требования» ⁵¹ GOST R 59433–2021 is the national standard of the Russian Federation “Public roads. Structures that protect against the effects of water. General technical requirements” ⁵¹	3. Термины и определения 3. Terms and definitions	3.11. Дренаж : устройство для частичного или полного перехвата фильтрационного потока в основании или внутри водоподпорного сооружения, сбора и отвода профильтровавшихся вод 3.11. Drainage : a device for partially or completely intercepting the filtration flow at the base or inside a water support structure, collecting and discharging filtered water 3.12. Дренажная система автомобильной дороги: система инженерных сооружений дорожной одежды, земляного полотна и грунтового основания дороги, предназначенная для частичного или полного перехвата фильтрационного потока, его сбора и отвода, а также понижения уровня подземных вод 3.12. Drainage system of a highway: A system of engineering structures of the pavement, the roadbed and the dirt base of the road, designed to partially or completely intercept the filtration flow, collect and divert it, as well as lower the groundwater level

⁴⁹ СП 50-101–2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. 2004. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200038307>

⁵⁰ СП 120.13330.2022. Метрополитены. 2022. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300886470>

⁵¹ ГОСТ Р 59433–2021. Дороги автомобильные общего пользования. Сооружения защитные от воздействия воды. Общие технические требования. 2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200179230>

Нормативный документ РФ Regulatory document of the Russian Federation	Раздел Section	Содержание Content
СП 250.1325800.2016 «Здания и сооружения. Защита от подземных вод» ⁵² СР 250.1325800.2016 “Buildings and structures. Protection from groundwater” ⁵²	3. Термины и определения 3. Terms and definitions	3.17. Дренажная система: инженерно-техническое сооружение, предназначенное для сбора и удаления подземных вод 3.17. Drainage system: an engineering and technical structure designed to collect and remove groundwater
	6.3. Математическое моделирование геофильтрации 6.3. Mathematical modelling of geofiltration	6.3.2.2. При моделировании в пределах небольших по размеру зон влияния водопонижительных или дренажных мероприятий , когда формирование водопритоков и воронки депрессии в основном определяется геофильтрационными параметрами, полученными на площадке строительства, верификацию геофильтрационной модели, построенной для решения «в понижениях», допускается не проводить 6.3.2.2. When modelling within small-sized zones of influence of water-lowering or drainage measures , when the formation of water flows and depression funnels is mainly determined by geofiltration parameters obtained at the construction site, verification of the geofiltration model built to solve “in depressions” is not allowed
СП 42.13330.2016 «Градостроительство» ⁵³ СР 42.13330.2016 “Urban Planning” ⁵³	9. Зоны рекреационного назначения 9. Recreational areas	9.6. Расстояние от зданий и сооружений, а также объектов инженерного благоустройства до деревьев и кустарников для дренажа принимают 2 метра 9.6. The distance from buildings and structures, as well as engineering facilities, to trees and shrubs for drainage is 2 meters
	12. Инженерная инфраструктура. Дождевая канализация 12. Engineering infrastructure. Rainwater drainage	12.12. Система водоотвода поверхностных вод должна учитывать возможность приема дренажных вод из сопутствующих дренажей , теплосетей и общих коллекторов подземных коммуникаций. Поступление в дождеприемные колодцы незначительных по объему вод от полива замощенных территорий и зеленых насаждений в расчет не включается. <i>При технической возможности допускается использование этой воды для подпитки декоративных водоемов с подачей по отдельно прокладываемому трубопроводу</i> 12.12. The surface water drainage system must take into account the possibility of receiving drainage water from associated drains , heating networks and common collectors of underground utilities. The flow of water into rain wells of insignificant volume from irrigation of paved areas and green spaces is not included in the calculation. <i>If technically possible, it is allowed to use this water to recharge decorative reservoirs with supply through a separately laid pipeline</i>
		12.17. Количество веществ и микроорганизмов, содержащихся в сбросах сточных, в том числе дренажных , вод в водные объекты, не должно превышать установленные нормативы допустимого воздействия на водные объекты 12.17. The amount of substances and microorganisms contained in wastewater discharges, including drainage waters, into water bodies should not exceed the established standards of permissible exposure to water bodies

для отвода или понижения уровня грунтовых вод, чтобы защитить возводимые сооружения от подтопления. Зачатки инновационного для РФ подхода использования дренажных вод для пополнения декоративных водоемов указаны в СП 42.13330.2016

«Градостроительство»⁵³. Продолжение этой научной линии отмечается в «Методических рекомендациях по организации водоотвода на улично-дорожной сети городов, не имеющих подземной (трубопроводной) ливневой канализации»⁵⁴. Так, Федераль-

⁵² СП 250.1325800.2016. Здания и сооружения. Защита от подземных вод. 2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200138448>
⁵³ СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. 2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054209>
⁵⁴ Методические рекомендации по организации водоотвода на улично-дорожной сети городов, не имеющих подземной (трубопроводной) ливневой канализации. М., 2019. URL: <https://elima.ru/docs/?id=10171>



Рис. 2. Начало строительства парка «Зарядье» в 2015 г.⁵⁵ и рендер победителя конкурса на проектирование парка «Зарядье»⁵⁶

Fig. 2. The beginning of construction of Zaryadye Park in 2015⁵⁵ and the competition winner's design render of Zaryadye Park⁵⁶

ный центр нормирования и стандартизации предлагает использовать биоинженерные сооружения, которые могут очистить нестабильный по составу и характеру ЗВ поверхностный сток там, где нет отвода в ливневки. А.Г. Мелехин и И.С. Щукин из Пермского национального исследовательского политехнического университета представляют расширенный список таких биоинженерных сооружений: фитофильтры, биопруды и биоплато [27]. Все биосооружения требуют использования видов растений, соответствующих климату по условиям морозостойкости и устойчивости к антропогенным факторам, например, воздействию противогололедных реагентов, дыма и газов в городской среде.

