

СТАТЬИ

УДК 502.35:504.53(470.23-25)
DOI 10.17513/use.38452

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЛОДОРОДИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ САДОВО-ПАРКОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Брянцев А.В. ORCID ID 0009-0002-2307-6326

*Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности
Российской академии наук – обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: briansev@ecosafety-spb.ru*

Почвы урбанизированных территорий являются важным элементом городских экосистем, но их качество и устойчивость подвергаются значительной антропогенной нагрузке, что требует комплексной оценки. Целью исследования является интегральная оценка плодородия и устойчивости урбаноземов и стратоземов на территории садово-парковых объектов Центрального района Санкт-Петербурга (Летний сад, Михайловский сад, Инженерный сквер). На основе доступных данных агрохимических значений рассчитан интегральный индекс плодородия почв по адаптированной методике (Приказ Минсельхоза РФ № 325 от 06.07.2017) с использованием референтных значений Технологического регламента Комитета по благоустройству Санкт-Петербурга. В качестве показателя устойчивости почв к антропогенным нагрузкам и их способности удерживать питательные элементы определена емкость катионного обмена. Результаты исследования показали, что интегральная оценка плодородия почв на всех рассматриваемых объектах соответствует среднему уровню, что является экологически оптимальным для данных условий, поскольку обеспечивает поддержание насаждений без риска чрезмерного накопления биогенных элементов. Выявлены потенциальные риски эвтрофикации водных объектов города, связанные с миграцией биогенов с поверхностным стоком. Рассчитанные значения емкости катионного обмена свидетельствуют о средней и высокой буферной емкости почв, что обеспечивает эффективное удержание катионов и снижает риск вымывания питательных веществ в гидросферу. Полученные результаты имеют практическую значимость для разработки стратегий управления садово-парковыми территориями мегаполисов.

Ключевые слова: урбаноземы, стратоземы, плодородие, устойчивость почв, садово-парковые территории, интегральная оценка, Санкт-Петербург

INTEGRATED ASSESSMENT OF SOIL FERTILITY AND SUSTAINABILITY IN GARDEN AND PARK TERRITORIES OF THE CENTRAL DISTRICT OF SAINT-PETERSBURG

Bryantsev A.V. ORCID ID 0009-0002-2307-6326

*St. Petersburg Scientific Research Center for Environmental Safety of the Russian Academy
of Sciences is a separate structural unit of the Federal State Budgetary Institution
“St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences”,
Saint-Petersburg, Russian Federation, e-mail: briansev@ecosafety-spb.ru*

Soils in urban areas serve as a vital component of urban ecosystems; however, their quality and stability face significant anthropogenic pressure, necessitating a comprehensive assessment. The aim of this study was to conduct an integrated evaluation of the fertility and stability of Urbic and Stratified soils within the garden and park areas of Central St. Petersburg (specifically, the Summer Garden, Mikhailovsky Garden, and Engineers' Square). Based on available agrochemical data, a comprehensive soil fertility index was calculated using an adapted methodology from Order No. 325 of the Russian Ministry of Agriculture (June 6, 2017), incorporating reference values from the Technical Standards of Saint Petersburg's Committee for Urban Improvement. The cation exchange capacity was determined as an indicator of soil resilience to anthropogenic pressure and nutrient retention capability. The findings demonstrate that the integrated soil fertility assessment across all studied sites corresponds to a moderate level, which is ecologically optimal under these conditions as it supports vegetation maintenance without risks of excessive nutrient accumulation. Potential risks of eutrophication in urban water bodies were identified, associated with nutrient migration through surface runoff. The calculated cation exchange capacity values indicate medium to high soil buffer capacity, ensuring effective cation retention and reducing the risk of nutrient leaching into the hydrosphere. The obtained results hold practical significance for developing management strategies for landscaped park areas in metropolitan environments.

Keywords: urbic soils, technosols, soil fertility, soil resilience, parklands, integrated assessment, St. Petersburg

Введение

На урбанизированных территориях, как и в естественных ландшафтах, почвы выступают ключевым элементом экосистем, в том числе урбоэкосистем. Их формирование определяется зонально-климатическими факторами почвообразования, но с доминирующим влиянием антропогенной деятельности [1]. Оценка и прогнозирование влияния урбанизации на почвенный покров и эффективности выполнения им экологических функций представляют собой приоритетную задачу для специалистов в области почвоведения [2]. Качество городских почв служит комплексным индикатором экологического состояния окружающей среды и потенциальным фактором вторичного загрязнения приземного слоя атмосферы, а также поверхностных и подземных вод [3; 4].

