

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2024-SPYC-105-125



Ссылки для цитирования:

Кузьмина А.А., Пятинина Е.В., Жукова Е.А., Горбунова Е.А., Сухачева Е.Ю. Трофическая активность педофауны двух садов г. Санкт-Петербурга (опыт использования экспресс-метода bait-lamina test) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2024. Специальный выпуск по материалам VII конференции молодых ученых “Почвоведение: Горизонты будущего. 2023”. С. 105-125. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-SPYC-105-125

Cite this article as:

Kuzmina A.A., Pyatina E.V., Zhukova E.A., Gorbunova E.A., Sukhacheva E.Yu., Trophic activity of pedofauna in two gardens of Saint-Petersburg (experience of using the express bait-lamina test method), Dokuchaev Soil Bulletin, 2024, Proceedings of the VII Conference of Young Scientists “Soil Science: Horizons of the Future. 2023”, pp. 105-125, DOI: 10.19047/0136-1694-2024-SPYC-105-125

Трофическая активность педофауны двух садов г. Санкт-Петербурга (опыт использования экспресс-метода bait-lamina test)

© 2024 г. А. А. Кузьмина^{1*}, Е. В. Пятинина^{1**}, Е. А. Жукова^{2***},
Е. А. Горбунова^{3****}, Е. Ю. Сухачева^{1*****}

¹Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева,
филиал ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,
199034, Санкт-Петербург, Биржевой пр-д, 6,

* <https://orcid.org/0009-0005-2287-4221>, e-mail: 28akuz@mail.ru,
** <https://orcid.org/0000-0002-3143-1925>, e-mail: kat1977kat@gmail.com,
*** <https://orcid.org/0000-0003-3612-6265>, e-mail: lenasoil@mail.ru.

²ФГБУК “Государственный Русский музей”, Россия,
191186, Санкт-Петербург, ул. Инженерная, 4,
*** <https://orcid.org/0009-0001-0022-4026>, e-mail: ealukmazova@mail.ru.

³ФГБНУ “Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский
центр РАН”, Россия,
199178, Санкт-Петербург, 14-я лин. Васильевского острова, 39,
**** <https://orcid.org/0000-0001-5619-1801>, e-mail: gea-93@mail.ru.

*Поступила в редакцию 01.02.2024, после доработки 27.05.2024,
принята к публикации 21.08.2024*

Резюме: Растительный и почвенный покровы городов служат их экологическим каркасом. При этом немаловажную роль в урбоэкосистемах играют почвенные беспозвоночные. Интегральным показателем состояния педофауны является ее трофическая активность. В работе определена трофическая активность макро- и мезопедофауны в почвах садов Русского музея (г. Санкт-Петербург) экспресс-методом bait-lamina test (BLT). Средние значения степени потребления приманки педобионтов составили $10.9 \pm 1.6\%$ для Летнего сада и $8.5 \pm 3.5\%$ для Михайловского сада. Установлена вариабельность показателей трофической активности между разными пробными площадями: в Летнем саду она варьирует от $2 \pm 6.2\%$ до $21.8 \pm 8.4\%$, а в Михайловском саду – от $2.8 \pm 4.5\%$ до $19.3 \pm 8.8\%$. Отмечено различие в трофической активности внутри вегетационного сезона. Наименьшая степень потребления приманки (менее 2%) отмечалась в наиболее сухие и жаркие месяцы в середине вегетационного периода, а наибольшая (в пределах 19–22%) – в начале и конце вегетационного периода при наиболее благоприятных гидротермических условиях.

Ключевые слова: трофическая активность; педофауна; урбоэкосистемы; bait-lamina test.

Trophic activity of pedofauna in two gardens of Saint-Petersburg (experience of using the express bait-lamina test method)

© 2024 A. A. Kuzmina^{1*}, E. V. Pyatina^{1**}, E. A. Zhukova^{2***},
E. A. Gorbunova^{3****}, E. Yu. Sukhacheva^{1*****}

¹V.V. Dokuchaev Central Soil Museum, Branch of the
Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
6 Birzhevoy proezd, Saint Petersburg 199034, Russian Federation,

*<https://orcid.org/0009-0005-2287-4221>, e-mail: 28akuz@mail.ru,
**<https://orcid.org/0000-0002-3143-1925>, e-mail: kat1977kat@gmail.com,
****<https://orcid.org/0000-0003-3612-6265>, e-mail: lenasoil@mail.ru.

²Russian museum,

4 Inzhenernaya Str., Saint Petersburg 191186, Russian Federation,

***<https://orcid.org/0009-0001-0022-4026>, e-mail: elukumazova@mail.ru.

³St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
39, 14th Line Vasiliev Island, St. Petersburg 199178, Russian Federation,
****<https://orcid.org/0000-0001-5619-1801>, e-mail: gea-93@mail.ru.

Received 01.02.2024, Revised 27.05.2024, Accepted 21.08.2024

Abstract: The plant and soil cover of cities functions as their ecological framework. Soil invertebrates play an important role in urban ecosystems. Trophic activity of pedofauna is an integral indicator of its condition. The trophic activity of macro- and mesopedofauna in the soils of the gardens of the Russian Museum (St. Petersburg) was determined by the express method bait-lamina test. The average values of the degree of consumption of bait by pedobionts amounted to $10.9 \pm 1.6\%$ for the Summer Garden and $8.5 \pm 3.5\%$ for the Mikhailovsky Garden. The variability of trophic activity indices between different sample areas was established – in the Summer Garden it varies from $2 \pm 6.2\%$ to $21.8 \pm 8.4\%$, and in the Mikhailovsky Garden – from $2.8 \pm 4.5\%$ to $19.3 \pm 8.8\%$. Differences in trophic activity within the vegetation season were noted. The lowest degree of bait consumption (less than 2%) was observed in the driest and hottest months in the middle of the vegetation period, and the highest (within 19–22%) – at the beginning and end of the vegetation period under the most favorable hydrothermal conditions.