Концепция «ландшафтной инфраструктуры» в РФ

Новые определения для таких городских природных территорий в нормативных документах РФ появились в последние 10 лет. Это небольшой срок, относительно США и Европы, когда юридическое закрепление термина «зеленая инфраструктура» произошло в 80-х годах XX в. К настоящему моменту «зеленая инфраструктура» эволюционировала в понятие «ландшафтная инфраструктура». Этот термин собирает в себе понимание и «зеленой», и «голубой» инфраструктур, и рельефа без разделения на отдельные объекты в ткани города. «Ландшафтная инфраструктура» тесно связана с транспортной — в плане построения городских коммуникаций, пешеходной — в сфере рекреации, и самую большую связь должна иметь с инженерной инфраструктурой — по открытому дренажу, сбору и очистке ливневых вод.

В концепцию «ландшафтной инфраструктуры» сейчас вписывается «Зарядье», которое привычно

называется в путеводителе «парк», хотя имеет культурную, образовательную и природную ценность. Создателями было предложено принципиально новое осмысление территории — многоплановая среда, разнообразие ландшафтов и видовых точек и органичная интеграция в существующий городской контекст (рис. 2).

В основу системы заложен принцип «природного урбанизма», который позволил органично интегрировать парк в исторический центр Москвы, а павильоны — в зеленый мезорельеф, воссоздающий природу разных ландшафтных зон России (рис. 3).

Всего в парке «Зарядье» высажено 200 видов растений на 810 тыс. шт., из которых 760 деревьев, около 7 тыс. кустарников и более 800 тыс. многолетников⁵⁷. Большинство из них получает воду с помощью системы искусственного полива и орошения (рис. 4). К сожалению, биоремедиационный потенциал парка не используется, в том числе из-за отсутствия нормативной базы.

Еще один ландшафтный парк площадью около 3 га открыли в 2021 г. на площади Павелецкого вокзала, которая около двадцати лет находилась в запустении и даже успела создать собственную экосистему (рис. 5) — в недостроенном котловане собиралась дождевая вода, а по берегу этого «ревитализированного дождевого сада» прочно прижились семена растений, занесенные ветром, питаемая его водой⁵⁸.

Сейчас после благоустройства к вновь высаженным растениям подведена система искусственного полива, а дождевой сток со стеклянной крыши торгового центра, который мог бы быть к ним направлен, не устроен. В парке на Павелецкой площади используется принцип матричных посадок,

⁵⁵ Парку «Зарядье» — 3 года: летопись строительства, фото «до и после» и подарки москвичам. 2020. URL: https://stroim.mos.ru/photo_lines/s-dniem-rozhdeniia-park-zariad-ie-3-ghoda-spustia

⁵⁶ В парке «Зарядье» появится круговая панорама. 2016. URL: <https://www.mos.ru/news/item/15796073/>

⁵⁷ Ботаническая коллекция парка «Зарядье». 2023. URL: <https://www.zaryadypark.ru/botanical-collection/>

⁵⁸ Тайна павелецкой лужи: откуда взялся водоем у столичного вокзала // Московский комсомолец. 2018. URL: <https://www.mk.ru/moscow/2018/02/09/tayna-paveleckoy-luzhi-otkuda-vzyalsya-vodoem-u-stolichnogo-vokzala.html>



Рис. 3. Парк Зарядье, Москва. Июль, 2023 (фото авторов)
Fig. 3. Zaryadye Park, Moscow. July, 2023 (photo by the authors)



Рис. 4. Парк «Зарядье», Москва. Август, 2023 (фото авторов)
Fig. 4. Zaryadye Park, Moscow. August, 2023 (photo by the authors)



Рис. 5. Затопленный котлован на Павелецкой площади, Москва, 2018⁵⁹ и концептуальный рендер редизайна площади от инвестора⁶⁰
Fig. 5. A flooded pit on Paveletskaya Square, Moscow, 2018⁵⁹ and a conceptual rendering of the square’s redesign from an investor⁶⁰

⁵⁹ Котлован на Павелецкой площади — фото. 2018. URL: <https://stroiteh-msk.ru/foto/kotlovan-na-paveleckoj-ploschadi.html>
⁶⁰ Работы по реконструкции Павелецкой площади завершены на 90 %. 2021. URL: <https://stroimsk.ru/news/raboty-po-rekonstruktsii-pavelietskoi-ploschadi-zaversheny-na-90-bochkariov>



Рис. 6. «Павелецкая Плаза», Москва. Июль, 2023 (фото авторов)

Fig. 6. “Paveletskaya Plaza”, Moscow. July, 2023 (photo by the authors)

когда выбор растений продуман для гармоничного сочетания друг с другом, где полог декорируется древесной щепой с целью удержания влаги и борьбы с сорняками (рис. 6).