Территория Санкт-Петербурга относится к северной периферии Прибалтийской провинции дерново-подзолистых слабогумусированных и болотно-подзолистых почв [1]. Почвенный покров в пределах современных административных границ города отличается высокой пространственно-временной неоднородностью как компонентного состава, так и распределения почвенных ареалов [2]. Под воздействием урбанизированной среды природные факторы почвообразования претерпевают изменения: повышается среднегодовая температура воздуха, сглаживается рельеф, засыпаются мелкие водотоки [1]. Значительная часть площади занята искусственными почвами, созданными человеком и не имеющими аналогов в естественных ландшафтах. В результате

в Центральном районе города сформировался антропогенный слоистый субстрат толщиной до четырех метров и более [2; 5]. Эти образования классифицируются различными экспертами как почвогрунты, техноземы, урбаноземы и аналогичные структуры, отличающиеся разной степенью техногенного загрязнения [3]. В Центральном районе Санкт-Петербурга компактные ареалы почв с тонким насыпным гумусовым горизонтом встречаются во дворах и скверах, реже – вдоль проспектов, занимая менее 5% площади. В зеленых зонах центра, изначально заложенных как парки, преобладают почвы с мощным гумусовым насыпным горизонтом – стратоземы (рис. 1) [2; 6].

В мегаполисах зеленые насаждения в рекреационных зонах выполняют важные функции, включая фильтрацию атмосферы от загрязнителей и оптимизацию микроклиматических условий. В рекреационных зонах городов выделяют следующие подтипы:

- парки и скверы в городской черте с повышенной антропогенной нагрузкой;
- парки и скверы в пригородных районах мегаполиса [7].

Среди наиболее ценных рекреационных объектов Центрального района Санкт-Петербурга выделяются сады Русского музея: Летний сад, Михайловский сад и Инженерный сквер. Уникальность этих объектов, их историческая ценность, а также важность для обеспечения комфортной экологической среды обусловили внимание не только к состоянию зеленых насаждений, но и к почвам как к ключевому фактору, обеспечивающему растением рост и здоровое функционирование [8-10].



Рис. 1. Почвенная карта Центрального района Санкт-Петербурга
 Источник: выдержка из Почвенной карты Санкт-Петербурга (1:50000),
 авторы: Сухачева Е.Ю., Апарин Б.Ф., Андреева Т.А. СПбГУ. 2013 г.

Согласно Докладу об экологической ситуации в Санкт-Петербурге за 2024 г., показатель суммарного загрязнения (Zc), отражающий превышение содержания тяжелых металлов над фоновыми значениями, в Центральном районе составил 8,2. Индекс загрязнения почв (ИЗП) по всем исследованным показателям (тяжелые металлы, органические загрязнители), характеризующий превышение поллютантов над предельно допустимыми концентрациями (ПДК), равен 5,1, что указывает на высокий уровень загрязнения [11]. Кроме того, на 25 площадках в рекреационных зонах города были оценены ключевые агрохимические показатели плодородия почв (рН, содержание фосфора (P_2O_5), калия (K_2O), нитратного (NO_3^-) и аммонийного (NH_4^+) азота, гумуса). На обследованных площадках преобладают почвы с высоким содержанием гумуса (39% проб) и фосфора (58% проб). Доля почв с низким содержанием калия составляет 52%, нитратного азота – 38%. Уровень обеспеченности аммонийным азотом высокий во всех пробах (100%)².

Полученные результаты оценки плодородия почв неоднозначны: почвы хорошо обеспечены фосфором и в меньшей степени калием; значительная часть обладает нейтральной или слабощелочной реакцией среды, оптимальной для роста растений. Однако доля почв с высоким и очень высоким содержанием гумуса составляет менее половины проб. Данные мониторинга подтверждают актуальность заявленной темы.

Оценку качества природных сред принято проводить путем сравнения с аналогичной средой вне зоны возможных загрязнений (т.е. с природными или фоновыми содержаниями) либо путем сравнения с расчетными и официально утвержденными нормативно-правовыми показателями (такими как ПДК – предельно допустимые концентрации и ОДК – ориентировочно допустимые концентрации). В случае городских почв сравнение с фоновыми содержаниями затруднительно в связи с их искусственным происхождением. При этом для зеленых городских зон, в частности в Центральном районе Санкт-Петербурга, где преобладает насыпной гумусовый слой, а почвы подвер-

жены сильному антропогенному воздействию, сравнение показателей плодородия с ПДК также нецелесообразно, поскольку эти нормативы не отражают функционального назначения почв [3].

