

Леса России и хозяйство в них. 2024. № 3 (90). С. 122–131.

Forests of Russia and economy in them. 2024. № 3 (90). P. 122–131.

Научная статья

УДК 630*182.46

DOI: 10.51318/FRET.2024.13.67.013

ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ПАРКОВ ЕКАТЕРИНБУРГА В ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ *ACER NEGUNDO* L.

Елена Александровна Тишкина¹, Наталья Валентиновна Марина²,
Анна Владимировна Лантинова³, Алена Сергеевна Житкова⁴,
Ксения Руслановна Калиева⁵, Екатерина Алексеевна Русинова⁶

¹⁻⁶ Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Александровна Тишкина,

Elena.MLOB1@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена проверке предположения об аллелопатической активности *Acer negundo* L. Он растет в 13 лесных парках Екатеринбурга из 15 на площади 228 га, формируя вторичный ареал. Целью исследования является выявление на основе эксперимента влияния *A. negundo* на раннее развитие *Lepidium sativum* L. Исследование проведено в 2022 г. в восьми фрагментах ценопопуляции клена в Карасье-Озерском, трех в Мало-Истокском и одиннадцати в Центральном лесных парках Екатеринбурга. В результате исследования была определена степень обеспеченности элементами минерального питания на всех участках. В эксперименте по оценке фитотоксичности почв с участием *Acer negundo* показано, что клен влияет на раннее развитие тест-растения *Lepidium sativum* L. Прослеживается определенная тенденция в изменении величин индекса токсичности оцениваемого фактора в разных местообитаниях клена, что, вероятно, может быть связано с аллелопатией. Таким образом, получено свидетельство, что воздействия аллелопатического характера могут быть реальным механизмом, обеспечивающим экологический успех *A. negundo* во вторичном ареале. Поэтому для более определенных заключений об аллелопатии как механизме экологического успеха *A. negundo* при инвазии в лесные парки Екатеринбурга необходимы дальнейшие исследования в широком географическом охвате и с использованием разных схем экспериментов, в том числе с применением и других тест-растений (например, ржи, редиса и т. д.).

Ключевые слова: *Acer negundo* L., лесной парк, почва, биотестирование

Для цитирования: Фитотоксичность почв лесных парков Екатеринбурга в оценке потенциальной аллелопатической активности *Acer negundo* L. / Е. А. Тишкина, Н. В. Марина, А. В. Лантинова [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 3 (90). С. 122–131.

Scientific article

PHYTOTOXICITY OF SOILS OF YEKATERINBURG FOREST PARKS IN ASSESSING THE POTENTIAL ALLELOPATHIC ACTIVITY OF *ACER NEGUNDO* L.

Elena A. Tishkina¹, Natalia V. Marina², Anna V. Lantinova³,
Alyona S. Zhitkova⁴, Ksenia R. Kalieva⁵, Ekaterina A. Rusinova⁶

¹⁻⁶ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Elena A. Tishkina,
Elena.MLOB1@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to verifying the assumption about the allelopathic activity of *Acer negundo* L. It grows in 13 forest parks of Yekaterinburg out of 15 on an area of 228 hectares, forming a secondary habitat. The aim of the study is to identify experimentally the influence of *A. negundo* on the earlier development of *Lepidium sativum* L. The study was conducted in 2022 in eight fragments of the maple cenopopulation in Karasye-Ozersky, three in Malo-Istoksky and eleven in the Central Forest Parks of Yekaterinburg. As a result of the study, the degree of availability of mineral nutrition elements in all areas was determined. In an experiment to assess the phytotoxicity of soils with the participation of *Acer negundo*, it was shown that maple affects the early development of the test plant *Lepidium sativum* L. There is a definite trend in changing the values of the toxicity index of the assessed factor in different maple habitats, which may probably be associated with allelopathy. Thus, evidence has been obtained that allelopathic effects may be a real mechanism ensuring the ecological success of *A. negundo* in the secondary range. Therefore, for more definite conclusions about allelopathy as a mechanism of ecological success of *A. negundo* during invasion into the forest parks of Yekaterinburg, further research is needed in a wide geographical scope and using different experimental schemes, including the use of other test plants (for example, rye, radish, etc.).

Keywords: *Acer negundo* L., forest park, soil, biotesting

For citation: Phytotoxicity of soils of Yekaterinburg forest parks in assessing the potential allelopathic activity of *Acer negundo* L. / E. A. Tishkina, N. V. Marina, A. V. Lantinova [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 3 (90). P. 122–131.

