



Механизм формирования сточных вод с искусственных зеленых площадок урбанизированных территорий

Дарья И. Мазурик ✉, mazurikdi@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3550-6062>
Алла Б. Дягилева, abdiag@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5983-4550>

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 198095, Российская Федерация

В работе проведен анализ формирования качества сточных вод с искусственных зеленых зон на урбанизированных территориях. Рассмотрены механизмы миграции загрязняющих веществ в этих системах. Для оценки качества сточных вод использовалась открытая информация, с учетом региональной специфики функционирования этих объектов и собственные экспериментальные исследования на модельной системе. Анализ научно-технической литературы показал, что при некоторой универсальности модели сложения этих объектов специфика формирования фильтрационных вод может существенно различаться. Состав воды зависит от климатических условий и целевой функции, конструктивных особенностей и состава вмещающих слоёв. Однако, в определенной климатической зоне с использованием единого алгоритма заложения слоев можно достигнуть универсальности формирования сточных вод для организации его повторного использования. Экспериментально установлено, что сточные воды спортивного поля являются слабозагрязненными при установившемся режиме фильтрации (среднестатистические значения БПК₅ составляют $181 \pm 17,0$ мгО₂/дм³, ХПК – $385 \pm 54,0$ мгО₂/дм³), что укладывается в требования договора для сброса этой воды в городскую канализацию. Для прямых водопользователей таких систем необходима дополнительная очистка. В ходе аналитического обзора выявлена принципиальная технологическая аналогия конструкций спортивного поля и биологически активного слояполигона, формируемого на завершающей стадии его биологической рекультивации. Таким образом, модель (почвенный слой- мембрана – дренаж) можно использовать в качестве объекта исследования для отработки управляемого механизма формирования почвенных слоев для более сложных природоподобных систем. Полученные данные позволят прогнозировать характеристики основного стока при проектировании и эксплуатации искусственных зеленых зон. Практическая значимость работы заключается в расширении представлений по реализации природоподобного проектирования на урбанизированных территориях и при рекультивации лесных массивов после техносферного воздействия различного характера.

Ключевые слова: искусственные зеленые зоны, качество сточных вод, дренажные системы, экологический каркас, спортивная площадка, почвенно-растительный слой, геохимический барьер

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мазурик, Д. И. Механизм формирования сточных вод с искусственных зеленых площадок урбанизированных территорий / Д. И. Мазурик, А. Б. Дягилева // Лесотехнический журнал. – 2026. – Т. 16. – № 2 (62). – С. 280–293. – Библиогр.: с. 289–293 (31 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2026.2/18>.

Поступила 27.02. 2026. Пересмотрена 12.05. 2026. Принята 15.05. 2026. Опубликовано онлайн 26.06.2026.

The mechanism of wastewater formation from artificial green areas in urbanized territories

Darya I. Mazurik ✉, mazurikdi@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3550-6062>

Alla B. Dyagileva, abdiag@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5983-4550>

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivan Chernykh Street, Saint Petersburg, Russia, 198095, Russian Federation

Abstract

The work presents an analysis of the formation of wastewater quality from artificial green zones in urbanized territories. The mechanisms of migration of pollutants in these systems are considered. To assess the quality of wastewater, open information was used, taking into account the regional specifics of the functioning of these objects, and own experimental studies on a model system. An analysis of scientific and technical literature has shown that, with some universality of the model of composition of these objects, the specificity of the formation of filtration waters can differ significantly. The composition of water depends on climatic conditions and the target function, design features and the composition of the enclosing layers. However, in a certain climatic zone, using a single algorithm for laying layers, it is possible to achieve universality of the formation of wastewater for the organization of its reuse. It has been experimentally established that wastewater from a sports field is slightly polluted under steady-state filtration conditions (average statistical values of BOD₅ are 181 ± 17.0 mg O₂/dm³, COD – 385 ± 54.0 mg O₂/dm³), which meets the requirements of the contract for the discharge of this water into the city sewer. Direct water users of such systems require additional treatment. During the analytical review, a fundamental technological analogy was revealed between the structures of a sports field and the biologically active layer of a landfill, formed at the final stage of its biological reclamation. Thus, the model (soil layer – membrane – drainage) can be used as an object of study for developing a controlled mechanism for the formation of soil layers for more complex nature-like systems. The obtained data will make it possible to predict the characteristics of the main runoff during the design and operation of artificial green zones. The practical significance of the work lies in expanding the understanding of the implementation of nature-like design in urbanized territories and during the reclamation of forest areas after technogenic impacts of various nature.

Keywords: *artificial green zones, wastewater quality, drainage systems, ecological framework, sports field, soil and vegetation layer, geochemical barrier*

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Mazurik D. I., Dyagileva A. B. (2026) The mechanism of wastewater formation from artificial green areas in urbanized territories. *Forestry Engineering journal*, Vol. 16, No. 2 (62), pp. 280–293 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2026.2/18>.

Received 27.02.2026.

Revised 12.05.2026.

Accepted 15.05.2026.

Published online 26.06.2026

Введение

Современные тенденции организации жизненного пространства для населения и реализация национальных проектов, таких как «Экология» [1] и «Комфортная среда обитания» [2], формируют новый подход к градостроительству в условиях интенсивной урбанизации. Эти проекты объединяет необходимость создания и регулирования искусственных зеленых зон для решения многих социально-экологических и экономических задач. К числу таких объектов относятся спортивные газоны, озелененные пространства, а также защитные экраны на объектах накопленного экологического ущерба. Все эти элементы объединяет общность инженерно-технологических подходов к их организации, базирующихся на принципах природообустройства

и регулирования почвенно-растительного слоя, что соответствует современной зеленой инфраструктуре [3].

Инженерное развитие «зелёной» инфраструктуры городских агломераций порождает новую экологическую проблему – специфический сток с вновь организованных территорий. Качество и объём данного стока необходимо оценивать с учетом специфики сложения почвенных слоев. На

основе этой оценки принимается решение о его дальнейшем отведении в систему очистки либо использовании в целях регулирования водного режима урбанизированной территории. В настоящее время вопрос организации водосбора с искусственных зеленых территорий остается недостаточно проработанным. При этом для

сложившихся территорий решение этой задачи достаточно сложное и требует капитальных затрат с разделением выделенных потоков в самостоятельные сточные воды.

Современная застройка, в том числе уплотненная, и массовая организация новых пространств, как в промышленной зоне, так и жилой, требует нового подхода, что отмечается во многих научных работах [4-9]. Жесткие требования к качеству поверхностных сточных вод заставляют разрабатывать новые технологические решения как к формированию самих зеленых зон, так и к организации системы сбора и использования локально очищенных вод.

Анализ действующей нормативной базы показывает, что существующие рекомендации ВОДГЕО ориентированы преимущественно на расчет объемов и качества поверхностного ливневого стока с усредненных городских территорий. Они не учитывают специфику фильтрационных процессов, протекающих в многослойной конструкции, что ставит под сомнение релевантность их применения для современных урбанизированных объектов [10]. Это связано, в том числе, с применением разнородных искусственных грунтов, в составе которых могут присутствовать различные фракции отходов, включая отходы лесопромышленного комплекса (ЛПК) [11,12], что может кардинально менять состав и свойства формирующихся почвенных и фильтрационных вод. Для каждого региона подбор составляющих системы может варьироваться, поэтому качество поверхностных и фильтрационных вод, собираемых с соответствующих территорий, претерпевает изменения.