Одним из инструментов системной оценки почв садово-парковых территорий мегаполисов выступает индекс плодородия, представляющий собой количественную метрику способности почвенного субстрата выполнять главную для рекреационной экосистемы функцию – обеспечивать долгосрочную жизнеспособность зеленых насаждений.

Целью настоящего исследования является интегральная оценка плодородия и устойчивости почв садово-парковых территорий Центрального района Санкт-Петербурга (на примере Летнего сада, Михайловского сада и Инженерного сквера), выполненная на основе анализа доступных агрохимических показателей, расчета индекса плодородия и определения емкости катионного обмена.

Материалы и методы исследования

На основании анализа литературных источников для расчета интегральной оценки плодородия почв автором был принят метод согласно Приказу Минсельхоза РФ № 325 от 06.07.2017 г. и адаптирован для проведения настоящего исследования путем добавления параметра доступного азота. Также для расчета был выбран показатель устойчивости почв – емкость катионного обмена (ЕКО).

Проведение оценки обусловлено необходимостью комплексной диагностики состояния почвенного покрова в условиях интенсивной антропогенной нагрузки. Полученные данные позволяют разработать стратегии агроэкологического управления, направленные на снижение рисков деградации экосистем (включая водные), включая потерю плодородия, уменьшение буферной емкости почв и ослабление древесных насаждений.

В зависимости от способов применения и адаптации для городской среды индекс плодородия может называться по-разному, например: Soil Quality Index, Soil Fertility Index, Integrated Fertility Index [12-14]. Расчет производится путем объединения нескольких ключевых агрохимических параметров. Единой универсальной формулы не существует, но общий алгоритм расчета един для разных подходов.

² Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2024 году / Под редакцией К.А. Соловейчика, И.А. Себрицкого. СПб., 2025. 206 с. URL: https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2025/06/30/59/Доклад_СПб_за_2024.pdf (дата обращения: 07.09.2025).



Рис. 2. Расположение точек отбора проб на территории Летнего сада, Михайловского сада и Инженерного сквера
Примечание: составлено автором на основе источника [8]

ЕКО – это фундаментальное свойство почвы, количественно выражающее ее способность удерживать и обменивать с почвенным раствором положительно заряженные ионы. Урбаноземы часто характеризуются бедным гранулометрическим составом и низким содержанием гумуса, вследствие чего внесенные удобрения (K^+ , NH_4^+) не задерживаются в зоне корней и быстро вымываются, загрязняя водные экосистемы. ЕКО показывает, способны ли почвы «удерживать» внесенные элементы, что особенно важно для рекреационных зон Центрального района Санкт-Петербурга².

Объектом исследования являются почвы Летнего сада, Михайловского сада и Инженерного сквера, расположенные в Центральном районе Санкт-Петербурга. Значения pH, P_2O_5 , K_2O , NO_3^- , NH_4^+ , содержания гумуса, гидролитической кислотности и суммы обменных оснований, проанализированные в почвах заявленных объектов,

а также отбор проб осуществлялся сотрудниками Лаборатории методов реабилитации техногенных ландшафтов НИЦЭБ РАН – СПб ФИЦ РАН и представлен в публикации «Экотоксикологическая оценка почв садов Русского музея, Санкт-Петербург», вышедшей в журнале «Почвоведение». Исследование проводилось в летний период 2024 года (рис. 2) [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Интегральный индекс плодородия почвы (ИПП) рассчитывался как среднее арифметическое отношений фактических значений к оптимальным для пяти агрохимических показателей: pH, содержания подвижного фосфора (P_2O_5), обменного калия (K_2O), доступного азота ($NO_3^- + NH_4^+$) и гумуса.

Таблица 1

Фактические и оптимальные значения выбранных агрохимических показателей почв садов Русского музея

Объект исследования	pH, ед.		Гумус, %		P ₂ O ₅ , мг/100 г		K ₂ O, мг/100 г		NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ , мг/100 г	
	факт _i	оптим _i	факт _i	оптим _i	факт _i	оптим _i	факт _i	оптим _i	факт _i	оптим _i
Летний сад	7	6	5,2	5	43,1	15	15,1	15	7,5	8
Михайловский сад	7	6	6,7	5	33,9	15	35,7	15	11,7	8
Инженерный сквер	7,3	6	7,8	5	52,7	15	19,4	15	7,5	8

Примечание: составлено автором на основе полученных расчетов в ходе исследования, а также на основе источника [8] и Технологического регламента Комитета по благоустройству Санкт-Петербурга по содержанию территорий зеленых насаждений.