Такой тип имитирует под естественную модель растительного сообщества, например, полевую с последовательными слоями растительности, расположенными один над другим (рис. 7), с помощью которых растения образуют многомерные сообще-

ства, где всем хватает ресурсов, жизненного пространства и возможностей для размножения [17].

Таким образом, указанные парковые пространства олицетворяют собой попытки создания биотопов и биоплато в мегаполисе. Однако у каждого растения есть своя потребность в воде, отличающаяся от общепринятой в нормативах. В современных общественных пространствах проведен искусственный полив, который удовлетворяет потребности каждого вида растения. В то время как посадки



Рис. 7. Парк «Павелецкая Плаза», Москва. Август, 2023 (фото авторов)

Fig. 7. Paveletskaya Plaza Park, Moscow. August, 2023 (photo by the authors)

на улицах зачастую испытывают нехватку воды, даже при повышенной норме осадков, из-за нерегулярности их выпадения и расположения зеленых насаждений выше уровня тротуаров и дорог. В этом случае ливневые потоки вымывают почву на пешеходную и транспортную зоны, дополнительно ухудшая положение растений в городе. Одним из ярких примеров неудовлетворительного состояния зеленых насаждений является недавно благоустроенный Ленинский проспект в Москве, градостроительная ситуация которого была подробно рассмотрена в предыдущих статьях авторов [22, 28].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Фиторемедиационный потенциал «зеленого» пространства в городе

Рассматриваемый перекресток находится на пересечении Ленинского пр-та и улиц Лобачевского и Обручева в Москве. По обе стороны Ленинского пр-та расположен лес, который до 2020 г. назывался природный комплекс «Юго-Западный лесопарк» и природный комплекс «Долина реки Самородинки». Лесопарк смотрится как единое целое, но был разделен на две части, так как находится на территории Юго-Западного и Западного административных округов г. Москвы, в районах Обручевский

и Тропарево-Никулино (граница районов проходит по Ленинскому пр-ту). В Генплане развития Москвы до 2035 года⁶¹ эта территория обозначается как особо охраняемая природная территория (ООПТ), предусмотренная к формированию в обоснованных границах. Постановлением Правительства Москвы от 20.07.2020 № 1001-ПП⁶² образована ООПТ «Ландшафтный заказник “Лес на реке Самородинке”»⁶³. По границам кадастровых участков на рис. 8 видно, что ООПТ и водоохранная зона реки вплотную прилегают не только к магистральной улице — Ленинскому пр-ту, но и к объектам потенциального негативного воздействия на окружающую среду: АЗС — 2 шт., снегоплавильный пункт — 2 шт.

Кадастровая неустроенность территории исследования проявляется и в наличии территорий без ка-

⁶¹ Генеральный план города Москвы до 2035 года. 2017. URL: https://genplanmos.ru/project/generalnyy_plan_moskvy_do_2035_goda/

⁶² Об образовании особо охраняемой природной территории регионального значения «Ландшафтный заказник “Лес на реке Самородинке”»: Постановление Правительства Москвы от 20.07.2020 № 1001-ПП. 2020. URL: <https://base.garant.ru/74481749/>

⁶³ Новые особо охраняемые природные территории Москвы. 2020. URL: <https://www.mos.ru/mayor/infographic/522291/>



Рис. 8. Схема ООПТ «Ландшафтный заказник “Лес на реке Самородинке”» (схема авторов)
Fig. 8. Scheme of the protected area “Landscape reserve «Forest on the Samorodinka River»” (authors’ scheme)

Табл. 3. Авторская классификация рукотворных биотопов
Table 3. The authors' classification of man-made biotopes

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
Значок Sign	≠	∄	⊂	⊆	∈
Тип биоинженерного сооружения Type of bioengineering structure	Биофльтрационный склон Biofiltration slope	Биодренажная канава Biodrenage ditch		Дождевой сад Rain garden	
Наличие инженерных сетей Presence of engineering networks	+			–	
Норма полива растений, л/м² The rate of watering plants, l/m²	2–7	7–14	14–25	25–50	<50

дастрового номера, и определенной функциональной принадлежности, что привело к использованию зеленых насаждений в качестве резервной территории для расширения улично-дорожной сети во время благоустройства 2020–2021 гг.

В кадастровом деле ООПТ «Ландшафтный заказник “Лес на реке Самородинке”», подготовленном Департаментом природопользования и охраны окружающей среды города Москвы⁶⁴, указывается, что охранный зона ООПТ не установлена, которая как раз необходима для предотвращения неблагоприятных антропогенных воздействий⁶⁵. Таким образом, из-за отсутствия охранной зоны на территории ООПТ «Ландшафтный заказник “Лес на реке Самородинке”» отмечается антропогенная нарушенность территории. До Ленинского пр-та р. Самородинка протекает в подземном коллекторе, ее долина на этом отрезке сохранилась только вдоль северной границы восточного участка Юго-Западного лесопарка. На поверхность р. Самородинка выходит ниже Ленинского пр-та и протекает в открытом русле. Вода в реке после таяния снега и ливневых дождей загрязнена, но в других условиях — визуально чистая. К сожалению, река почти не протекает, а существует в виде цепочки из четырех декоративных водоемов с бетонированными отвесными берегами.