Keywords: trophic activity; pedofauna; urban ecosystems; bait-lamina test.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи со стремительной урбанизацией и видоизменением городских ландшафтов возрастает интерес к зеленым насаждениям и почвам урбоэкосистем, которые выполняют роль экологического каркаса города. Урбанизация ведет к образованию искусственных экосистем, характеризующихся нарушенными связями между их различными компонентами и повышенным давлением на почвы (Еремченко и др., 2016). Несмотря на это, городские почвы вносят существенный вклад в функционирование урбоэкосистем за счет выполняемых ими экологических функций (Добровольский, Никитин, 2000). Помимо поддержания биоразнообразия, аккумуляции и трансформации техногенных веществ, обезвреживания патогенной микрофлоры и др., городские почвы отвечают за поддержание состояния зеленых насаждений (Васенев и др., 2018; Новиков и др., 2021). Именно поэтому почвенно-экологический мониторинг играет важную роль

при выявлении причин нарушения их состояния. Значимая роль в регуляции экосистемных процессов принадлежит почвенной биоте (Adhikari, Hartemink, 2016). Исследование макропедофауны общепринятым методом ручной разборки почвенных проб приводит к нарушению травянистого покрова. Из-за неизбежной потери эстетического вида газона применить данный метод на территориях садово-парковых комплексов невозможно. Оценить функционирование почвенной биоты можно с помощью интегрального показателя трофической активности (ТА) почвенных сапрофагов (Бергман и др., 2017). Данный показатель отражает функционирование почвенной биоты и хорош тем, что зависит не только от количества почвенных сапрофагов, но и от их физиологического состояния, которое, в свою очередь, определяется химическими и физическими (температура и влажность) свойствами почвы, а также наличием и качеством доступной в верхней части профиля пищевой базы (Савин и др., 2007; Gongalsky et al., 2008; Simpson, 2012; Scheunemann, Russell, 2023;).

Одним из малозатратных, быстрых и не нарушающих городские ландшафты методов почвенно-зоологического мониторинга является метод bait-lamina test (BLT). Метод BLT был предложен в начале 1990-х годов немецким ученым von Tögne (von Tögne, 1990) и широко применяется за рубежом в экологических и экотоксикологических исследованиях (Larink, 1993; André et al., 2009; Jänsch et al., 2017). Суть этого метода заключается в оценке скорости потребления за определенное время почвенными сапрофагами помещенной в почву растительной приманки.

Целью работы являлось определение трофической активности почвенных беспозвоночных и особенности ее изменения в течение вегетационного периода на примере садов Русского музея г. Санкт-Петербурга. В ходе работы проверена гипотеза о том, что трофическая активность почвенных беспозвоночных в условиях урбоэкосистем на территориях садов и парков, расположенных в непосредственной близости друг от друга, характеризуется сходными показателями.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Место проведения. Исследование проводилось в Центральном районе Санкт-Петербурга на территории садов Русского музея (рис. 1). В Михайловском саду в летний период осуществляется ежедневный полив газонов, в Летнем саду полив практически не производится. В садах на газоны вносятся органоминеральные удобрения, осуществляется уход за зелеными насаждениями, уборка опавшей листвы и пр.

Почвенный покров Летнего и Михайловского садов представлен преимущественно урбостратоземами (Urbic Technosol) (Субота и др., 2021; Бахматова и др., 2022). В связи с регулярным изъятием напочвенного опада подстилка слабо выражена.

Площадь проективного покрытия и флористический состав исследуемых участков неоднородны. Среди древесных насаждений доминирует липа (*Tilia* sp.) – в Летнем саду на ее долю приходится более 60% древостоя, а в Михайловском саду – более 50%. Достаточно разнообразен кустарничковый покров. Доминирующими видами в составе газонов парка являются газонные злаки (*Festuca rubra* v. *angustifolia*, *F. pratensis* Huds., *Poa pratensis* L.). Кроме того, в результате воздействия постоянной рекреационной нагрузки на территории газонов Михайловского сада обычны сорно-рудеральные виды, а в Летнем саду отмечено разрастание неморальных видов и мхов (*Plagiomnium cuspidatum* (Hedw.) T. J. Кор., *Rhythidiadelphus squarrosus* Hedw. и др.) (Жукова, Мельников, 2016; Жукова, Петрова, 2019).

Bait-lamina test. В работе определялась ТА представителей групп мезопеδοфауны, к которой относят почвенных беспозвоночных с размером тела от 0.2 до 2 мм, и макропеδοфауны, к которой относят беспозвоночных размером более 2 мм (Wallwork, 1970). Для определения ТА в 2023 г. заложены пробные площади размером 1 × 1 м: шесть – в Летнем саду и пять – в Михайловском. Пробные площади расположены в пределах участков, где проводятся многолетние экологические мониторинговые исследования, в том числе для выявления причин возникновения изменений в состоянии растительного покрова (Жукова и др., 2017; Жукова,

Петрова, 2019). Определение производилось с помощью приманочных пластин по методу bait-lamina test (von Törne, 1990). Для этого были использованы стандартные пластины из твердого пластика длиной 12 см с располагающимися через каждые 5 мм 16 отверстиями диаметром 1.5 мм. Отверстия в пластинах заполнялись приманкой из смеси измельченной крапивы и микрокристаллической целлюлозы в соотношении 3 : 7. Доказано, что потребителями приманки выступает весь комплекс сапротрофной мезо- и макропедофауны, однако основной вклад в ее потребление среди макропедофауны вносят представители семейства люмбрицид (*Lumbricidae*), а среди мезопедофауны – представители семейства энхитреид (*Enchytraeidae*) (Kratz, 1998; Helling, 1998; Gardi et al., 2009) (рис. 2).