Расчет проведен в соответствии с формулой, опубликованной в Приказе Минсельхоза РФ № 325 от 06.07.2017 г.:

$$\text{ИПП} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{Фактическое значение}_i}{\text{Оптимальное значение}_i} \right),$$

где n – общее количество рассматриваемых агрохимических показателей;

фактическое значение i – это конкретное численное значение i -го показателя, которое получено в результате лабораторного анализа;

оптимальное значение i – это эталонное значение для i -го агрохимического показателя.

В качестве фактических значений выбранных параметров были использованы средние значения агрохимических показателей, рассчитанные для каждого объекта (Летнего сада, Михайловского сада, Инженерного сквера) на основе данных, опубликованных в работе «Экотоксикологическая оценка почв садов Русского музея, Санкт-Петербург» [8]. Такой подход обеспечивает репрезентативность оценки для всего участка, позволяет минимизировать влияние случайных вариаций, обусловленных, например, локальной неоднородностью почв, и соответствует принципам статистической обработки данных в агрохимии.

В качестве оптимальных значений агрохимических показателей были использованы нормативы, установленные Технологическим регламентом Комитета по благоустройству Санкт-Петербурга по содержанию территорий зеленых насаждений. Документ регламентирует целевые параметры плодородия, адаптированные к почвенно-климатическим условиям садово-парковых тер-

риторий города. Важно отметить, что Летний сад, Михайловский сад и Инженерный сквер, согласно классификации Регламента, относятся к объектам зеленых насаждений I категории. Критериями для отнесения к данной категории являются значительный социальный и исторический статус, а также крайне высокая рекреационная нагрузка, что обуславливает необходимость усиленного режима содержания³. С учетом повышенных требований для расчета ИПП были выбраны целевые значения, превышающие минимальные пороги, указанные в Регламенте, на 20–50%. Данный подход направлен на создание «агрохимического буфера» [15].

Фактические и оптимальные значения агрохимических показателей для Летнего сада, Михайловского сада и Инженерного сквера приведены в таблице 1. На основании этих данных был рассчитан интегральный индекс плодородия почв, значения которого представлены в таблице 2.

Емкость катионного обмена (ЕКО) рассчитывался суммированием двух параметров: суммы обменных оснований и гидролитической кислотности. Для расчета использовались средние значения указанных параметров, определенные для каждого объекта исследования (Летнего сада, Михайловского сада, Инженерного сквера) на основе данных, опубликованных в работе «Экотоксикологическая оценка почв садов Русского музея, Санкт-Петербург» [8]. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

³ Технологический регламент производства работ по содержанию территорий зеленых насаждений и ремонту расположенных на них объектов зеленых насаждений. Утвержден Комитетом по благоустройству Санкт-Петербурга 24.10.2024 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://gorod.gov.spb.ru/storage/2/165e5e5a-d018-46cf-96a6-af9cf6097811.pdf> (дата обращения: 05.09.2025).

Таблица 2

Результаты расчета интегрального индекса плодородия почв садов Русского музея

Объект исследования	Расчет индивидуальных соотношений, (факт _i / оптим _i)					Интерпретация результатов ИПП, уровень плодородия			
	pH	Гумус	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃ ⁻ +NH ₄ ⁺	низкий	средний	высокий	очень высокий
						<0,9	0,9-1,8	1,8-2,7	>2,7
Летний сад	1,167	1,04	2,873	1,007	0,938	-	1,4	-	-
Михайловский сад	1,167	1,340	2,260	2,380	1,463	-	1,7	-	-
Инженерный сквер	1,217	1,560	3,513	1,293	0,938	-	1,7	-	-

Примечание: составлено автором на основе полученных расчетов в ходе исследования, а также на основе источника [8] и Технологического регламента Комитета по благоустройству Санкт-Петербурга по содержанию территорий зеленых насаждений.

Таблица 3

Результаты расчета емкости катионного обмена почв садов Русского музея

Объект исследования	Гидролитическая кислотность, смоль/кг	Сумма обменных оснований, смоль/кг	Емкость катионного обмена, смоль/кг
Летний сад	1,9	22,6	24,5
Михайловский сад	1,6	26,4	28
Инженерный сквер	1,3	28	29,3

Примечание: составлено автором на основе полученных расчетов в ходе исследования, а также на основе источника [8].