Для изменения сложившейся ситуации следует использовать фиторемедиационный потенциал «зеленого» пространства в городе. Исследуемый перекресток имеет большой запас места для рас-

⁶⁴ 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>

⁶⁵ Об утверждении Правил создания охранных зон отдельных категорий особо охраняемых природных территорий, установления их границ, определения режима охраны и использования земельных участков и водных объектов в границах таких зон : Постановление Правительства Российской Федерации от 19.02.2015 № 138 (с изменениями на 04.10.2021). URL: <https://docs.cntd.ru/document/420254912>

положения элементов зеленой инфраструктуры по всем сторонам [22]. Авторами было предложено создание дождевых садов для предотвращения затопления перекрестка во время сильных дождей из-за особенностей рельефа местности [28]. Искусственно созданные биолато с открытым зеркалом воды предназначены для очистки СВ. Вид растений выбирают в зависимости от природы загрязнений. Эффективность работы таких открытых биолато немного снижается в осенне-зимний период до 70 % [29], но качество очистки не ухудшается выше ПДК для выпуска очищенной воды в естественные водоемы [30]. Так, дождевой сад сумеет пополнить р. Самородинку чистой водой.









В табл. 3 авторами предлагается классификация и особенности инженерного устройства биотопов, созданных по аналогии с естественными природными сообществами и отличающихся по поливной норме в 1,5 раза.

Количество воды на создание условий оптимальной влажности для роста растений называется нормой полива. Норма полива на 1 м² площади зеленых насаждений зависит от дефицита запаса почвенной влаги и типа почвы [31–34]. При расчете этой нормы необходимо учитывать промачивание почвы на всю глубину распространения корневой системы.




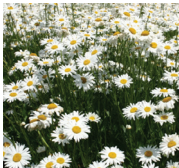
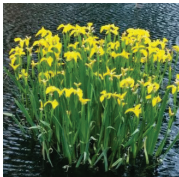

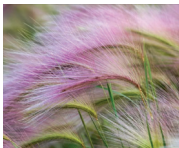
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящей статье авторами предлагается ассортимент растений для эффективного функционирования дождевого сада. В табл. 4 представлены 27 наиболее характерных видов московской флоры из многолетних цветов и трав. Они распределены по возрастанию нормы полива, высоте и условиям освещенности для удобства планирования будущей ярусной посадки. Также в табл. 4 указаны месяцы цветения, чтобы во время вегетационного сезона одни цветущие растения сменяли другие. Большая часть предлагаемых растений относится к сухому биотопу 2 и 3, т.е. с водопотреблением от 7 до 25 л




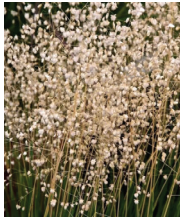


Табл. 4. Характеристика растений и природных условий для их выращивания
Table 4. Characteristics of plants and natural conditions for their cultivation

Название растения Name of plant	Месяц цветения Month of blooming						Количество на 1 м² (шт.) Quantity per 1 m² (pcs.)	Высо- та, см Height, cm	Свет Light	Норма воды на 1 м² Water norm per 1 m²		Тип био- топа Type of bio- tope	Фото Photo
	4	5	6	7	8	9				м³ / m³	литры litres		
Многолетники / Perennials													
Ландыш майский (под угрозой исчезновения) <i>Convallaria majalis</i> (endangered)	+	+					9–11	15–30	●	0,0035	3,5	☒	
Медуница (под угрозой исчезновения) <i>Pulmonária</i> (endangered)	+	+					6–8	<30	○ %	0,0042	4,2	☒	
Кислица обыкновенная (под угрозой исчезновения) <i>Ōxalis acetosélla</i> (endangered)	+	+					20–30	5–12	%	0,005	5	☒	
Ястребинка <i>Hieracium</i>		+	+	+	+	+	16	5–15	○	0,014	14	☒	
Мыльнянка <i>Saponária</i>			+	+	+		11	15–20	○	0,007	7	☒	
Скабиоза <i>Scabiósa</i>			+	+	+	+	6–11	<45	○	0,007	7	☒	
Вероника <i>Verónica</i>		+	+	+	+		9	25–130	○	0,0105	10,5	☒	
Примула весенняя (под угрозой исчезновения) <i>Primula véris</i> (endangered)	+	+					9–16	10–15	○ %	0,0238	23,8	☒	







Продолжение табл. 4 / Continuation of the Table 4

Название растения Name of plant	Месяц цветения Month of blooming						Количество на 1 м² (шт.) Quantity per 1 m² (pcs.)	Высо- та, см Height, cm	Свет Light	Норма воды на 1 м² Water norm per 1 m²		Тип био- топа Type of bio- tope	Фото Photo
	4	5	6	7	8	9				м³ / m³	литры litres		
Многолетники / Perennials													
Горечавка <i>Gentiana</i>		+	+	+	+		6–8	10–30	○ %	0,0201	20,1	⊂	
Яснотка <i>Lamium</i>		+	+				11	<20	○ %	0,0182	18,2	⊂	
Лапчатка <i>Potentilla</i>		+	+	+	+	+	9–11	20–60	○ %	0,025	25	⊂	
Нивяник обыкновенный (под угрозой исчезновения) <i>Leucanthemum vulgare</i> (endangered)		+	+				6	80–90	%	0,028	28	⊆	
Ирис желтый (под угрозой исчезновения) <i>Íris pseudácorus</i> (endangered)			+				2–4	40–100	○ %	0,035	35	⊆	
Декоративные травы / Decorative herbs													
Бухарник мягкий <i>Holcus mollis</i>			+	+			4–5	20–30	○ %	0,0046	4,55	⊄	
Ячмень гривастый <i>Hordeum jubatum</i>			+	+			9–11	<50	○	0,0052	5,25	⊄	