Проблема регионального нормирования качества фильтрационных вод осложняется отсутствием единой методической базы для оценки миграции загрязняющих веществ в многослойных искусственных системах. Существующие подходы к нормированию ориентированы на традиционные почвенные разрезы и не учитывают специфику техногенных грунтов, характеризующихся иными фильтрационными свойствами и сорбционной емкостью [13,14]. Кроме того, при создании искусственных зеленых зон широко применяются материалы, содержащие органические и минеральные компоненты, способные к трансформации в процессе эксплуатации. Это приводит к тому, что качество фильтрационных вод может изменяться во времени.

Проектирование зеленых зон тесно связано с экологическим каркасом [15,16] территорий, обеспечивающим эколого-социальную и ресурсную стабильность природно-технической системы. Накопленный опыт этих объектов позволяет выдвигать принципиально новые подходы к системе

эксплуатации зеленых каркасов современных агломераций. Особое значение это приобретает для объектов, которые потеряли промышленное значение и требуют рекультивации, в том числе с организацией новых зеленых площадок без дополнительного выноса загрязняющих веществ в результате предыдущей хозяйственной деятельности [17,18]. Такие объекты необходимо рассматривать как единую, многофункциональную инженерно-экологическую инфраструктуру, с выделенными потоками специфических сточных вод с этих преобразованных промышленных площадок. По сути, она является основой природно-урбанизированной надсистемой городской застройки [19,20], в том числе моногородов с градообразующими предприятиями к которым относится ЛПК и природных территорий с накопленным экологическим ущербом, включая системы организации полигонов ТКО на стадии рекультивации.

На основе научной литературы, касающейся проектирования зеленых зон в различных регионах [21-23], отмечается, что зеленая инфраструктура относится к стратегическому ресурсу, который является многофункциональным и управляемым ресурсным комплексом, ключевым фактором экологической безопасности и социально-экономической устойчивости, определяющим благополучие территории. Современные исследования в области природоподобных технологий подтверждают, что системы, основанные на использовании растительного покрова и почвенных слоев, эффективны при условии учета региональных особенностей и конструктивных параметров [24,25].

Накопленный опыт функционирования зеленых каркасов позволяет выдвигать гипотезу о том, что несмотря на различие в целевых функциях, существует принципиальная технологическая аналогия в устройстве искусственных зеленых зон. Данная аналогия обусловлена общностью инженерно-технологических подходов к формированию многослойного почвенно-растительного слоя и определяет сходство ступенчатого механизма формирования фильтрационных вод. Это позволяет рассматривать хорошо изученный объект (спортивное поле) в качестве аналитической модели для прогнозирования и управления качественными характеристиками стока на объектах накопленного экологического ущерба.

Целью данной работы является систематизация конструктивных особенностей искусственных зеленых зон и оценка механизма образования фильтрационных вод, которые необходимо отвести с этих территорий для определения возможного последующего целевого применения.

Материалы и методы

Объект и предмет исследований

Объектом исследования являются искусственные зеленые площадки, расположенные в Северо-Западном регионе и функционирующие в структуре городских агломераций. В работе рассматривались две категории природно-технических систем. К первой категории отнесены инженерные сооружения биологической очистки (поля фильтрации, поля орошения и биоплато), регламентированные ГОСТом Р 58594-2019. Оценка качества сточных вод с данных объектов проводилась на основе анализа региональных отчетных материалов, а также по результатам контрольных измерений, системы сельскохозяйственного назначения в работу не включались. Ко второй категории отнесены инженерные сооружения стандартизированных спортивных площадок, организованных согласно СП 332.1325800.2017, а также биологический слой после рекультивации полигона, в соответствии с ГОСТ Р 55985-2014. Для отработки составов и режимов дополнительно применялись модельные системы искусственного почвенного слоя, позволяющие проводить контролируемые лабораторные эксперименты.

Предметом исследования являются фильтрационные воды, формирующиеся при прохождении атмосферных осадков и поливных вод через искусственные почвенно-растительные слои перечисленных объектов.

Сбор и анализ данных

Основу исследования составил сравнительный анализ научно-технической документации и отчетных материалов по эксплуатации анализируемых объектов. Отбор проб фильтрационных вод производился в период с мая по октябрь 2024 года, в соответствии с графиком производственного экологического контроля. Всего было отобрано и статистически обработано 14 проб, кратность отбора составляла 2 раза в месяц. Отбор осуществлялся после выпадения осадков более 10 мм в сутки, что позволяло оценить качество стока в условиях установившегося режима фильтрации. Анализ проб фильтрационных вод выполнялся по следующим показателям: взвешенные вещества, водородный показатель (рН), химическое потребление кислорода (ХПК), биохимическое потребление кислорода (БПК₅). Определение проводилось по стандартным методикам, принятым в системе экологического контроля.

Для оценки потенциального состава фильтрационных вод и последующего сравнения с натурным дренажным стоком использовали водную вытяжку из товарного почвогрунта. Приготовление вытяжки выполнялось по ГОСТу 26423-85 при соотношении 1:5 (почва: дистиллированная вода) по массе, время контакта составило 24 часа при

температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Полученную вытяжку анализировали по тем же интегральным показателям, что и фильтрационные пробы.

Экспериментальная часть работы выполнялась на базе межкафедральной лаборатории СПбГУПТД ВШТЭ и на объектах городской инфраструктуры. Обработка результатов проводилась с использованием математической программы Excel. Статистическую значимость различий между показателями оценивали с помощью t-критерия Стьюдента для независимых выборок. Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Организация зеленых зон в городах России регламентируется сводами правил (СП 104-103-00, СП 42.13330.2016) и санитарными нормами (СанПиН 2.1.3684-21), регулирующими требования к озеленению. В этих документах содержатся требования к качеству почв, водных объектов и атмосферного воздуха, что по сути является локальными правилами благоустройства и организации этих пространств. При анализе ряда паспортов благоустройства [26,27], а также при проведении экспертизы ряда объектов по рекультивации и эксплуатации полигонов, выявлена вариabельность подходов, обусловленная определенной климатической зоной, историко-культурными традициями, ландшафтными особенностями и экономическими возможностями выбранных регионов. Однако, действие указанных нормативных требований распространяется преимущественно на стандартные условия проектирования и в полной мере не учитывает всю сложность задач, возникающих при создании искусственных зеленых зон на объектах накопленного экологического ущерба. В таких случаях универсальные проектные решения могут вступать в противоречие с необходимостью изоляции загрязненных грунтов и организации сбора специфических фильтрационных вод.