Согласно полученным результатам, уровень плодородия почв во всех исследуемых садах можно охарактеризовать как средний. В Летнем саду наблюдается удовлетворительный баланс элементов питания при небольшом дефиците доступного азота; содержание калия находится на нижней границе оптимального диапазона. В Михайловском саду выявлен избыток калия и доступного азота. Для Инженерного сквера характерен небольшой дефицит доступного азота. При этом во всех исследуемых объектах отмечается общий избыток фосфора.

Емкость катионного обмена (ЕКО) в почвах садов Русского музея составила от 24,5 до 29,3 смоль/кг. Полученные значения соответствуют высокой категории для урбаноземов и указывают на средне-высокую емкость, что типично для насыпных гумусовых горизонтов с умеренной агрегацией. Такие показатели ЕКО обеспечивают эффективное удержание катионов и буферную емкость по отношению к антропогенным загрязнителям.

Выводы

Проведенная интегральная оценка плодородия почв садов Русского музея в Цен-

тральном районе Санкт-Петербурга выявила средний уровень плодородия (1,4–1,7), что является оптимальным для садово-парковых территорий, функционирующих в условиях высокой рекреационной нагрузки. Такой уровень плодородия обеспечивает устойчивый рост зеленых насаждений без необходимости интенсивного применения удобрений, что минимизирует как затраты на содержание, так и риск деградации урбаноземов.

Рассчитанные значения емкости катионного обмена, находящиеся в диапазоне 24,5–29,3 смоль/кг, свидетельствуют об эффективном удержании питательных катионов (K⁺, NH₄⁺) в корнеобитаемой зоне. Это снижает риск их вымывания и, как следствие, минимизирует вторичное загрязнение реки Невы. Одновременно буферная емкость способствует стабилизации реакции почвенной среды (pH), что критически важно для поддержания доступности элементов питания и иммобилизации присутствующих поллютантов, в частности тяжелых металлов.

На основе полученных результатов разработаны следующие рекомендации:

– Летний сад: оптимизация режима внесения азотных удобрений для поддержки ро-

ста растений при исключении риска эвтрофикации; снижение применения фосфорных удобрений во избежание загрязнения поверхностных вод.

– Михайловский сад: ограничение применения калийных и азотных удобрений для минимизации риска выщелачивания в грунтовые воды; снижение применения фосфорных удобрений во избежание загрязнения поверхностных вод.

– Инженерный сквер: оптимизация режима внесения азотных удобрений для поддержки роста растений при исключении риска эвтрофикации; снижение применения фосфорных удобрений во избежание загрязнения поверхностных вод.

Таким образом, применение интегральной оценки плодородия и устойчивости почв является эффективным инструментом для перехода к адаптивному и экологически сбалансированному управлению рекреационными территориями в условиях городской среды. Данный подход позволяет перейти от разрозненного анализа отдельных агрохимических показателей к комплексной диагностике состояния почвенного покрова, обеспечивает раннее выявление экологических рисков и повышает эффективность бюджетных расходов за счет целевого распределения ресурсов.