Введение

Одним из вероятных механизмов экологического успеха чужеродных инвазивных растений во вторичных ареалах, посредством которого они влияют на местные растения и сообщества, является аллелопатия (Klironomos, 2002; Callaway, 2004; Weidenhamer, Callaway, 2010; Phytogenetic conservatism..., 2014; Brouwer et al., 2015). Накоплено много подтверждений прямых аллелопатических эффектов со стороны инвазивных растений на местные растения (Effect..., 2021). Противоре-

чивы сведения об аллелопатии *Acer negundo* L., который относят к группе видов-трансформеров (Виноградова и др., 2010). В отношении аллелопатической активности *A. negundo* опубликовано несколько подтверждений (Csiszár, 2009; Allelopathic..., 2013; Еременко, 2014; Александров, Калашников, 2019). Однако есть также и случаи, когда наблюдаемые эффекты были неясными или отсутствовали (Аллелопатические свойства..., 2018; Веселкин и др., 2019; Цандекова, Уфимцев, 2019).

Цель, методика и объекты исследования

Цель работы – на основе эксперимента выявить влияние *A. negundo* на раннее развитие *Lepidium sativum* L.

Исследование проведено в 2022 г. в 8 фрагментах ценопопуляции (ФЦП) клена ясенелистного в Карасье-Озерском, 3 в Мало-Источском и 11 в Центральном лесных парках Екатеринбурга (рис. 1).

В каждом лесном парке с экспериментальных участков, где произрастают генеративные и пре-генеративные особи клена, а также с участков, на которых они отсутствуют (рис. 2, табл. 1), методом конверта было отобрано по 5 точечных проб почвы. Точечные пробы объединяли и усредняли (ГОСТ 17.4.4.02–2017).

В образцах почв определяли актуальную кислотность (Минеев, 1989), содержание водорастворимого калия и азота нитратов. Все определения проводили в двух параллельных измерениях. Содержание водорастворимого калия (в пересчете на K_2O) определяли ионометрическим методом с калий-селективным электродом (ГОСТ 27753.6–88), количество азота нитратов

(N/NO_3) – ионометрическим методом с нитрат-селективным электродом (ГОСТ 26951–86).

Потенциальную аллелопатическую активность *A. negundo* оценивали по уровню фитотоксичности почв исследуемых участков, который определяли методом контактного биотестирования в упрощенных планшетах (ГОСТ Р ИСО 18763–2019; Лантинова Марина, 2022).

В качестве тест-культуры использовали кресс-салат (*Lepidium sativum* L.), преимуществом которого являются одинаковый размер и масса семян с небольшим запасом питательных веществ.

Расчет фитотоксичности исследуемых почв проводили по индексу токсичности оцениваемого фактора (ИТФ) (Кабилов и др., 1997) по формуле

$$ИТФ = \frac{T\Phi_o}{T\Phi_k},$$

где $T\Phi_o$ – значение оцениваемого показателя (тест-фактора) в опыте;

$T\Phi_k$ – значение оцениваемого показателя (тест-фактора) в контроле.

В качестве оцениваемых факторов использовали длину корня и длину ростка *Lepidium sativum*, измеряемые на седьмые сутки биотестирования.