Продолжение табл. 4 / Continuation of the Table 4

Название растения Name of plant	Месяц цветения Month of blooming						Количество на 1 м ² (шт.) Quantity per 1 m ² (pcs.)	Высо- та, см Height, cm	Свет Light	Норма воды на 1 м ² Water norm per 1 m ²		Тип био- топа Type of bio- tope	Фото Photo
	4	5	6	7	8	9				м ³ / m ³	литры litres		
Декоративные травы / Decorative herbs													
Овсяница <i>Festuca</i>			+				9	60–70	○	0,0048	4,8	≠	
Овец вечнозеленый <i>Helictotrichon sempervirens</i>				+			4	<150	○ %	0,004	4	≠	
Чина весенняя (под угрозой исчезновения) <i>Lathyrus vernus</i> (endangered)	+	+					3–4	20–60	●	0,008	8,4	≠	
Трясунка средняя <i>Briza media</i>			+				6–8	<30	○ %●	0,0108	10,8	≠	
Дремлик широколистый (под угрозой исчезновения) <i>Epipactis helleborine</i> (endangered)			+	+			7–9	25–80	○ %	0,0108	10,8	≠	
Вейник остроцветковый <i>Calamagrostis acutiflora</i>				+			5–8	150–160	○ %	0,0105	10,5	≠	

Окончание табл. 1 / End of the Table 1

Название растения Name of plant	Месяц цветения Month of blooming						Количество на 1 м ² (шт.) Quantity per 1 m ² (pcs.)	Высо- та, см Height, cm	Свет Light	Норма воды на 1 м ² Water norm per 1 m ²		Тип био- топа Type of bio- tope	Фото Photo
	4	5	6	7	8	9				м ³ / m ³	литры litres		
Декоративные травы / Decorative herbs													
Молиния <i>Molinia</i>						+	4–6	40–90	○ %	0,0236	23,6	⊂	
Манник большой <i>Glyceria maxima</i>				+			4–6	40–50	○ %	0,0284	28	⊂	
Ожика лесная <i>Luzula sylvatica</i>	+	+					8–10	<60	%	0,029	29	⊂	
Камыш укореняющийся (под угрозой исчезновения) <i>Scirpus radicans</i> (endangered)				+			4	40–200	○ %	0,027	27	⊂	
Просо <i>Panicum</i>						+	4	120–240	○	0,0305	30	⊂	
Тростник южный <i>Phragmites australis</i>						+	1	200–250	○	0,0425	42,5	⊂	

на 1 м² и движением ливневой воды по благоустра-
иваемой территории. Это соответствует сложив-
шемуся рельефу территории с существующими
склонами и низиной в северо-западной части тер-
ритории исследования, куда проходят естественные
пути стока. В табл. 4 не представлены лиственные
и хвойные деревья и кустарники, так как территория
исследования включает часть ООПТ регионального
значения «Ландшафтный заказник “Лес на реке Са-
мородинке”», в котором преобладают березово-оси-

ново-еловые леса с участками дубрав и липо-дубняков. Луговая растительность ООПТ — это регулярно скашиваемые газоны и разнотравно-вейниковые луга. Газоны в составе зеленых насаждений представляют собой низкотравные сообщества с доминированием злаков с участием некоторых луговых растений и устойчивых к вытаптыванию видов. Разнотравно-вейниковая луговая растительность представлена залежами в южной части заказника, которые постепенно зарастают древесно-кустарниковой растительностью. Сообщества прибрежно-водных растений деградировали в результате ремонта пруда. В ООПТ сохранились небольшие группировки камыша укореняющегося, ириса желтого и манника большого по берегу пруда. При составлении табл. 4 были учтены месяц цветения растений и световые условия произрастания для наиболее естественной посадки в структуре биотопа.

В табл. 4 указан неполный и примерный перечень растений, которые могут быть использованы для посадки в городских биотопах. Создание биотопов по типу природных поможет предотвратить процесс вырождения растений, уже замеченный в городе из-за недостатка питательных элементов в почвенном слое грунта, а также из-за недостатка поверхностной дождевой воды. Для восстановления водных сообществ в р. Самородинка и пруду Запятая предлагаются растения полувлажного и влажного биотопов. Также в табл. 4 отмечены редкие виды и растения, находящиеся под угрозой исчезновения, которые нуждаются в постоянном контроле и наблюдении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Внимание мирового сообщества на протяжении десятков лет приковано к климатическому кризису планеты и направлено на попытки снижения негативных последствий от глобального потепления. Основу решения проблемы глобального потепления составляют научные знания о климате и растениях. Среди них многочисленные конвенции и конференции, ежегодные доклады об изменении погоды в каждой стране и планеты в целом, сбор

и анализ климатических данных для прогнозирования развития погодных условий.

Прорывным результатом этих международных усилий стала теория, что повышенную температуру планеты возможно охладить за счет воды, испаряющейся с растений. Для использования фиторемедиационного потенциала «зеленого» пространства в городе необходимо увеличить численность растений всех типов и направить к ним ливневые воды в качестве дополнительного питания. Осуществление этих действий предполагает и изменение нормативных документов для создания, переустройства и регулирования биоинженерной инфраструктуры в городской черте.