Рис. 1. Схема расположения садов Русского музея.
Fig. 1. Scheme of the Russian Museum's gardens.

На каждой пробной площади в предварительно сделанные ножом надрезы методом “конверта” устанавливались по 25 пластин так, чтобы их верхние отверстия находились на глубине 0.5 см от поверхности почвы (Воробейчик, Бергман, 2020). При установке пластин избегали приствольных участков.

Длительность экспонирования пластин составляла 7 дней. Степень потребления приманки в каждом отверстии пластин визуально оценивалась в лабораторных условиях. Были подсчитаны средние значения объема потребленной приманки на каждой из площадок. Оценка проводилась по пятибалльной шкале, где 0 – не тронута; 0.25 – съедено 25%; 0.5 – 50%; 0.75 – 75%; 1 – перфорировано полностью. Выбор пятибалльной шкалы обусловлен увеличением точности и устойчивости к погрешностям, связанным со случайным повреждением приманки (Бергман и др., 2017). Всего было произведено 21.8 тыс. измерений.

Определение трофической активности проводилось во второй половине каждого месяца с мая по сентябрь. Среднесуточная температура воздуха и сумма осадков за периоды исследований оценивались по данным Объединенной гидрометеорологической станции г. Санкт-Петербург (ФГБУ “Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды”).

Химические параметры почв. Для проведения химического анализа в августе 2023 г. на исследуемых участках были отобраны пробы почв. Содержание гумуса определялось по методу Тюрина, величина водного и солевого pH – потенциометрически, гидролитическая кислотность (Hr) и сумма обменных оснований (S) – по методу Каппена (Аринушкина, 1961). На основании полученных параметров рассчитана степень насыщенности основаниями (V).

Статистическая обработка материалов. Обработка результатов проводилась в программах MS Excel и PAST 4.15. Сравнение ТА между садами проводилось по критерию Краскела–Уоллиса при выбранном уровне значимости 0.05. Корреляционный анализ выполнен по коэффициенту ранговой корреляции Спирмена.



Рис. 2. Приманочная пластина с ювенильной особью дождевого червя, поедающего приманку.

Fig. 2. A juvenile earthworm eating the bait from BLT lamina.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Средняя степень потребления приманки почвенными сапрофагами за весь период исследования в пределах всех пробных площадей Летнего сада варьировала от $2 \pm 6.2\%$ до $21.8 \pm 8.4\%$, Михайловского сада – от $2.8 \pm 4.5\%$ до $19.3 \pm 8.8\%$. Среднесуточная степень потребления приманки составила $1.6 \pm 1.3\%$ для Летнего сада и $1.2 \pm 0.8\%$ – для Михайловского сада. Полученные цифры указывают на то, что продолжительность экспозиции была достаточной и результаты соответствуют литературным данным (Безкоровайная и др., 2017; Klimek, Niklińska, 2020).

Также были выявлены различия в ТА почвенных беспозвоночных как между пробными площадями, так и в отдельные периоды вегетационного сезона (рис. 3) (Kruskal–Wallis test; $H = 24.1$;

$p < 0.05$). Наибольшая ТА была зафиксирована для Летнего сада на пробных площадях ЛС1 и ЛС2, для Михайловского сада – МС1. Наименьшая ТА отмечена на площадях ЛС4–ЛС6 для Летнего сада и МС4 – для Михайловского сада. Наибольшая ТА для обоих садов была отмечена в мае. Для Летнего сада средняя по всем площадкам степень потребления приманки в мае составила $21.8 \pm 8.4\%$, для Михайловского сада – $19.3 \pm 8.8\%$. Наименьшая ТА была отмечена в Летнем саду в июне (степень потребления приманки – $2 \pm 6.2\%$), в Михайловском саду – в июле (степень потребления приманки – $2.8 \pm 4.5\%$).

Почвы Летнего и Михайловского садов характеризуются близкими к нейтральным значениями pH, средней обеспеченностью $C_{\text{орг}}$ и высокой степенью насыщенности основаниями (табл. 1). Результаты корреляционного анализа ($r \leq \pm 0.5$) показали отсутствие статистически значимой связи между трофической активностью и основными химическими свойствами почв (при $n = 11$ значимый коэффициент корреляции $r \geq 0.61$ и $t_r = 2.26$).

Другой причиной различий в ТА может быть неоднородность гидротермических условий (Scheunemann, Russell, 2023). В июне–июле фиксировалось падение ТА по всем пробным площадям (рис. 3), тогда как в мае, августе и сентябре наблюдалось ее повышение. Это может быть связано с возможным превышением среднесуточной температуры воздуха относительно климатической нормы в период исследования (Климат Санкт-Петербурга...) (рис. 4).

Данное предположение не подтверждается корреляционным анализом, т. к. полученное значение $r = -0.9$ не достигает уровня статистической значимости (при $n = 5$ $r \geq 0.94$), что может быть обусловлено как небольшой выборкой, так и влиянием более мощного по силе фактора, не учтенного в данном исследовании.

Среднесуточная температура июня в период измерения ТА превышала климатическую норму на 5.5°C . В июле и августе превышений климатической нормы зафиксировано не было. В мае и сентябре также наблюдалось превышение значений температуры воздуха (на 3.4°C и 3.7°C соответственно), однако, ТА в эти месяцы была значительно выше, чем в другие.