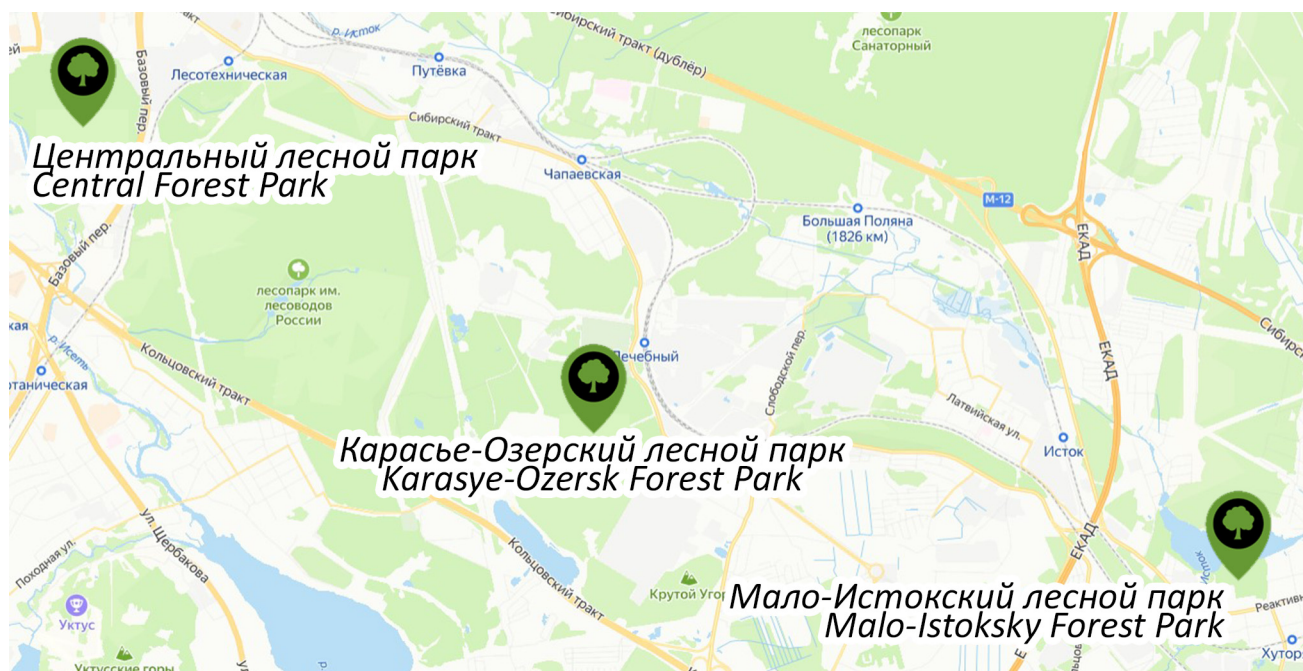


Рис. 1. Расположение изучаемых лесных парков в городской черте Екатеринбурга

Fig. 1. The location of the studied forest parks in the city limits of Yekaterinburg

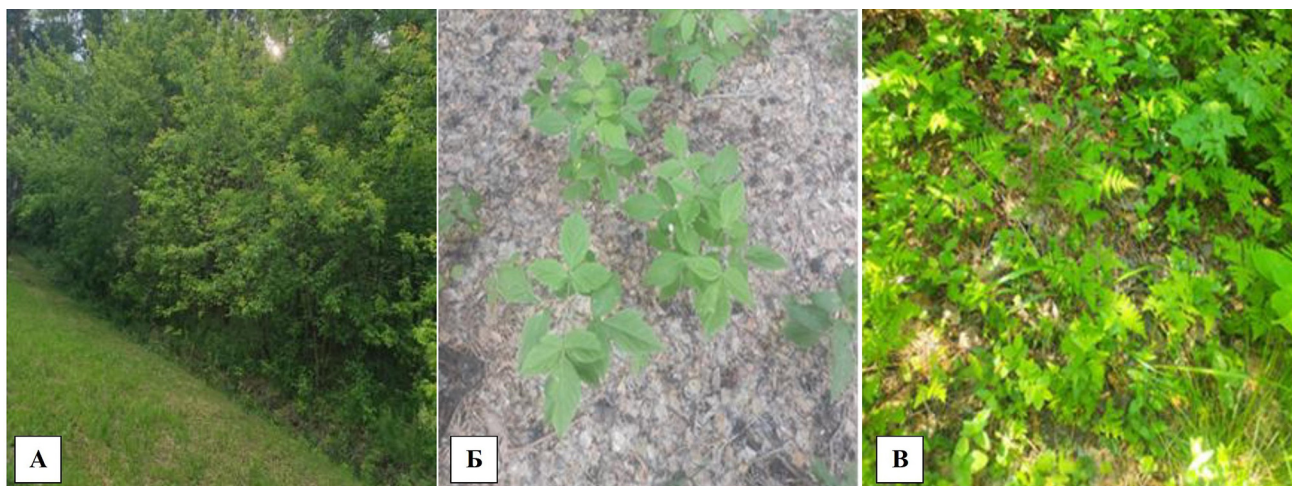


Рис. 2. Участки с генеративными (А), прегенеративными (Б) особями клена и без них (В) в исследуемых лесных парках Екатеринбурга

Fig. 2. Plots with generative (A), pregenerative (B) maple individuals and without them (B) in the studied forest parks of Yekaterinburg

Исследуемые лесные парки Екатеринбурга с участками отбора образцов почв
The studied forest parks of Yekaterinburg with soil sampling sites

№ образца № the sample	Экспериментальный участок Experimental area
Карасье-озерский лесной парк Karasye-ozersk forest park	
1	Участок с генеративными особями клена From a site with generative maple individuals
2	Участок с прегенеративными особями клена A site with pregenerative maple individuals
3	Участок без клена Plot without maple
Мало-истокский лесной парк Malo-istoksky Forest Park	
4	Участок с генеративными особями клена From a site with generative maple individuals
5	Участок с прегенеративными особями клена A site with pregenerative maple individuals
6	Участок без клена Plot without maple
Центральный лесной парк Central Forest Park	
7	Участок с генеративными особями клена From a site with generative maple individuals
8	Участок с прегенеративными особями клена A site with pregenerative maple individuals
9	Участок без клена Plot without maple

Таблица 1
Table 1

Контролем служила смесь торф – песок в соотношении 7:3. Определение проводили в пяти параллельных измерениях (5 планшетов по 5 семян *Lepidium sativum* в каждом).

Обобщенный показатель индекса фитотоксичности по двум тест-факторам рассчитывали как их среднее арифметическое. Оценку фитотоксичности исследуемых образцов почв проводили по шкале Кабилова – Багдасаряна (Кабилов и др., 1997; Багдасарян, 2005) (табл. 2).