В таблице 1 приведен обобщенный сравнительный анализ подходов и проблем при создании зеленых зон в городах Северо-Западного региона, систематизированный по климатическим зонам с реализуемыми инженерными решениями для каждой группы городов. Анализ показывает, что организация таких зон сопряжена с необходимостью использования привозных почвогрунтов и субстратов, поскольку естественные почвы характеризуются низким плодородием, повышенной кислотностью и переувлажнением. Состав и объем искусственных грунтов варьируются в зависимости от климатических условий: в Арктической зоне обязательны антифризные добавки и теплоизоляционные прослойки, тогда как в умеренно-континентальном климате ключевым требованием является

Природопользование

обеспечение дренажа и водоотведения. Специфика инженерных решений также вариативна: от создания ветрозащитных кулис в приморских

городах до обязательного устройства пластового дренажа в зонах с высоким уровнем грунтовых вод.

Таблица 1

Влияние климатических условий на выбор технологических решений при создании зеленых зон
Северо-Западного региона

Table 1

The impact of climate conditions on the choice of technological solutions for creating green areas
in the North-Western region

Климатическая зона Climate zone	Город city	Почва soil	Инженерные решения Engineering solutions	Проблемы problems
Умеренно-континентальная Temperate continental,	Санкт-Петербург, Великий Новгород St. Petersburg, Veliky Novgorod	подзолистые и болотные типы, торфо-песчано-суглинистые смеси podzolic and marshy types, peat-sand-loam mixtures	пластовый дренаж глубиной 0,8–1,2 м с уклоном, оборотные системы очистки, разделительная прослойка, устройство принудительной вентиляции почвенного слоя layer drainage with a depth of 0.8-1.2 m and a slope, recirculating cleaning systems, a separating layer, and a device for forced ventilation of the soil layer	переувлажнение, высокий уровень грунтовых вод, высокая рекреационная нагрузка waterlogging, high groundwater levels, and high recreational pressure
Умеренно-морская Moderate-marine	Калининград Kaliningrad	дерново-подзолистые, слабокислые, песчаные и супесчаные sod-podzolic, slightly acidic, sandy, and loamy soils	пластовый дренаж глубиной 0,8–1,0 м, ветрозащитные экраны высотой 2–3 м, известкование для нейтрализации кислотности layer drainage with a depth of 0.8-1.0 m, windbreaks with a height of 2-3 m, and liming to neutralize acidity	высокая влажность воздуха, частые осадки и туманы, кислые почвы high humidity, frequent precipitation and fog, and acidic soil
Умеренно-континентальная Temperate continental	Вологда, Псков Vologda, Pskov	дерново-подзолистые, супесчаные и суглинистые sod-podzolic, sandy loam, and loamy soils	дренаж закрытого типа с глубиной заложения 0,7–1,0 м, ветрозащитные полосы из древесно-кустарниковых пород, использование местных грунтов с улучшением (внесение торфа и песка) closed-type drainage with a depth of 0.7-1.0 m, windbreaks made of woody and shrubby plants, and the use of local soils with improvements (addition of peat and sand)	значительные сезонные перепады температуры, промерзание почвы, эрозия significant seasonal temperature fluctuations, soil freezing, and erosion
Приморская Primorskaya	Архангельск, Северодвинск Arkhangelsk, Severodvinsk	подзолистые, песчаные и супесчаные, холодные, малоплодородные podzolic, sandy and loamy, cold, and low-fertile	многоярусные ветрозащитные полосы, укрепление песчаных грунтов с заполнением растительным грунтом, снегозадерживающие устройства multi-tiered windbreaks, reinforcement of sandy soils with filling with plant soil, and snow-retaining devices	сочетание морских ветров с континентальными морозами, засоление почвы, длительный снежный покров combination of sea winds and continental frosts, soil salinity, and long snow cover

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculation

Основные проблемы, при организации зеленых зон, возникают на стыке природных

ограничений и интенсивного антропогенного воздействия. Таким образом, данные таблицы

подтверждают, что не существует единой универсальной модели организации зеленой зоны; технологическое решение адаптируется не только к климатической зоне, но и к локальным гидрогеологическим условиям, что согласуется с принципами устойчивого развития.

Климатические условия определяют не только выбор почвогрунтов и ассортимента растений, но и требования к инженерному обеспечению водного режима. Поэтому при проектировании зеленого каркаса урбанизированных территорий необходимо учитывать особенности управления водным балансом. Это является составной частью ее устойчивости, продуктивности и функционального назначения. Ключевым аспектом в этой системе является правильная организация сбора, использования и отвода избыточных ливневых и дренажных вод с данной территории. Механизм формирования этих потоков носит искусственно-естественный характер и зависит от периода эксплуатации конкретного объекта. В разных климатических зонах количество образующихся осадков существенно варьируется, соответственно изменяется и общее балансовое соотношение. Баланс и качество воды определяются комплексом показателей [28], учитывающим природные факторы, инженерные параметры создаваемых и фоновых систем.

Для эффективного управления этими потоками и предотвращения переувлажнения на искусственных площадках применяются дренажные системы. Они являются неотъемлемым элементом «зеленой» инфраструктуры, обеспечивающим сохранность поверхностного почвенного слоя и целостность всей зеленой зоны.

Устройство, расчет и конструктивные особенности дренажных систем регламентируются рядом нормативных документов (СП 32.13330.2018). В соответствии с ними основными параметрами при проектировании систем сбора и отведения являются объем и расход воды, определяемые с учетом климатических характеристик. При этом необходимо учитывать особенности организации вмещающих слоев и формирующуюся специфическую биомассу растений, которые используются для закрепления почвенного слоя в зависимости от региональных особенностей.

Эффективность работы дренажа и качество отводимого стока напрямую зависят от процессов, происходящих в верхних слоях системы. Механизм формирования сточных вод носит ступенчатый характер и определяется взаимодействием нескольких факторов. Вода, просочившаяся сквозь почвенный горизонт, теряет значительную часть взвешенных веществ, но обогащается подвижными водорастворимыми компонентами, прошедшими

сквозь сорбционный барьер или образовавшимися в результате биохимической трансформации. Этот фильтрат поступает в пластовый дренаж, где происходит его аккумуляция и транспортировка к дренажным трубам. При этом качество сточных вод по ряду химических показателей, на этом этапе, может изменяться за счет процессов выщелачивания минеральных компонентов из дренирующих материалов, это может наблюдаться особенно в период начала эксплуатации системы.

Выбор схемы дренажной системы для искусственных зеленых зон зависит от целевой функции объекта. Классическая система пластового дренажа используется для спортивных полей и интенсивно используемых газонов. Основная задача данной системы максимально быстро принять и отвести водный поток, предотвращая переувлажнение поверхностного слоя. Система почвенной фильтрации и дренажа применяется на полях фильтрации и экологически ориентированных объектах, где акцент делается на обеспечении длительного контакта воды с почвенным слоем. Технологические схемы таких объектов в основе содержат обобщенные конструктивные характеристики такие как: дерновой покров и растительный слой под определенным углом наклона, слой плодородного почвогрунта, изолирующие слои и систему перфорированных труб. На рисунке 1 представлена типовая схема послойного строения искусственной зеленой зоны с дренажной системой, с указанием диапазона мощностей слоев, демонстрирующая данный принцип. В зависимости от целевого назначения объекта и гидрогеологических условий состав, мощность отдельных слоев и угол наклона могут варьироваться, однако общая последовательность заложения сохраняется.