Таблица 1. Основные химические свойства почв садов Русского музея
Table 1. Main chemical characteristics of soils in the gardens of the Russian Museum

Место отбора	№ пробной площади	С _{орг} , %	рН		Нг, мг-экв/100 г почвы	S, мг-экв/100 г почвы	V, %
			водн.	сол.			
Михайловский сад	М1	2.40	6.73	5.95	3.0	14.4	83.0
	М2	4.14	7.37	7.15	0.2	41.9	99.5
	М3	3.43	6.43	5.61	3.3	16.9	83.7
	М4	4.20	7.00	6.54	1.1	29.6	96.4
	М5	3.52	7.12	6.60	0.9	24.1	96.5
Летний сад	Л1	2.82	7.36	6.96	0.9	22.6	96.3
	Л2	3.29	6.97	6.40	1.8	19.9	91.9
	Л3	3.08	6.40	5.65	2.2	17.4	88.8
	Л4	2.56	6.70	5.93	2.6	14.4	84.6
	Л5	3.36	7.70	7.48	0.4	46.4	99.1
	Л6	2.82	6.59	5.71	3.5	14.9	81.0

Примечание. Нг – гидролитическая кислотность, S – сумма обменных оснований, V – степень насыщенности основаниями.

Note. Нг – hydrolytic acidity, S – sum of exchangeable bases, V – degree of saturation with bases.

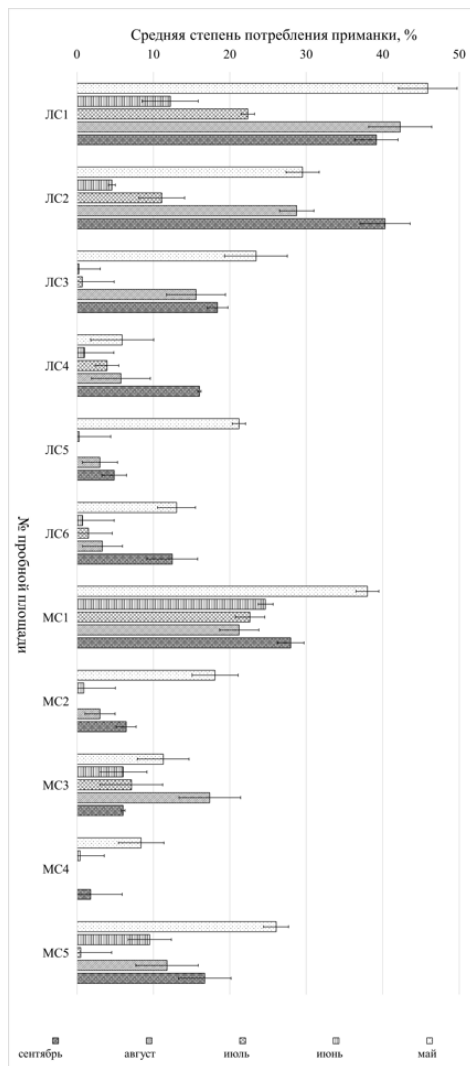


Рис. 3. Степень потребления приманки на пробных площадях садов Русского музея (MC – Михайловский сад, LC – Летний сад).

Fig. 3. Degree of bait consumption in experimental areas of the gardens of the Russian Museum (MC – Mikhailovsky Garden, LC – Summer Garden).

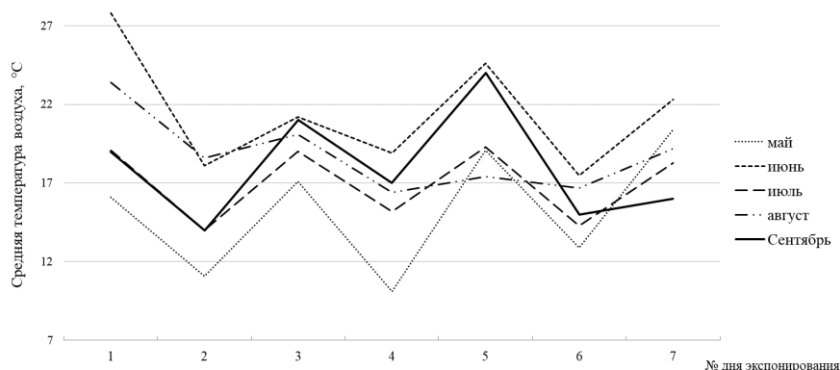


Рис. 4. Температура воздуха за периоды экспонирования приманочных пластин.

Fig. 4. Air temperature during the periods of exposure of bait lamina.

Это может объясняться, во-первых, достаточным увлажнением почвенного профиля в связи с поступлением осадков (рис. 5), и, во-вторых, с наличием кормовой базы в виде прошлогоднего (для мая) и вновь поступившего (для сентября) еще не убранного напочвенного опада (Riutta et al., 2016).

Таким образом, повышение температуры в начале и конце вегетационного периода в совокупности с достаточным количеством осадков благоприятно сказывается на педофауне и приводит к повышению ее ТА, а в середине вегетационного периода вследствие повышения температуры и снижения количества осадков происходит иссушение органо профиля почв, что приводит к угнетению педобионтов и снижению их ТА.

Существует также тесная взаимосвязь между ТА педобионтов и кормовой базой, представленной напочвенным и внутрипочвенным опадом (Стриганова, 1980). Отсутствие подстилки, в свою очередь, приводит к отсутствию подстилочных и почвенно-подстилочных форм люмбрицид, что отрицательно сказывается на показателях ТА (Безкорвайная, Егунова, 2013). Признаком, отражающим функционирование почвенных беспозвоночных, может выступать степень проективного покрытия травяного яруса (van

Groenigen et al., 2014; Hullot et al., 2021). Однако взаимосвязь между величинами ТА педобионтов и степенью проективного покрытия была отмечена не на всех пробных площадях. На площадях с самой высокой ТА проективное покрытие варьировало от 90–100% (для МС1 и ЛС2) до 60–70% (для ЛС1, МС5). Близкие значения наблюдались и на пробных площадях, где была отмечена наименьшая ТА. На площади ЛС4 проективное покрытие было близко к 90%, тогда как на площадях ЛС5–ЛС6 и МС4 проективное покрытие было ниже 60%. Таким образом, на пробных площадях с максимальной ТА наблюдается как максимальное проективное покрытие, так и среднее, и, наоборот, – на пробных площадях с минимальной ТА наблюдается высокая степень проективного покрытия. Отсутствие прямой взаимосвязи между проективным покрытием травяного яруса и ТА на некоторых площадках может объясняться действием невыявленных факторов.