Список литературы

1. Русаков А.В., Шешукова А.А., Бахматова К.А. Городские почвы Санкт-Петербурга и история их изучения // *Окружающая среда Санкт-Петербурга*. 2024. № 3 (33). С. 57–61. URL: https://ecopeterburg.ru/wp-content/uploads/2024/09/OS-33_постранично.pdf (дата обращения: 02.09.2025).
2. Сухачева Е.Ю. Почвы Санкт-Петербурга // *Окружающая среда Санкт-Петербурга*. 2024. № 3(33). С. 49–56. URL: https://ecopeterburg.ru/wp-content/uploads/2024/09/OS-33_постранично.pdf (дата обращения: 01.09.2025).
3. Горький А.В. Исследование качества почв и грунтов Санкт-Петербурга // *Окружающая среда Санкт-Петербурга*. 2024. № 3 (33). С. 64–75. URL: https://ecopeterburg.ru/wp-content/uploads/2024/09/OS-33_постранично.pdf (дата обращения: 03.09.2025).
4. Поляк Ю.М., Бакина Л.Г., Маячкина Н.В., Дроздова И.В., Каплан А.В., Голод Д.Л. Биодиагностика состояния окультуренной городской почвы, загрязненной тяжелыми металлами, методами биоиндикации и биотестирования // *Почва и окружающая среда*. 2018. № 1. С. 231–242. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36869794> (дата обращения: 01.09.2025). DOI: 10.31251/pos.v1i4.34.
5. Решетов В.В., Коршак К.А., Матвеев К.А. Создание банка образцов как инструмент контроля динамики загрязнения почв Санкт-Петербурга в долгосрочной перспективе // *Окружающая среда Санкт-Петербурга*. 2024. № 3 (33). С. 76–81. URL: https://ecopeterburg.ru/wp-content/uploads/2024/09/OS-33_постранично.pdf (дата обращения: 04.09.2025).
6. Решетов В.В., Коршак К.А., Лапина К.А. Оценка загрязнения почвогрунтов Санкт-Петербурга по данным мониторинга // *Окружающая среда Санкт-Петербурга*. 2024. № 3 (33). С. 89–99. URL: https://ecopeterburg.ru/wp-content/uploads/2024/09/OS-33_постранично.pdf (дата обращения: 06.09.2025).
7. Решетов В.В., Коршак К.А., Лапина К.А. Концепция актуализации мониторинга загрязнения почвогрунтов в Санкт-Петербурге // *Окружающая среда Санкт-Петербурга*. 2024. № 3 (33). С. 82–88. URL: https://ecopeterburg.ru/wp-content/uploads/2024/09/OS-33_постранично.pdf (дата обращения: 05.09.2025).
8. Бакина Л.Г., Герасимов А.О., Жукова Е.А., Чугунова М.В., Маячкина Н.В., Поляк Ю.М., Горбунова Е.А., Галдяниц А.А., Брянецев А.В. Экотоксикологическая оценка почв садов Русского музея, Санкт-Петербург // *Почвоведение*. 2025. № 5. С. 674–687. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=81299306> (дата обращения: 01.09.2025). DOI: 10.31857/S0032180X25050106.
9. Капелькина Л.П., Мельничук И.А., Часовская В.В. Почвы Летнего сада // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2007. № 180. С. 86–95. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9593508> (дата обращения: 01.09.2025).
10. Матинян, Н. Н. Почвы Летнего сада (Санкт-Петербург) // *Почвоведение*. 2017. № 6. С. 643–651. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29404702> (дата обращения: 01.09.2025). DOI: 10.7868/S0032180X17060065.
11. Мязин В.А. Определение остаточного содержания углеводородов и продуктов их трансформации при загрязнении окультуренных подзолистых почв в Евро-Арктическом регионе // *Вестник Кольского НЦ РАН*. 2015. № 1. С. 126–131. URL: http://kolanord.ru/html_public/periodika/Vestnik_KNC/Vestnik_KNC_2015_1/127/ (дата обращения: 01.09.2025).
12. Chaudhry H., Vasava H.B., Chen S., Saurette D., Beri A., Gillespie A., Biswas A. Evaluating the Soil Quality Index Using Three Methods to Assess Soil Fertility // *Sensors (Basel)*. 2024. Vol. 24. Is. 3. P. 864. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10857350/> (дата обращения: 26.10.2025). DOI: 10.3390/s24030864.
13. Xie X., Cai J., Yang X. et al. Integrated assessment of soil quality and contaminant risks in salinized farmland adjacent to an oil-exploitation zone: insights from the Yellow River Delta // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. P. 29369. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-80314-4> (дата обращения: 20.09.2025). DOI: 10.1038/s41598-024-80314-4.
14. Jin J., Wang L., Müller K., Wu J., Wang H., Zhao K., Berninger F., Fu W. A 10-year monitoring of soil properties dynamics and soil fertility evaluation in Chinese hickory plantation regions of southeastern China // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. P. 23531. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-02947-z> (дата обращения: 01.09.2025). DOI: 10.1038/s41598-021-02947-z.
15. Капелькина Л.П. Причины гибели зеленых насаждений в городской среде (на примере Санкт-Петербурга) // *Экология урбанизированных территорий*. 2016. № 3. С. 62–65. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27519203> (дата обращения: 01.09.2025).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Данное исследование выполнено в рамках государственного задания НИ-ЦЭБ РАН – СПб ФИЦ РАН по теме «Разработка методов мониторинга здоровья экосистем Северо-Запада России» (FFZF-2025-0018).

Financing: This study was performed within the state assignment of the RCES RAS – SPB FRC RAS on the topic “Development of methods for monitoring the health of ecosystems in the North-West of Russia” (FFZF-2025-0018).”