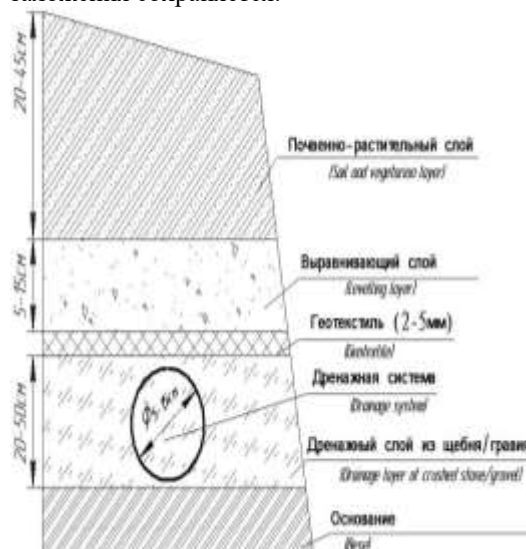


Рисунок 1. Обобщенная последовательность слоев при организации зеленых зон с отводом ливневых сточных вод

Figure1. The fundamental sequence of layers in the organization of sports grounds with stormwater drainage

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Таким образом, эффективность дренажной системы определяется корректными расчетами гидравлических параметров с учетом фильтрационных свойств вмещающих слоев и специфики растительного покрова. Сточные воды, отводимые с искусственной зеленой зоны, представляют собой не просто излишки атмосферной влаги, а сложную многокомпонентную систему. Следовательно, при проектировании систем отвода и дальнейшей утилизации или очистки дренажных вод с зеленых зон необходимо учитывать не только их гидравлический объем, но и потенциальный химико-биологический состав, который может варьироваться в зависимости от стадии эксплуатации и региональных условий.

Классическим природо-инженерным решением для доочистки предварительно осветленных сточных вод на объектах локальной канализации являются поля подземной фильтрации, регламентируемые согласно СП 32.13330.2018. Механизм очистки в таких системах является многоступенчатым: после распределения через перфорацию водный поток проходит слой загрузки и естественный грунт. Эффективность и долговечность полей фильтрации зависят от соблюдения гидрогеологических ограничений и корректной нагрузки на систему; нарушение этих требований может привести к заиливанию и выводу системы из строя. В условиях плотной застройки и ужесточения экологических требований, основными недостатками полей фильтрации являются значительная занимаемая территория, сезонность и риск загрязнения грунтовых вод.

В отличие от полей фильтрации, спортивные газоны, организованные как многослойная дренажная конструкция, обладают рядом преимуществ, поскольку они осуществляют доочистку ливневых сточных вод и выполняют рекреационную функцию. Вопрос, связанный с отведением ливневых стоков, на сегодняшний день,

является актуальным для городских агломераций, в которых применяется общесплавная система отвода, что с экологической и экономической точки зрения нецелесообразно. Встраивание спортивных газонов в систему обращения с ливневыми потоками с возможностью регулирования водного режима территории, который может быть использован для их же обслуживания, является перспективным экологическим решением. Технологические решения в области почвенной очистки сосредоточены на переходе от пассивной очистки к многофункциональным модулям интегрированных в экологический каркас территории. Высокая плотность размещения спортивных объектов в структуре урбанизированных территорий делает их основой для внедрения природоподобных технологий в области водоотведения и водоподготовки.

Дренажный сток со спортивной площадки по качественным характеристикам является специфическим, за счет природных и антропогенных факторов. В отличие от ливневого стока с городских территорий, характеризующегося комплексом химических загрязнений [29], сток со спортивных газонов отличается относительной стабильностью состава. Его основными загрязняющими компонентами являются взвешенные вещества минерального происхождения, которые вымываются из дренирующего слоя при интенсивном водном потоке. Качественная характеристика дренажного стока спортивного газона, расположенного на территории Санкт-Петербурга представлена в таблице 2.

Ключевой особенностью этого потока является минимальное содержание специфических антропогенных загрязнителей, что связано с отработанным регламентом по использованию и применению различных удобрений. Это кардинально отличает сток с сельскохозяйственных угодий и ряда других антропогенных объектов, в том числе городских газонов. При использовании обслуживающей техники возможно незначительное поступление нефтепродуктов, однако их содержание не является определяющим для качественной характеристики стока.

Таблица 2

Качественная характеристика дренажного стока со спортивного газона на территории г.Санкт-Петербурга и товарного почвогрунта

Table 2

Quality characteristics of drainage runoff from sports turf in St. Petersburg

Показатель Indicator	Ед. измерения Unit of measurement	Результат (спортивное поле) Result (sports field)	Неопр-ть Uncertainty (P=0,95)	Результат (вытяжка из товарного почвогрунта) Result (extraction from commercial soil)	Неопр-ть Uncertainty (P=0,95)
pH	Ед. pH	6,8	±0,02	6,2	±0,05
Взвешенные вещества suspended substances	мг/дм ³	64,15	±6,42	20,7	±4,2
БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	181,0	±17,0	206,3	±12,1
ХПК	мгО ₂ /дм ³	385	±54	458	±18,2
Азот общий common nitrogen	мг/дм ³	35,18	±5,28	40,5	±2
Фосфор общий total phosphorus	мг/дм ³	6,03	±1,81	8,3	±1,6

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculation

Важным показателем фильтрационного потока спортивной площадки является высокое содержание растворенного кислорода и слабощелочная среда (pH 6,8). Высокое содержание кислорода обусловлено хорошей аэрацией почвенного слоя и применением известковых материалов для регулирования кислотности плодородных слоев. Значение показателя БПК₅ свидетельствует о участии легкоокисляемой органики в почвенных процессах, с изменением содержания ее в почвенных водах. При этом основным источником органического вещества для этой системы являются гуминовые кислоты, продукты естественного разложения остатков травяного покрова и продукты деструкции используемого почвенного слоя.

Для оценки значимости различий между показателями качества дренажного стока (n = 14) и водной вытяжки из товарного почвогрунта (n = 3) использовали t-критерий Стьюдента для независимых выборок. Установлено, что различия между группами по большинству показателей (pH, БПК₅, ХПК, азот общий, фосфор общий) статистически не значимы (p > 0,05). Исключение составили взвешенные вещества, для которых различия оказались значимыми (t = 4,12, df = 15, p < 0,05), что объясняется присутствием в натурном дренажном стоке минеральной мелкодисперсной

примеси, вымываемой из дренирующих слоев. Отсутствие значимых различий по органическим показателям свидетельствует об аналогии в закономерности формирования органической составляющей фильтрационных вод в исследованных системах.

Сравнение полученных значений с нормативами допустимого сброса в городскую канализацию (Постановление Правительства РФ № 644) показало, что дренажный сток соответствует требованиям по содержанию взвешенных веществ (64,15 мг/дм³ при норме до 100 мг/дм³) и pH (6,8 при диапазоне 6,5–8,5). Однако значения БПК₅ (181 мгО₂/дм³) и ХПК (385 мгО₂/дм³) превышают нормативы для сброса в централизованную систему водоотведения. Это обстоятельство является важным обоснованием для организации локальных систем очистки, обеспечивающих подготовку стока к сбросу в водных объект или системы канализации, либо доведение его до качества, которое будет соответствовать техническим условиям для использования в оборотных системах полива.