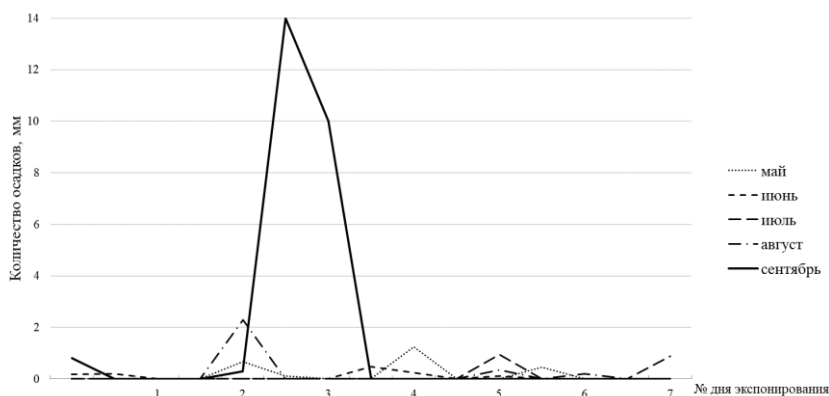


Рис. 5. Сумма осадков за периоды экспонирования приманочных пластин.

Fig. 5. Amount of rainfall for the periods of exposure of bait lamina.

Кроме того, как положительный, так и отрицательный эффект на почвенных беспозвоночных в условиях урбоэкосистем оказывает хозяйственная деятельность человека, такая как внесение минеральных и органических удобрений, дренирование и т. д. (Ермаков, Воробейчик, 2013). Однако провести корреляцию между изменением физико-химических характеристик почв в результате деятельности человека и изменением ТА в пределах городских территорий, в силу отсутствия достаточного количества данных по результатам исследований, представляется преждевременным.

ВЫВОДЫ

Средние значения ТА почвенных беспозвоночных в садах Русского музея, которые могут быть оценены через степень потребления приманки, за период с мая по сентябрь 2023 г. составили $10.9 \pm 1.6\%$ для Летнего сада и $8.5 \pm 3.5\%$ – для Михайловского сада. ТА различна между разными пробными площадями – в Летнем саду она варьирует от $2 \pm 6.2\%$ до $21.8 \pm 8.4\%$, а в Михайловском саду – от $2.8 \pm 4.5\%$ до $19.3 \pm 8.8\%$. Также отмечается различие в ТА в течение вегетационного сезона. Наименьшая степень потребления приманки (менее 4%) отмечалась в наиболее сухие и жаркие месяцы в середине вегетационного периода, а наибольшая (в пределах 19–22%) – в начале и конце вегетационного периода при наиболее благоприятных гидротермических условиях и наличии кормовой базы. Проведенные исследования показали отсутствие значимой связи между ТА и исследованными химическими показателями почв, а также между ТА и средней температурой воздуха.

Исходя из вышесказанного, исходная гипотеза не подтвердилась: между средними значениями ТА садов Русского музея за весь вегетационный период были выявлены статистически значимые различия (Kruskal–Wallis test; $H = 24.1$; $p < 0.05$). Однако в силу отсутствия данных о влиянии неучтенных факторов выявить причину различий в настоящее время не представляется возможным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1961. 491 с.
2. *Бахматова К.А., Матинян Н.Н., Шешукова А.А.* Антропогенные почвы городских парков (обзор) // Почвоведение. 2022. № 1. С. 77–95.
3. *Безкоровайная И.Н., Егунова М.Н.* Оценка трофической активности микроартропод в лесных культурах с помощью bait-lamina теста // Вестник КрасГАУ. 2013. № 10(85). С. 46–50.
4. *Безкоровайная И.Н., Егунова М.Н., Таскаева А.А.* Почвенные беспозвоночные и их трофическая активность в 40-летних лесных культурах // Сибирский экологический журнал. 2017. Т. 24. № 5. С. 609–620.
5. *Бергман И.Е., Воробейчик Е.Л., Ермаков А.И.* Влияние условий мегаполиса на трофическую активность почвенных сапрофагов в городских лесах // Почвоведение. 2017. № 1. С. 117–129. DOI: [10.7868/S0032180X17010026](https://doi.org/10.7868/S0032180X17010026).
6. *Васенев В.И., Ауденховен А.П., Ромзайкина О.Н., Гаджиагаева Р.А.* Экологические функции и экосистемные сервисы городских и техногенных почв: от теории к практическому применению (обзор) // Почвоведение. 2018. № 10. С. 1177–1191. DOI: [10.1134/S0032180X18100131](https://doi.org/10.1134/S0032180X18100131).
7. *Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е.* Bait-lamina test в оценке загрязненных почв: выбор длительности экспонирования // Экология. 2020. № 5. С. 354–364. DOI: [10.31857/S0367059720050133](https://doi.org/10.31857/S0367059720050133).
8. *Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы. М.: МИРОС МАИК Наука/Интерпериодика, 2000. 185 с.
9. *Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В.* Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья: Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2016. 252 с.
10. *Ермаков А.И., Воробейчик Е.Л.* Почвенная мезофауна лесных экосистем в условиях крупного промышленного города // Евразийский энтомологический журнал. 2013. Т. 12. № 6. С. 519–528.
11. *Жукова Е.А., Мельников В.Ю.* Современное состояние флоры Летнего сада г. Санкт-Петербурга после реставрации // Материалы VI Международной научной конференции “Биологическое разнообразие. Интродукция растений”, СПб. 2016. С. 129–132.
12. *Жукова Е.А., Петрова В.С.* Роль садов Русского музея в сохранении биоразнообразия в центре Санкт-Петербурга // Сборник XIII

Региональной молодежной экологической Школы-конференции, СПб. 2019. С. 44–50.