В статье авторами сделана попытка предложения научного подхода к решению обозначенной глобальной экологической проблемы. Резервная территория в кадастровом контуре Ленинского пр-та предлагается в качестве площадки апробации с ассортиментом растений для различных биотопов, чтобы аккумулировать, впитывать и проводить ливневую воду через растения. Нормативные документы РФ в этой области не затрагивают поверхностную воду и ее отвод, особенно в контексте золотоизвлекательных фабрик. Это большая проблема, так как все развитые страны вне зависимости от климата (например, холодный, как в Финляндии, или тропический, как в Австралии) достигли экологической стабильности с сохранением озелененных территорий, и уже начали работать на другом градостроительном уровне — инженерной подготовке территории, создавая зелено-технологичную инфраструктуру через использование поверхностной воды и фиторемедиационных способностей растений в части осаждения твердых частиц, фильтрации химических загрязнений и т.д.

Внедрение зеленой, голубой или ландшафтной инфраструктур в городской среде не только выполнит климатические задачи, но и оздоровит существующий природный ресурс, повысит узнаваемость городской среды и добавит в постоянное пользование новые социокультурные сценарии для городских жителей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Fowler H.J., Lenderink G., Prein A.F., Westra S., Allan R.P., Ban N. et al. Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes // *Nature Reviews Earth & Environment*. 2021. Vol. 2. Issue 2. Pp. 107–122. DOI: 10.1038/s43017-020-00128-6
2. Michael Le Page. Earth passes 2 °C of warming on hottest day ever recorded // *New Scientist*. 2023. URL: <https://www.newscientist.com/article/2403743-earth-passes-2c-of-warming-on-hottest-day-ever-recorded/>

3. Nkonya E., Mirzabaev A., Braun J. Economics of Land Degradation and Improvement — a Global Assessment for Sustainable Development. 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-19168-3
4. Laufkötter C., Zscheischler J., Frölicher T.L. High-impact marine heatwaves attributable to human-induced global warming // *Science*. 2020. Vol. 369. Issue 651. Pp. 1621–1625. DOI: 10.1126/science.aba-0690

5. Park C.E., Jeong S.J., Joshi M., Osborn T.J., Ho C.H., Piao S. et al. Keeping global warming within 1.5 °C constrains emergence of aridification // *Nature Climate Change*. 2018. Vol. 8. Issue 1. Pp. 70–74. DOI: 10.1038/s41558-017-0034-4
6. Bytnerowicz T.A., Akana P.R., Griffin K.L., Menge D.N.L. Temperature sensitivity of woody nitrogen fixation across species and growing temperatures // *Nature Plants*. 2022. Vol. 8. Issue 3. Pp. 209–216. DOI: 10.1038/s41477-021-01090-x
7. Липка О.Н., Корзухин М.Д., Замолодчиков Д.Г., Добролюбов Н.Ю., Крыленко С.В., Богданович А.Ю. и др. Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата // *Лесоведение*. 2021. № 5. С. 531–546. DOI: 10.31857/S0024114821050077. EDN OWSSBF.
8. Гетманова Ю.П. Китайская «Кремниевая долина» — технопарк Чжунгуаньцунь // *Азиатско-Тихоокеанский регион: история и современность — XIV : мат. Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, посвящ. 100-летию дипломатических отношений России и Монголии*. 2021. С. 55–58. EDN DVCCPE.
9. Межов С.И., Бастаубаев А.К. Инновационное развитие в Китае // *Экономическое развитие региона: управление, инновации, подготовка кадров*. 2018. № 5. С. 230–236. EDN YARKVF.
10. Вальдхайм Ч. Ландшафт как урбанизм // *Архитекторы РФ*. 2022. URL: <https://xn--80akijuiemcz7e.xn--plai/articles/landshaft-kak-urbanizm>
11. *Tharp R. Ecological Stormwater Management: Analysis of design components to improve understanding and performance of stormwater retention ponds : Dissertations*. Burlington, University of Vermont, 2018. 157 p.
12. *Ferry R., Monoian E. Land art as climate action*. Munich : Hirmer Publishers, 2023. 240 p.
13. *Kurutz S. From Europe, a No-Chlorine Backyard Pool* // *The New York Times*. 2007.
14. *Kim Harrisberg. How can 'sponge cities' use nature to tackle climate-fuelled floods?* // *Thomson Reuters Foundation*. 2022. URL: <https://news.trust.org/item/20220327192248-8ntoq/>
15. Chernokulsky A., Kozlov F., Zolina O., Bulygina O., Mokhov I.I., Semenov V.A. Observed changes in convective and stratiform precipitation in Northern Eurasia over the last five decades // *Environmental Research Letters*. 2019. Vol. 14. Issue 4. P. 045001. DOI: 10.1088/1748-9326/aafb82
16. Ярынич Ю.И., Варенцов М.И., Платонов В.С., Степаненко В.М., Чернокульский А.В., Давлетшин С.Г. и др. Влияние Московского мегаполиса на осадки теплого периода в зависимости от крупномасштабных атмосферных условий // *Водные ресурсы*. 2023. Т. 50. № 5. С. 550–560. DOI: 10.31857/S0321059623600151. EDN HOVOYL.
17. Li F., Xiao J., Chen J., Ballantyne A., Jin K., Li B. et al. Global water use efficiency saturation due to increased vapor pressure deficit // *Science*. 2023. Vol. 381. Issue 6658. Pp. 672–677. DOI: 10.1126/science.adf5041
18. Dunn R.J.H., Alexander L.V., Donat M.G., Zhang X., Bador M., Herold N. et al. Development of an updated global land in situ-based data set of temperature and precipitation extremes: HadEX3 // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2020. Vol. 125. Issue 16. DOI: 10.1029/2019JD032263
19. Alberti M., Palkovacs E.P., Roches S.D., Meester L.D., Brans K.I., Govaert L. et al. The complexity of urban eco-evolutionary dynamics // *BioScience*. 2020. Vol. 70. Issue 9. Pp. 772–793. DOI: 10.1093/biosci/biaa079
20. Menzel A., Fabian P. Growing season extended in Europe // *Nature*. 1999. Vol. 397. Issue 6721. P. 659. DOI: 10.1038/17709
21. Zohner C.M., Mirzaghali L., Renner S.S., Mo L., Rebindaine D., Bucher R. et al. Effect of climate warming on the timing of autumn leaf senescence reverses after the summer solstice // *Science*. 2023. Vol. 381. Issue 6653. DOI: 10.1126/science.adf5098
22. 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
23. Абдықадыров А., Марксылы С., Таштай Е., Куттыбаева А. Исследование процесса очистки и обеззараживания поверхностных вод с помощью озонаторной установки // *Вестник КазАТК*. 2023. № 126 (3). С. 462–478. DOI: 10.52167/1609-1817-2023-126-3-462-478. EDN QDRCQQ.
24. Dunbabin J.S., Bowner K.H. Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters containing metals // *Science of the Total Environment*. 1992. Vol. 111. Issue 2–3. Pp. 151–168. DOI: 10.1016/0048-9697(92)90353-t
25. Hemalatha M., Mohan S.V. Duckweed biorefinery — Potential to remediate dairy wastewater in integration with microbial protein production // *Bioresource Technology*. 2022. Vol. 346. P. 126499. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126499
26. Dinh T.T.U., Soda S., Nguyen T.A.H., Nakajima J., Cao T.H. Nutrient removal by duckweed from anaerobically treated swine wastewater in lab-scale stabilization ponds in Vietnam // *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 722. P. 137854. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137854
27. Мелехин А.Г., Щукин И.С. Анализ существующих биоинженерных сооружений очистки поверхностного стока и возможности их применения в условиях Западного Урала // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. 2013. № 2. С. 40–51. EDNRBQSGB.
28. 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