Лабораторная водная вытяжка имеет близкие характеристики к натуральному стоку, однако на начальной стадии в неустановившемся режиме наблюдаются повышенные значения БПК₅ и ХПК. Это объясняется высоким содержанием подвижной органической фазы почвенного

субстрата. Данный факт указывает на необходимость создания условий для перехвата органических веществ на разных этапах эксплуатации, предотвращая их поступление в водные системы. Удержание этих компонентов требует комплекса дополнительных физико-химических мероприятий, что не всегда предусмотрено условиями эксплуатации спортивного поля. Данное обстоятельство следует учитывать для вновь разрабатываемых объектов в системе управления качеством стока и включать дополнительные механизмы за счет биогеохимической сорбции, трансформации и разбавления воды в системе (почва-мембрана-дренаж). Качество конечного стока определяется эффективностью работы всей многослойной системы, что позволяет рассматривать спортивное поле управляемой моделью и аналогом для изучения миграции веществ в искусственных зеленых зонах.

Более сложным инженерным объектом, организованным по схожим принципам, является рекультивируемый полигон ТКО на завершающей биологической стадии. Его конструкция имеет технологическое подобие в последовательности операций по его заложению со спортивной площадкой. Технологическая аналогия заключается в использовании схожего принципа: создание многослойной системы с уклоном, где верхний растительный слой опирается на комплекс дренирующих, разделительных и защитных прослоек. Устройство дренажной системы на стадии биологической рекультивации полигона представляет собой сложную комплексную систему, направленную на обеспечение долгосрочной изоляции отходов и восстановление экологической функции территории, причем для этих целей могут быть использованы как природные материалы, так и материалы техносферного происхождения.

Отличие от спортивного поля заключается в целевой функции дренажной системы. Для спортивной площадки дренаж обеспечивает удаление влаги из полифункциональных слоев; этот процесс должен происходить достаточно быстро и не создавать проблем при эксплуатации верхнего слоя. Для рекультивируемого объекта наиболее значимой функцией является качественное предотвращение попадания влаги в тело полигона и недопущение смешения дренажных вод со специфическим фильтратом основной массы ТКО. В связи с этим скорость фильтрации может отличаться и быть существенно ниже, обеспечивая аэро-капиллярный режим почвенного слоя. Конструктивно это реализуется за счет создания определенных слоев, выполняющих дополнительную функцию.

Основу многослойной системы составляет противофильтрационный экран, который является ключевым элементом. Обычно он представлен

геомембраной из полиэтилена высокой плотности, образующей барьер от миграции загрязнений. Поверх этого экрана укладывается защитно-дренирующий слой, который защищает геомембрану от механических повреждений и отводит влагу, что и является фильтрационным потоком. Отвод воды осуществляется через сеть перфорированных дренажных труб в накопительный резервуар с последующей передачей на локальные очистные сооружения. Завершающим слоем служит почвенно-растительный покров, на котором высаживаются растения, характерные для данной климатической зоны, определяющие степень транспирации и стабильность структуры почвенного слоя.

Несмотря на обширную нормативную регламентацию проектирования и устройства дренажных систем для объектов рекультивации, качественная характеристика образующегося дренажного стока практически не представлена в открытых научных источниках и открытых официальных отчетах.

Как показали слушания на международном форуме «Экология большого города» 2026 года основной акцент по очистке сточных вод смещен на исследование фильтрата из тела полигона. Состав этих вод хорошо изучен и характеризуется сложным химическим составом и высокой вариабельностью токсичности [30,31]. Для управления качеством сточных вод с полигона целесообразно рассматривать отдельные механизмы образования: фильтрат из тела полигона, ливневые воды, дренажные воды и фильтрационные воды от стадии биологической рекультивации. Это позволит оценить общие и отдельные потоки для целей целевого применения механизмов регулирования качества, включая токсичность.

В связи с отсутствием систематических данных о дренажном стоке с рекультивируемого полигона, результаты исследования качества стока со спортивного поля могут быть использованы как референтные для отработки технологических решений по организации систем водоотведения и подготовки для повторного использования этих вод для обслуживания территорий. Общность конструктивных решений (почвенно-растительный слой — дренаж — основание) и установленное сходство закономерностей формирования фильтрационных вод (статистически незначимые различия по органическим и биогенным показателям между натурным стоком и водной вытяжкой из почвогрунта) позволяют предполагать, что спортивное поле можно рассматривать в качестве управляемой модели прогнозирования состава стока на рекультивируемых объектах.

Качественные характеристики дренажного стока со спортивного газона (табл. 2) могут быть

приняты как фоновые значения для подобных многослойных систем. Отклонения показателей дренажного стока с рекультивируемого полигона от этого условного фона будут количественной мерой влияния изолирующих слоев (их гранулометрического состава) и степени сохранности защитных барьеров. Таким образом, использование достаточно хорошо изученной системы в качестве аналитической модели, для развития понимания процессов, происходящих в исследуемых объектах, позволит оценить специфические особенности механизмов образования фильтрационного потока, а также механизмов формирования вмещающих органогенных слоев. Это является объектом дальнейшего исследования в лабораторных условиях по отработке природоподобных технологий с формированием новых органогенных слоев многофункционального назначения.

Заключение

Таким образом, в работе были рассмотрены региональные особенности создания различных типов искусственных зеленых зон, а также были систематизированы их конструктивные особенности. Установлено, что универсальной модели организации таких объектов не существует; технологические решения разрабатываются с учетом климатической зоны, типа естественных и искусственных грунтов, гидрогеологических условий и интенсивности антропогенной нагрузки, что непосредственно влияет на механизм формирования фильтрационного стока и его качественные характеристики.

Система вмещающих слоев определяет качественный состав воды, который зависит от совокупности процессов, происходящих внутри конструкции (ионный обмен, сорбция, фильтрация). Особое значение при разработке новых технологических решений имеет биохимическая трансформация органических веществ, процесс выщелачивания минеральных компонентов из дренирующих материалов, что накладывает дополнительные требования при исследовании

природоподобных технологий в экосистемах. Однако, экспериментальные исследования дренажного стока со спортивного газона в условиях Санкт-Петербурга показали, что при соблюдении регламентов эксплуатации и использования экологически безопасных материалов, позволяет формировать сточные воды достаточно стабильного состава. Содержание растворенного кислорода и минимальное количество специфических антропогенных загрязнителей можно регулировать в процессе эксплуатации. По качественным характеристикам этот поток можно отнести к слабозагрязненному, что позволяет реализовывать технологии илочистки по аналогии с природными поверхностными водами данного региона.

Исследования лабораторных систем почвогрунтов выявили корреляцию по интегральным показателям качества водных систем, из чего был сделан вывод об общности характера формирования фильтрационных вод. Для управления качеством образующихся потоков необходимы долговременные исследования и объём данных на разных стадиях жизненного цикла объекта. Внесение новых субстратов в почвенные слои может давать отклонения от ожидаемых концентраций основных компонентов в установившемся режиме фильтрации.