13. Жукова Е.А., Морозова О.В., Волобуев С.В., Брянцева Ю.С. Базидиальные макромицеты и их влияние на состояние зеленых насаждений садов Русского музея (Санкт-Петербург) // Микология и фитопатология. 2017. Т. 51. № 6. С. 328–339.

14. Климат Санкт-Петербурга и Ленинградской области: ФГБУ “Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды”. URL: <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=2>.

15. Новиков С.Г., Медведева М.В., Пеккоев А.Н., Тимофеева В.В. Диагностика почв, расположенных в градиенте урботехногенного воздействия // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 108. С. 55–82. DOI: [10.19047/0136-1694-2021-108-55-82](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-108-55-82).

16. Савин Ф.А., Покаржевский А.Д., Гонгальский К.Б. Распределение крупных почвенных беспозвоночных и его связь с некоторыми почвенными параметрами // Почвоведение. 2007. № 1. С. 74–79.

17. Сады Русского музея. URL: <https://igardens.ru/visitor-information/>.

18. Стриганова Б.Р. Питание почвенных сапрофагов // М.: Наука. 1980. 244 с.

19. Субота М.Б., Часовская В.В., Яковлев А.А., Брагин В.Д. Особенности почв Михайловского сада г. Санкт-Петербург // Материалы научно-практической конференции “Проблемы и состояние почв городских и лесных экосистем”: СПб: СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, 2021. С. 30–32.

20. ФГБУ “Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды”. URL: <http://www.meteo.nw.ru/>.

21. Adhikari K., Hartemink A.E. Linking soils to ecosystem services – A global review // Geoderma. 2016. Vol. 262. P. 101–111. DOI: [10.1016/J.GEODERMA.2015.08.009](https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2015.08.009).

22. André A., Antunes S.C., Gonçalves F., Pereira R. Bait-lamina assay as a tool to assess the effects of metal contamination in the feeding activity of soil invertebrates within a uranium mine area // Environmental Pollution. 2009. Vol. 157. No. 8–9. P. 2368–2377. DOI: [10.1016/j.envpol.2009.03.023](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.03.023).

23. Gardi C., Montanarella L., Arruays D., Bispo A., Lemanceau P., Jolivet C., Mulder C., Ranjard L., Römke J., Rutgers M., Menta C. Soil biodiversity monitoring in Europe: Ongoing activities and challenges // European Journal of Soil Science. 2009. Vol. 60. P. 807–819. DOI: [10.1111/j.1365-2389.2009.01177.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01177.x).

24. Gongalsky K.B., Pokarzhevskii A.D., Filimonova Z.V., Savin F.A. Stratification and dynamics of bait-lamina perforation in three forest soils

- along a north–south gradient in Russia // *Applied Soil Ecology*. 2004. Vol. 25. No. 2. P. 111–122. DOI: [10.1016/j.apsoil.2003.09.001](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2003.09.001).
25. *Helling B., Pfeiff G., Larink O.* A comparison of feeding activity of collembolan and enchytraeid in laboratory studies using the bait-lamina test // *Applied Soil Ecology*. 1998. Vol. 7. No. 3. P. 207–212. DOI: [10.1016/S0929-1393\(97\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(97)00065-6).
26. *Hullot O., Lamy I., Tiziani R., Mimmo T., Ciadamidaro L.* The effect of earthworms on plant response in metal contaminated soil focusing on belowground-aboveground relationships // *Environmental Pollution*. 2021. Vol. 274. P. 116499. DOI: [10.1016/j.envpol.2021.116499](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116499).
27. *Jänsch S., Scheffczyk A., Römcke J.* The bait-lamina earthworm test: A possible addition to the chronic earthworm toxicity test? // *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 2017. Vol. 2. No. 5. P. 1–11. DOI: [10.1007/s41207-017-0015-z](https://doi.org/10.1007/s41207-017-0015-z).
28. *Klimek B., Niklińska M.* Fauna activity on soils developing on dead logs in an ancient inland temperate rainforest of North British Columbia (Canada) // *Journal of Soils and Sediments*. 2020. Vol. 20. P. 2260–2265. DOI: [10.1007/s11368-019-02559-1](https://doi.org/10.1007/s11368-019-02559-1).
29. *Kratz W.* The bait-lamina test // *Environmental Science and Pollution Research*. 1998. Vol. 5. No. 2. P. 94–96. DOI: [10.1007/BF02986394](https://doi.org/10.1007/BF02986394).
30. *Larink O.* Bait lamina as a tool for testing feeding activity of animals in contaminated soils // *Ecotoxicology of Soil Organisms / Donker M.H., Eijsackers H., Heimbach F. (Eds.). Lewis Publishers*. 1993. P. 339–345.
31. *Riutta T., Clack H., Crockatt M. et al.* Landscape-Scale Implications of the Edge Effect on Soil Fauna Activity in a Temperate Forest // *Ecosystems*. 2016. Vol. 19. P. 534–544. DOI: [10.1007/s10021-015-9939-9](https://doi.org/10.1007/s10021-015-9939-9).
32. *Scheunemann N., Russell D.J.* Hydrological regime and forest development have indirect effects on soil fauna feeding activity in Central European hardwood floodplain forests // *Nature Conservation*. 2023. Vol. 53. P. 257–278. DOI: [10.3897/natureconservation.53.106260](https://doi.org/10.3897/natureconservation.53.106260).
33. *Simpson J.E., Slade E., Riutta T., Taylor M.E.* Factors affecting soil fauna Feeding activity in a fragmented lowland temperate deciduous woodland // *PLoS One*. 2012. Vol. 7. No. 1. P. e29616. DOI: [10.1371/journal.pone.0029616](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029616).
34. *van Groenigen J.V., Lubbers I., Vos H.M., Brown G., De Deyn G.D., van Groenigen K.V.* Earthworms increase plant production: a meta-analysis // *Scientific Reports*. 2014. Vol. 4. P. 6365. DOI: [10.1038/srep06365](https://doi.org/10.1038/srep06365).
35. *von Törne E.* Assessing feeding activities of soil-living animals. I. Bait-lamina-tests // *Pedobiologia*. 1990. Vol. 34. No. 2. P. 89–101.
36. *Wallwork J.A.* Ecology of soil animals // McGraw-Hill. 1970. 283 p.