29. Talabi A.O., Kayode T.J. Groundwater Pollution and Remediation // Journal of Water Resource and Protection. 2019. Vol. 11. Issue 01. Pp. 1–19. DOI: 10.4236/jwarp.2019.111001

30. Ульрих Д.В. Биоинженерные сооружения для очистки загрязненных поверхностных стоков // Инженерный вестник Дона. 2017. № 2 (45). С. 148. EDN ZEOOMF.

31. Калмыкова А.Л. Строительство и содержание объектов ландшафтной архитектуры : краткий курс лекций. Саратов : Саратовский ГАУ, 2016. 37 с.

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

33. 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

34. 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 4 декабря 2023 г.

Принята в доработанном виде 8 декабря 2023 г.

Одобрена для публикации 10 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; SPIN-код: 3019-6269, РИНЦ ID: 503400, 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. Fowler H.J., Lenderink G., Prein A.F., Westra S., Allan R.P., Ban N. et al. Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2021; 2(2):107-122. DOI: 10.1038/s43017-020-00128-6

2. Michael Le Page. Earth passes 2 °C of warming on hottest day ever recorded. *New Scientist*. 2023. URL: <https://www.newscientist.com/article/2403743-earth-passes-2c-of-warming-on-hottest-day-ever-recorded/>

3. Nkonya E., Mirzabaev A., Braun J. *Economics of Land Degradation and Improvement – a Global Assessment for Sustainable Development*. 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-19168-3

4. Laufkötter C., Zscheischler J., Frölicher T.L. High-impact marine heatwaves attributable to human-induced global warming. *Science*. 2020; 369(651):1621-1625. DOI: 10.1126/science.aba0690

5. Park C.E., Jeong S.J., Joshi M., Osborn T.J., Ho C.H., Piao S. et al. Keeping global warming within 1.5 °C constrains emergence of aridification. *Nature Climate Change*. 2018; 8(1):70-74. DOI: 10.1038/s41558-017-0034-4

6. Bytnerowicz T.A., Akana P.R., Griffin K.L., Menge D.N.L. Temperature sensitivity of woody nitrogen fixation across species and growing temperatures. *Nature Plants*. 2022; 8(3):209-216. DOI: 10.1038/s41477-021-01090-x

7. Lipka O.N., Korzukhin M.D., Zamolodchikov D.G., Dobrolyubov N.Yu., Krylenko S.V., Bogdanovich A.Yu. et al. A role of forests in natural systems adaptation to climate change. *Russian Journal of Forest Science*. 2021; 5:531-546. DOI: 10.31857/S002411-4821050077. EDN OWSSBF. (rus.).

8. Getmanova Yu. China's silicon valley — Zhongguancun technopark. *Asia-Pacific region: history and modernity – XIV : Materials of the international scientific and practical conference of young scientists dedicated to the 100th anniversary of diplomatic relations between Russia and Mongolia*. 2021; 55-58. EDN DBCCPE. (rus.).