Установлена, технологическая аналогия в конструктивном устройстве спортивного поля и рекультивируемого полигона. Такое сравнение позволяет рассматривать спортивное поле в качестве аналитической модели, для прогнозирования миграционных процессов в более сложных природоподобных системах. Практическая значимость работы заключается в расширении представлений о реализации природоподобного проектирования на урбанизированных территориях. Полученные данные позволяют прогнозировать характеристики основного стока при проектировании и эксплуатации искусственных зеленых зон.

Список литературы

1. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России). Национальный проект «Экология». – URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/np_ecology/ (дата обращения: 06.10.2025).
2. Федеральный проект «Формирование комфортной городской среды» // Проектная дирекция Минстроя России. – URL: <https://pdminstroy.ru/federalniy-proekt-fkgs> (дата обращения: 07.10.2025).
3. Гагарина Е.С. Зеленая инфраструктура и экосистемные услуги в устойчивом развитии городов // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2023. – № 1(62). – С. 228–247. – DOI: 10.24412/1998-4839-2023-1-228-247.
4. Гайнулова Д.В. Подходы к проектированию локальных очистных сооружений в условиях плотной застройки // *Universum: технические науки*. – 2025. – Т. 4. – № 133. – С. 37–40. – DOI: 10.32743/UniTech.2025.133.4.19641.

5. Halecki W., Stachura T., Fudała W. Redefining urban spaces in stormwater assessment through ecosystem management: A narrative review. *Ambio*. 2025; 54(9): 1450-1472. DOI: 10.1007/s13280-025-02156-2.
6. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С., Мельник К.С. Оценка влияния урбанизации на годовой сток и качество вод в мире и на континентах // *Известия РАН. Серия географическая*. – 2022. – Т. 86. – № 3. – С. 470–480. – DOI: 10.31857/S2587556622030098.
7. Yadav S., Ambastha S., Pipil H. et al. Deciphering the Sustainable Stormwater Management Strategies for Urban Areas: a Review. *Water Resources Management*. 2025; 39: 2971-2991. DOI: 10.1007/s11269-025-04222-6.
8. Tota-Maharaj K., Rathnayake U., Karunanayake C., Cheddie D., Azamathulla H.M. Exploring granular filter media in sustainable drainage systems (SuDS) for stormwater pollutant adsorption: A pilot study. *Chemical Engineering Research and Design*. 2024; 210: 437-444. DOI: 10.1016/j.cherd.2024.08.035.
9. Веницианов Е.В., Аджиенко Г.В., Возняк А.А., Чиганова М.А. Современные проблемы оценки и прогноза качества поверхностных вод на урбанизированных территориях // *Водное хозяйство России*. – 2018. – № 1. – С. 47–59.
10. Потокина М.В., Стрекалова Т.А., Веретнова Т.А., Степанов А.Г., Будник Е.В. Анализ использования отходов IV—V класса опасности и осадков сточных вод при рекультивации нарушенных земель // *Проблемы региональной экологии*. – 2025. – № 1. – С. 73–77. – DOI: 10.24412/1728-323X-2025-1-73-77.
11. Юрк В.М., Шашкова А.А., Снегирев В.А., Третьякова Н.А. Оценка возможности использования гидролизного лигнина для биологической рекультивации // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. – 2025. – Т. 33. – № 3. – С. 298–311. – DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-298-311.
12. Ковязин В.Ф., Пасько О.А., Борисова А.О., Нгуен Ч.А. Совершенствование метода инвентаризации земель рекреационных зон на примере парка Сосновка города Санкт-Петербург // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2025. – Т. 336. – № 4. – С. 169–178. – DOI: 10.18799/24131830/2025/4/4935.
13. Essien A.E., Guo Y., Khafagy M. et al. Design and hydrologic performance estimation of highway filter drains using a novel analytical probabilistic model. *Scientific Reports*. 2024; 14: Art.6477. DOI: 10.1038/s41598-024-56781-0.
14. Лебедева М.А. Экологический каркас региона: количественный и качественный аспекты // *Вопросы территориального развития*. – 2024. – Т. 12. – № 2. – С. 1–13. – DOI: 10.15838/tdi.2024.2.66.3.
15. Zhang L., Yu H., Zhong Q., Zhang G., Wang Z., Zhang Q. Ecological flow-driven multifunctionality: A Nature-based Solutions framework for urban ecological corridor planning in high-density cities. *Ecological Indicators*. 2025; 179: Art.114224. DOI: 10.1016/j.ecolind.2025.114224.
16. Спирин П.П. Эколого-ориентированное планирование в градостроительстве: значение и перспективы применения // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. – 2025. – Т. 10. – № 9. – С. 47–61. – DOI: 10.34031/2071-7318-2025-9-9-47-61.
17. Дрегуло А.М. Идентификация объектов накопленного вреда окружающей среде на основе первичных индикативных признаков деградации подземного пространства // *Географический вестник*. – 2024. – № 3 (70). – С. 125–138. – DOI: 10.17072/2079-7877-2024-3-125-138.
18. Hou D., Al-Tabbaa A., O'Connor D. et al. Sustainable remediation and redevelopment of brownfield sites. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2023; 4: 271-286. DOI: 10.1038/s43017-023-00404-1.
19. Лапушкин М.Ю. Рекультивация нарушенных земель как часть государственной экологической политики // *Международный технико-экономический журнал*. – 2020. – № 3. – С. 32–38. – DOI: 10.34286/1995-4646-2020-72-3-32-38.
20. Seidu S., Chan D.W.M., Taiwo R. Integrating green and grey infrastructure systems in dense urban regions: a synthesis of critical barriers and effective implementation guidelines. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2025; 27: 7555-7576. DOI: 10.1007/s10098-025-03309-3.
21. Егорова О.В., Нужина И.П., Каверзина Л.А., Никифорова В.А. Анализ и оценка уровня озеленения территории как фактора качества городской среды // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. – 2024. – № 2. – С. 301–309. – URL: <https://vael.ru/ru/article/view?id=3289> (дата обращения: 15.02.2026).
22. Zhang J., Zhang P., Liu Y. et al. A strategy for green infrastructure network based on multifunctional synergy. *Ecological Frontiers*. 2025; 45(2): 483-496. DOI: 10.1016/j.ecofro.2024.11.013.
23. Дубино А.М. Зарубежный опыт включения водно-зеленого каркаса в градостроительную документацию // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2025. – № 3(72). – С. 275–292. – DOI: 10.24412/1998-4839-2025-3-275-292.
24. Batista G.S., Rocha E.G., Lacerda M.C., Barros Filho M.N.M., Calheiros C.S.C. Applications of floating treatment wetlands for remediation of rainwater and polluted waters: a systematic review and bibliometric analysis. *Wetlands Ecology and Management*. 2025; 33: Art.27, pp.26-49. DOI: 10.1007/s11273-025-10042-7.