REFERENCES

1. Arinushkina E.V., *Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv* (A manual on chemical analysis of soils), Moscow: Moscow State University, 1961, 491 p.
2. Bakhmatova K.A., Matinyan N.N., Sheshukova A.A., Antropogennyye pochvy gorodskikh parkov (obzor) (Anthropogenic soils of urban parks (review)), *Pochvovedenie*, 2022, No. 1, pp. 77–95.
3. Bezkorovainaya I.N., Egunova M.N., Otsenka troficheskoi aktivnosti mikroartropod v lesnykh kul'turakh s pomoshch'yu bait-lamina testa, *Vestnik KrasGAU*, 2013, No. 10(85), pp. 46–50.
4. Bezkorovainaya I.N., Egunova M.N., Taskaeva A.A. Pochvennye bespozvonochnye i ikh troficheskaya aktivnost' v 40-letnikh lesnykh kul'turakh (Soil invertebrates and their trophic activity in 40-year-old forest crops), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2017, Vol. 24, No. 5, pp. 609–620.
5. Bergman I.E., Vorobeichik E.L., Ermakov A.I., Vliyanie uslovii megapolisa na troficheskuyu aktivnost' pochvennykh saprofagov v gorodskikh lesakh (Influence of megalopolis conditions on trophic activity of soil saprophages in urban forests), *Pochvovedenie*, 2017, No. 1, pp. 117–129, DOI: [10.7868/S0032180X17010026](https://doi.org/10.7868/S0032180X17010026).
6. Vasenev V.I., Audenkhoven A.P., Romzaikina O.N., Gadzhiagaeva R.A., Ekologicheskie funktsii i ekosistemnye servisy gorodskikh i tekhnogennykh pochv: ot teorii k prakticheskomu primeneniyu (obzor) (Ecological functions and ecosystem services of urban and anthropogenic soils: from theory to practice (review)) *Pochvovedenie*, 2018, No. 10, pp. 1177–1191, DOI: [10.1134/S0032180X18100131](https://doi.org/10.1134/S0032180X18100131).
7. Vorobeichik E.L., Bergman I.E., Bait-lamina test v otsenke zagryaznennykh pochv: vybor dlitel'nosti eksponirovaniya (Bait-lamina test in the assessment of contaminated soils: choice of exposure duration), *Ekologiya*, 2020, No. 5, pp. 354–364, DOI: [10.31857/S0367059720050133](https://doi.org/10.31857/S0367059720050133).
8. Dobrovol'skii G.V., Nikitin E.D., *Sokhranenie pochv kak nezamenimogo komponenta biosfery* (Saving soils as an irreplaceable component of the biosphere), Moscow: MIROS MAIK Nauka/ Interperiodika, 2000, 185 p.
9. Eremchenko O.Z., Shestakov I.E., Moskvina N.V., *Pochvy i tekhnogennyye poverkhnostnye obrazovaniya urbanizirovannykh territorii Permskogo Prikam'ya: monografiya* (Soils and anthropogenic surface formations of urbanized territories of the Permian Kama region: a monograph), Perm': Perm. gos. nats. issled. un-t., 2016, 252 p.

10. Ermakov A.I., Vorobeichik E.L., Pochvennaya mezofauna lesnykh ekosistem v usloviyakh krupnogo promyshlennogo goroda, *Evraziatskii entomologicheskii zhurnal*, 2013, Vol. 12, No. 6, pp. 519–528.
11. Zhukova E.A., Mel'nikov V.Yu., Sovremennoe sostoyanie flory Letnego sada g. Sankt-Peterburga posle restavratsii (Current state of the flora of the Summer Garden of St. Petersburg after restoration), *Biologicheskoe raznoobrazie. Introduktsiya rastenii* (Biodiversity. Introduction of plants), Proc. 6th International Conference, Saint-Petersburg, 2016, pp. 129–132.
12. Zhukova E.A., Petrova V.S., Rol' sadov Russkogo muzeya v sokhranении bioraznoobraziya v tsentre Sankt-Peterburga (The Role of the Russian Museum Gardens in Biodiversity Conservation in the Center of St. Petersburg), *Trinadtsataya Regional'naya molodezhnaya ekologicheskaya Shkola-konferentsiya* (The 13th Regional Youth Ecological School-Conference), Book of Abstracts, Saint-Petersburg, 2019, pp. 44–50.
13. Zhukova E.A., Morozova O.V., Volobuev S.V., Bryantseva Yu.S., Bazidial'nye makromitsety i ikh vliyanie na sostoyanie zelenykh nasazhdenii sadov Russkogo muzeya (Sankt-Peterburg) (Basidial macromycetes and their influence on the condition of green spaces in the gardens of the Russian Museum (St. Petersburg)), *Mikologiya i fitopatologiya*, 2017, Vol. 51, No. 6, pp. 328–339.
14. Climate of St. Petersburg and the Leningrad Region: FGBU “North-West Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring”, URL: <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=2>.
15. Novikov S.G., Medvedeva M.V., Pekkoiev A.N., Timofeeva V.V., Diagnostics of soils located in the gradient of urban-technogenic impact, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2021, No. 108, pp. 55–82, DOI: [10.19047/0136-1694-2021-108-55-82](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-108-55-82).
16. Savin F.A., Pokarzhevskii A.D., Gongal'skii K.B., Raspreделение krupnykh pochvennykh bespozvonochnykh i ego svyaz' s nekotorymi pochvennymi parametrami (Distribution of major soil invertebrates and its relationship to some soil parameters), *Pochvovedenie*, 2007, No. 1, pp. 74–79.
17. Gardens of the Russian Museum, URL: <https://igardens.ru/visitor-information/>.
18. Striganova B.R., *Pitanie pochvennykh saprofagov*, Moscow: Nauka, 1980, 244 p.
19. Subota M.B., Chasovskaya V.V., Yakovlev A.A., Bragin V.D., Osobennosti pochv Mikhailovskogo sada g. Sankt-Peterburg (Specific features of soils of Mikhailovsky garden, St. Petersburg) *Problemy i sostoyanie pochv gorodskikh i lesnykh ekosistem* (Problems and status of soils of urban and