9. Mezhev S.I., Bastubaev A.K. Innovation development in China. *Economic Development of the Region: Management, Innovation, Training*. 2018; 5:230-236. EDN YARKVF. (rus.).

10. Val'dkhaym Ch. Landscape as urbanism. *Architects of the Russian Federation*. 2022. URL: <https://xn--80akijuiemcz7e.xn--p1ai/articles/landshaft-kak-urbanizm> (rus.).
11. Tharp R. *Ecological Stormwater Management: Analysis of design components to improve understanding and performance of stormwater retention ponds : Dissertations*. Burlington, University of Vermont, 2018; 157.
12. Ferry R., Monoian E. *Land art as climate action*. Munich, Hirmer Publishers, 2023; 240.
13. Kurutz S. From Europe, a No-Chlorine Backyard Pool. *The New York Times*. 2007.
14. Kim Harrisberg. How can 'sponge cities' use nature to tackle climate-fuelled floods? *Thomson Reuters Foundation*. 2022. URL: <https://news.trust.org/item/20220327192248-8ntoq/>
15. Chernokulsky A., Kozlov F., Zolina O., Bulygina O., Mokhov I.I., Semenov V.A. Observed changes in convective and stratiform precipitation in Northern Eurasia over the last five decades. *Environmental Research Letters*. 2019; 14(4):045001. DOI: 10.1088/1748-9326/aafb82
16. Yarinich Yu.I., Varentsov M.I., Platonov V.S., Stepanenko V.M., Chernokulsky A.V., Davletshin S.G. et al. The effect of Moscow megapolis on warm-season precipitation depending on large-scale atmospheric conditions. *Water Resources*. 2023; 50(5):550-560. DOI: 10.31857/S0321059623600151. EDN HOVOYL. (rus.).
17. Li F., Xiao J., Chen J., Ballantyne A., Jin K., Li B. et al. Global water use efficiency saturation due to increased vapor pressure deficit. *Science*. 2023; 381(6658):672-677. DOI: 10.1126/science.adf5041
18. Dunn R.J.H., Alexander L.V., Donat M.G., Zhang X., Bador M., Herold N. et al. Development of an updated global land in situ-based data set of temperature and precipitation extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2020; 125(16). DOI: 10.1029/2019JD032263
19. Alberti M., Palkovacs E.P., Roches S.D., Meester L.D., Brans K.I., Govaert L. et al. The Complexity of Urban Eco-evolutionary Dynamics. *BioScience*. 2020; 70(9):772-793. DOI: 10.1093/biosci/biaa079
20. Menzel A., Fabian P. Growing season extended in Europe. *Nature*. 1999; 397(6721):659. DOI: 10.1038/17709
21. Zohner C.M., Mirzagholi L., Renner S.S., Mo L., Rebindaine D., Bucher R. et al. Effect of climate warming on the timing of autumn leaf senescence reverses after the summer solstice. *Science*. 2023; 381(6653). DOI: 10.1126/science.adf5098
22. 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.).
23. Abdikadyrov A., Marxuly S., Tashtai E., Kuttybayeva A. Investigation of the process of purification and disinfection of surface waters using an ozonator plant. *Vestnik KazATK*. 2023; 126(3):462-478. DOI: 10.52167/1609-1817-2023-126-3-462-478. EDN QDRCQQ. (rus.).
24. Dunbabin J.S., Bowner K.H. Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters containing metals. *Science of the Total Environment*. 1992; 111(2-3):151-168. DOI: 10.1016/0048-9697(92)90353-t
25. Hemalatha M., Mohan S.V. Duckweed bio-refinery – Potential to remediate dairy wastewater in integration with microbial protein production. *Biore-source Technology*. 2022; 346:126499. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126499
26. Dinh T.T.U., Soda S., Nguyen T.A.H., Nakajima J., Cao T.H. Nutrient removal by duckweed from anaerobically treated swine wastewater in lab-scale stabilization ponds in Vietnam. *Science of the Total Environment*. 2020; 722:137854. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137854
27. Melekhin A.G., Shchukin I.S. Analysis of existing bioengineered surface runoff treatment facilities and the possibility of their application in the conditions of the Western Urals. Bulletin of Perm State Technical University. *Construction and Architecture*. 2013; 2:40-51. EDNRBQSGB. (rus.).
28. 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
29. Talabi A.O., Kayode T.J. Groundwater Pollution and Remediation. *Journal of Water Resource and Protection*. 2019; 11(01):1-19. DOI: 10.4236/jwarp.2019.111001
30. Ulrikh D.V. Bioengineering facilities for contaminated surface runoff treatment. *Engineering journal of Don*. 2017; 2(45):148. EDN ZEOOMF. (rus.).
31. Kalmykova A.L. *Construction and maintenance of landscape architecture objects : a short course of lectures for students of the training direction*. Saratov, Saratov State Agrarian University, 2016; 37. (rus.).
32. Zaykova E. Healing landscapes in the multi-functional hybrid objects. *Proceedings of the Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering*. 2019; 347-355.
33. 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
34. Zaykova E. Strategies ensuring the Stability of Natural and Urbanized Biotopes in hybrid multi-functional objects. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021; 1030(1):012065. DOI: 10.1088/1757-899x/1030/1/012065

Received December 4, 2023.

Adopted in revised form on December 8, 2023.

Approved for publication on January 10, 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, 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.