25. Enzi V., Manso M., Aires A., Almalla R., Catalano C., et al. Implementing green roofs and walls: lessons from European experiences / Vierikko K., Orta-Ortiz M.S., Nieminen H., Vasilakopoulos P., Velasco Gomez D.M. (editors). Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2026. 114 p. DOI: 10.2760/8059292.
26. Гвоздева О.В., Рассказова А.А., Цуриков И.М., Чуксин И.В. Информационное обеспечение паспортизации объектов городского хозяйства на территории г. Москвы // Московский экономический журнал. – 2025. – № 4. – С. 66–92. – DOI: 10.55186/2413046X_2025_10_4_95.
27. Тесленок С.А., Фролов А.С. Особенности создания карты зеленых насаждений города Ханты-Мансийска в среде GIS NextGIS // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия «Науки о Земле». – 2024. – № 4. – С. 120–137. – DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-120-137.
28. Гашкина Н.А., Моисеенко Т.И., Дину М.И., Таций Ю.Г., Баранов Д.Ю. Биогеохимическая миграция элементов в системе атмосферные осадки – кроновые воды – почвенные воды – озеро в фоновом регионе (Валдайский национальный парк) // Геохимия. – 2020. – Т. 65. – № 7. – С. 693–710. – DOI: 10.31857/S0016752520050027.
29. Сабылина А.В., Ефремова Т.А., Икко О.И. Химический состав поверхностных сточных и речных вод, поступающих с территории города Петрозаводска в Онежское озеро // Известия Русского географического общества. – 2022. – Т. 154. – № 4. – С. 39–53. – DOI: 10.31857/S0869607122040073.
30. Минашкина А.В., Кондратенко С.В. Изменчивость химических показателей фильтрационных вод полигона твердых коммунальных отходов в пос. им. А. Космодемьянского Калининградской области // Гидрометеорология и экология. – 2021. – № 64. – С. 558–574. – DOI: 10.33933/2713-3001-2021-64-558-574.
31. Awino F.B., Garland G. Occurrence of emerging and persistent organic pollutants in dumpsite environments: A review. *Environmental Challenges*. 2025; 18: Art.101094. DOI: 10.1016/j.envc.2025.101094.

References

1. Ministerstvo prirodnikh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii (Minprirody Rossii). Natsional'nyy projekt «Ekologiya». [National Project «Ecology»]. (In Russ.). URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/np_ecology/ (accessed: 06.10.2025).
2. Federal'nyy projekt «Formirovanie komfortnoy gorodskoy sredy». [Federal Project «Formation of a comfortable urban environment»]. Proektnaya direktsiya Ministroya Rossii. (In Russ.). URL: <https://pdminstroy.ru/federalniy-proekt-fkgs> (accessed: 07.10.2025).
3. Gagarina E.S. Zelenaya infrastruktura i ekosistemnye uslugi v ustoychivom razvitii gorodov. [Green infrastructure and ecosystem services in sustainable urban development]. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2023;(1(62)):228-247. (In Russ.). DOI: 10.24412/1998-4839-2023-1-228-247.
4. Gaynulova D.V. Podkhody k proektirovaniyu lokal'nykh ochistnykh sooruzheniy v usloviyakh plotnoy zastroyki. [Approaches to the design of local treatment facilities in dense urban areas]. *Universum: tekhnicheskie nauki = Universum: technical sciences*. 2025;4(133):37-40. (In Russ.). DOI: 10.32743/UniTech.2025.133.4.19641.
5. Halecki W., Stachura T., Fudała W. Redefining urban spaces in stormwater assessment through ecosystem management: A narrative review. *Ambio*. 2025;54(9):1450-1472. DOI: 10.1007/s13280-025-02156-2.
6. Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Zaytseva I.S., Mel'nik K.S. Otsenka vliyaniya urbanizatsii na godovoy stok i kachestvo vod v mire i na kontinentakh. [Assessment of the impact of urbanization on annual runoff and water quality in the world and on continents]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*. 2022;86(3):470-480. (In Russ.). DOI: 10.31857/S2587556622030098.
7. Yadav S., Ambastha S., Pipil H. et al. Deciphering the Sustainable Stormwater Management Strategies for Urban Areas: a Review. *Water Resources Management*. 2025;39:2971-2991. DOI: 10.1007/s11269-025-04222-6.
8. Tota-Maharaj K., Rathnayake U., Karunanayake C., Cheddie D., Azamathulla H.M. Exploring granular filter media in sustainable drainage systems (SuDS) for stormwater pollutant adsorption: A pilot study. *Chemical Engineering Research and Design*. 2024;210:437-444. DOI: 10.1016/j.cherd.2024.08.035.
9. Venitsianov E.V., Adzhienko G.V., Voznyak A.A., Chiganova M.A. Sovremennyye problemy otsenki i prognoza kachestva poverkhnostnykh vod na urbanizirovannykh territoriyakh. [Modern problems of assessment and forecast of surface water quality in urbanized areas]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii = Water Sector of Russia*. 2018;(1):47-59.
10. Potokina M.V., Strekalova T.A., Veretnova T.A., Stepanov A.G., Budnik E.V. Analiz ispol'zovaniya otkhodov IV—V klassa opasnosti i osadkov stochnykh vod pri rekul'tivatsii narushennykh zemel'. [Analysis of the use of hazard class IV—V waste and sewage sludge in the remediation of disturbed lands]. *Problemy regional'noy ekologii = Problems of Regional Ecology*. 2025;(1):73-77. (In Russ.). DOI: 10.24412/1728-323X-2025-1-73-77.
11. Yurk V.M., Shashkova A.A., Snegirev V.A., Tret'yakova N.A. Otsenka vozmozhnosti ispol'zovaniya gidroliznogo lignina dlya biologicheskoy rekul'tivatsii. [Assessment of the possibility of using hydrolytic lignin for biological remediation]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost'*