forest ecosystems), Proc. Conference, Saint-Petersburg: SPbGLTU im. S.M. Kirova, 2021, pp. 30–32.

20. “North-West Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring”, URL: <http://www.meteo.nw.ru/>.

21. Adhikari K., Hartemink A.E., Linking soils to ecosystem services – A global review, *Geoderma*, 2016, Vol. 262, pp. 101–111, DOI: [10.1016/J.GEODERMA.2015.08.009](https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2015.08.009).

22. André A., Antunes S.C., Gonçalves F., Pereira R., Bait-lamina assay as a tool to assess the effects of metal contamination in the feeding activity of soil invertebrates within a uranium mine area, *Environmental Pollution*, 2009, Vol. 157, No. 8–9, pp. 2368–2377, DOI: [10.1016/j.envpol.2009.03.023](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.03.023).

23. Gardi C., Montanarella L., Arrouays D., Bispo A., Lemanceau P., Jolivet C., Mulder C., Ranjard L., Römbke J., Rutgers M., Menta C., Soil biodiversity monitoring in Europe: Ongoing activities and challenges, *European Journal of Soil Science*, 2009, Vol. 60, pp. 807–819, DOI: [10.1111/j.1365-2389.2009.01177.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01177.x).

24. Gongalsky K.B., Pokarzhevskii A.D., Filimonova Z.V., Savin F.A., Stratification and dynamics of bait-lamina perforation in three forest soils along a north–south gradient in Russia, *Applied Soil Ecology*, 2004, Vol. 25, No. 2, pp. 111–122, DOI: [10.1016/j.apsoil.2003.09.001](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2003.09.001).

25. Helling B., Pfeiff G., Larink O., A comparison of feeding activity of collembolan and enchytraeid in laboratory studies using the bait-lamina test, *Applied Soil Ecology*, 1998, Vol. 7, No. 3, pp. 207–212, DOI: [10.1016/S0929-1393\(97\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(97)00065-6).

26. Hullot O., Lamy I., Tiziani R., Mimmo T., Ciadamidaro L., The effect of earthworms on plant response in metal contaminated soil focusing on belowground-aboveground relationships, *Environmental Pollution*, 2021, Vol. 274, pp. 116499, DOI: [10.1016/j.envpol.2021.116499](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116499).

27. Jänsch S., Scheffczyk A., Römbke J., The bait-lamina earthworm test: A possible addition to the chronic earthworm toxicity test? *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 2017, Vol. 2, No. 5, pp.1–11, DOI: [10.1007/s41207-017-0015-z](https://doi.org/10.1007/s41207-017-0015-z).

28. Klimek B., Niklińska M., Fauna activity on soils developing on dead logs in an ancient inland temperate rainforest of North British Columbia (Canada), *Journal of Soils and Sediments*, 2020, Vol. 20, pp. 2260–2265, DOI: [10.1007/s11368-019-02559-1](https://doi.org/10.1007/s11368-019-02559-1).

29. Kratz W., The bait-lamina test, *Environmental Science and Pollution Research*, 1998, Vol. 5, No. 2, pp. 94–96, DOI: [10.1007/BF02986394](https://doi.org/10.1007/BF02986394).

30. Larink O., Bait lamina as a tool for testing feeding activity of animals in contaminated soils, In: Donker M.H., Eijsackers H., Heimbach F. (Eds), *Ecotoxicology of Soil Organisms*, Lewis Publishers, 1993, pp. 339–345.
31. Riutta T., Clack H., Crockatt M. et al., Landscape-Scale Implications of the Edge Effect on Soil Fauna Activity in a Temperate Forest, *Ecosystems*, 2016, No. 19, pp. 534–544, DOI: [10.1007/s10021-015-9939-9](https://doi.org/10.1007/s10021-015-9939-9).
32. Scheunemann N., Russell D.J., Hydrological regime and forest development have indirect effects on soil fauna feeding activity in Central European hardwood floodplain forests, *Nature Conservation*, 2023, Vol. 53, pp. 257–278, DOI: [10.3897/natureconservation.53.106260](https://doi.org/10.3897/natureconservation.53.106260).
33. Simpson J.E., Slade E., Riutta T., Taylor M.E., Factors affecting soil fauna Feeding activity in a fragmented lowland temperate deciduous woodland, *PLoS One*, 2012, Vol. 7, No. 1, pp. e29616, DOI: [10.1371/journal.pone.0029616](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029616).
34. van Groenigen J.V., Lubbers I., Vos H.M., Brown G., De Deyn G.D., van Groenigen K.V., Earthworms increase plant production: a meta-analysis, *Scientific Reports*, 2014, Vol. 4, pp. 63–65, DOI: [10.1038/srep06365](https://doi.org/10.1038/srep06365).
35. von Törne E., Assessing feeding activities of soil-living animals. I. Bait-lamina-tests, *Pedobiologia*, 1990, Vol. 34, No. 2, pp. 89–101.
36. Wallwork J.A., *Ecology of soil animals*, McGraw-Hill, 1970, 283 p.