- zhiznedeyatel'nosti = Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and Life Safety.* 2025;33(3):298-311. (In Russ.). DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-298-311.
12. Kovyazin V.F., Pas'ko O.A., Borisova A.O., Nguen Ch.A. Sovershenstvovanie metoda inventarizatsii zemel' rekreatsionnykh zon na primere parka Sosnovka goroda Sankt-Peterburg. [Improvement of the method of inventory of recreational land on the example of Sosnovka Park in St. Petersburg]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Geoengineering.* 2025;336(4):169-178. (In Russ.). DOI: 10.18799/24131830/2025/4/4935.
 13. Essien A.E., Guo Y., Khafagy M. et al. Design and hydrologic performance estimation of highway filter drains using a novel analytical probabilistic model. *Scientific Reports.* 2024;14: Art.6477. DOI: 10.1038/s41598-024-56781-0.
 14. Lebedeva M.A. Ekologicheskii karkas regiona: kolichestvennyy i kachestvennyy aspekty. [Ecological framework of the region: quantitative and qualitative aspects]. *Voprosy territorial'nogo razvitiya = Issues of Territorial Development.* 2024;12(2):1-13. (In Russ.). DOI: 10.15838/tdi.2024.2.66.3.
 15. Zhang L., Yu H., Zhong Q., Zhang G., Wang Z., Zhang Q. Ecological flow-driven multifunctionality: A Nature-based Solutions framework for urban ecological corridor planning in high-density cities. *Ecological Indicators.* 2025;179: Art.114224. DOI: 10.1016/j.ecolind.2025.114224.
 16. Spirin P.P. Ekologo-orientirovannoe planirovanie v gradostroitel'stve: znachenie i perspektivy primeneniya. [Ecologically-oriented planning in urban planning: significance and application prospects]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova = Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov.* 2025;10(9):47-61. (In Russ.). DOI: 10.34031/2071-7318-2025-9-9-47-61.
 17. Dregulo A.M. Identifikatsiya ob'ektov nakoplennoy vreda okruzhayushchey srede na osnove pervichnykh indikativnykh priznakov degradatsii podzemnogo prostranstva. [Identification of objects of accumulated environmental damage based on primary indicative signs of underground space degradation]. *Geograficheskii vestnik = Geographical Bulletin.* 2024;(3(70)):125-138. (In Russ.). DOI: 10.17072/2079-7877-2024-3-125-138.
 18. Hou D., Al-Tabbaa A., O'Connor D. et al. Sustainable remediation and redevelopment of brownfield sites. *Nature Reviews Earth & Environment.* 2023;4:271-286. DOI: 10.1038/s43017-023-00404-1.
 19. Lapushkin M.Yu. Rekul'tivatsiya narushennykh zemel' kak chast' gosudarstvennoy ekologicheskoy politiki. [Remediation of disturbed lands as part of the state environmental policy]. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskii zhurnal = International Technical and Economic Journal.* 2020;(3):32-38. (In Russ.). DOI: 10.34286/1995-4646-2020-72-3-32-38.
 20. Seidu S., Chan D.W.M., Taiwo R. Integrating green and grey infrastructure systems in dense urban regions: a synthesis of critical barriers and effective implementation guidelines. *Clean Technologies and Environmental Policy.* 2025;27:7555-7576. DOI: 10.1007/s10098-025-03309-3.
 21. Egorova O.V., Nuzhina I.P., Kaverzina L.A., Nikiforova V.A. Analiz i otsenka urovnya ozeleneniya territorii kak faktora kachestva gorodskoy srede. [Analysis and assessment of the level of landscaping as a factor of urban environment quality]. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava = Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law.* 2024;(2):301-309. (In Russ.). URL: <https://vaael.ru/ru/article/view?id=3289> (accessed: 15.02.2026).
 22. Zhang J., Zhang P., Liu Y. et al. A strategy for green infrastructure network based on multifunctional synergy. *Ecological Frontiers.* 2025;45(2):483-496. DOI: 10.1016/j.ecofro.2024.11.013.
 23. Dubino A.M. Zarubezhnyy opyt vkluycheniya vodno-zelenogo karkasa v gradostroitel'nyuyu dokumentatsiyu. [Foreign experience of incorporating the water-green framework into urban planning documentation]. *Architecture and Modern Information Technologies.* 2025;(3(72)):275-292. (In Russ.). DOI: 10.24412/1998-4839-2025-3-275-292.
 24. Batista G.S., Rocha E.G., Lacerda M.C., Barros Filho M.N.M., Calheiros C.S.C. Applications of floating treatment wetlands for remediation of rainwater and polluted waters: a systematic review and bibliometric analysis. *Wetlands Ecology and Management.* 2025;33: Art.27, pp.26-49. DOI: 10.1007/s11273-025-10042-7.
 25. Enzi V., Manso M., Aires A., Almalla R., Catalano C., et al. Implementing green roofs and walls: lessons from European experiences. Vierikko K., Orta-Ortiz M.S., Nieminen H., Vasilakopoulos P., Velasco Gomez D.M. (eds.). Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2026. 114 p. DOI: 10.2760/8059292.
 26. Gvozdeva O.V., Rasskazova A.A., Tsurikov I.M., Chuksin I.V. Informatsionnoe obespechenie pasportizatsii ob'ektov gorodskogo khozyaystva na territorii g. Moskvy. [Information support for certification of urban economy objects in Moscow]. *Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal = Moscow Economic Journal.* 2025;(4):66-92. (In Russ.). DOI: 10.55186/2413046X_2025_10_4_95.
 27. Teslenok S.A., Frolov A.S. Osobennosti sozdaniya karty zelenykh nasazhdeniy goroda Khanty-Mansiyska v srede GIS NextGIS. [Features of creating a map of green spaces in Khanty-Mansiysk in the GIS NextGIS environment]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. Seriya «Nauki o Zemle» = Bulletin of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov. Series «Earth Sciences».* 2024;(4):120-137. (In Russ.). DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-120-137.

28. Gashkina N.A., Moiseenko T.I., Dinu M.I., Tatsiy Yu.G., Baranov D.Yu. Biogekhimicheskaya migratsiya elementov v sisteme atmosferynye osadki – kronovye vody – pochvennye vody – ozero v fonovom regione (Valdayskiy natsional'nyy park). [Biogeochemical migration of elements in the system atmospheric precipitation – throughfall – soil water – lake in a background region (Valdai National Park)]. *Geokhimiya = Geochemistry*. 2020;65(7):693-710. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0016752520050027.
29. Sabylina A.V., Efremova T.A., Ikko O.I. Khimicheskiy sostav poverkhnostnykh stochnykh i rechnykh vod, postupayushchikh s territorii goroda Petrozavodsk v Onezhskoe ozero. [Chemical composition of surface wastewater and river water entering Lake Onega from the territory of Petrozavodsk]. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva = Proceedings of the Russian Geographical Society*. 2022;154(4):39-53. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0869607122040073.
30. Minashkina A.V., Kondratenko S.V. Izmenchivost' khimicheskikh pokazateley fil'tratsionnykh vod poligona tverdykh kommunal'nykh otkhodov v pos. im. A. Kosmodemyanskogo Kaliningradskoy oblasti. [Variability of chemical parameters of filtration water of a solid municipal waste landfill in the settlement named after A. Kosmodemyansky, Kaliningrad region]. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and Ecology*. 2021;(64):558-574. (In Russ.). DOI: 10.33933/2713-3001-2021-64-558-574.
31. Awino F.B., Garland G. Occurrence of emerging and persistent organic pollutants in dumpsite environments: A review. *Environmental Challenges*. 2025;18: Art.101094. DOI: 10.1016/j.envc.2025.101094.

Сведения об авторах

✉ Мазурик Дарья Игоревна – аспирант кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, 198095, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3550-6062>, e-mail: mazurikdi@mail.ru.

Дягилева Алла Борисовна – доктор химических наук, профессор кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, 198095, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5983-4550>, e-mail: abdiag@mail.ru.

Information about the authors

✉ Daria I. Mazurik – Postgraduate student at the Department of Cellulose Technology and Composite Materials, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivan Chernykh Street, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3550-6062>, e-mail: mazurikdi@mail.ru.

Alla B. Dyagileva – Doctor of Chemical Sciences, Professor at the Department of Environmental Protection and Rational Use of Natural Resources, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivan Chernykh Street, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5983-4550>, e-mail: abdiag@mail.ru.

✉ Для контактов / Corresponding author