Результаты и их обсуждение

Клен ясенелистный, по данным лесоустроительных материалов, внедрился в 13 из 15 лесных парков Екатеринбурга и формирует вторичный ареал (Орехова, Тишкина, 2022). Для анализа экологических показателей почв были отобраны 9 образцов (см. табл. 1) из трех лесных парков Екатеринбурга.

Проведенные исследования почв экспериментальных участков показали, что величина актуальной кислотности (рН водной вытяжки) варьирует в интервале показателей кислых и слабокислых почв (табл. 3).

Можно отметить определенную мозаичность в кислотности почв в пределах одного лесного парка. Наибольшие различия в величине актуальной кислотности почвы на экспериментальных участках выявлены для Карасье-Озерского парка (размах

Таблица 2
Table 2

Оценка фитотоксичности почв по шкале Кабилова – Багдасаряна
Assessment of soil phytotoxicity on the Kabirov – Baghdasaryan scale

Класс токсичности Toxicity class	Величина ИТФ Value of ITF	Пояснения Explanation
<i>VI (стимуляция)</i> <i>VI (stimulation)</i> – значительная – significant – выраженная – pronounced – заметная – noticeable – средняя – average – слабая – weak	> 1,60 1,50–1,60 1,50 1,11–1,40 1,10	Фактор оказывает стимулирующее действие на тест-объекты. Величина тест-функции в опыте превышает контрольное значение The factor has a stimulating effect on test objects. The value of the test function in the experiment exceeds the control value
<i>V (норма)</i> <i>V (normal)</i>	0,91–1,10	Фактор не оказывает существенного влияния на развитие тест-объектов. Величина тест-функций находится на уровне контроля The factor does not have a significant impact on the development of test objects. The value of the test functions is at the control level
<i>IV (низкая токсичность)</i> <i>IV (low toxicity)</i>	0,71–0,90	Разная степень снижения величины тест-функций в опыте по сравнению с таковой на контроле There is a different degree of decrease in the value of the test functions in the experiment compared with the control
<i>III (средняя)</i> <i>III (medium)</i>	0,50–0,70	
<i>II (высокая)</i> <i>II (high)</i>	< 0,50 (ниже индекса LD50, принятого в токсикологии) (below the LD50 index accepted in toxicology)	
<i>I (сверхвысокая, вызывающая гибель тест-объекта)</i> <i>I (ultra-high, causing death of the test object)</i>	Среда не пригодна для жизни тест-объекта The environment is not suitable for the life of the test object	Наблюдается гибель тест-объектов The death of test objects is observed

варьирования составил 1,69 единиц рН). При этом не обнаружено определенной закономерности в изменении кислотности почв на экспериментальных участках в пределах одного лесного парка.

В результате определения содержания элементов минерального питания в почвах исследованных лесных парков был выявлен очень низкий (для N/NO₃) и низкий (для K₂O) уровень обеспеченности почв этими элементами. Исключение составляют почвы Карасье-Озерского лесного парка

с участков с прегенеративными особями клена и без клена, для которых содержание K₂O характеризуется средним уровнем.

Обработка результатов биотестирования исследуемых почв по оцениваемым тест-факторам показала, что длина корня *Lepidium sativum* варьировала от 0 до 41 мм, а ростка – от 0 до 78 мм. Рассчитанные по результатам биотестирования индексы токсичности исследуемых почв представлены в табл. 4.

Таблица 3
Table 3

Актуальная кислотность и обеспеченность почв лесных парков Екатеринбурга элементами минерального питания
Indicators of mineral nutrition elements and soil acidity levels in Yekaterinburg forest parks

Образец Sample	Актуальная кислотность Actual acidity	Содержание, мг/100 г почвы Content, mg/100 g of soil	
		N/NO ₃	K ₂ O
1	5,84	0,27	5,92
2	4,15	0,39	9,42
3	5,15	1,95	8,39
4	5,29	0,39	4,72
5	5,53	0,61	7,47
6	5,30	1,38	4,72
7	4,73	0,28	5,93
8	6,14	1,23	4,72
9	5,95	0,27	5,93

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что, согласно шкале Кабирова и Багдасаряна, исследуемые почвы всех лесных парков независимо от экспериментальных участков практически не оказывают влияния на рост корня тест-организма, величина тест-функции

Таблица 4
Table 4

Индексы токсичности образцов почв
Toxicity index of soil samples

№ образца № sample	ИТФ по корню ITF (root)	ИТФ по ростку ITF (sprout)	ИТФ общее ITF (general)
1	0,89	0,75	0,82
2	1,02	0,82	0,92
3	1,02	0,82	0,92
4	0,98	0,48	0,73
5	1,05	0,67	0,86
6	1,17	0,76	0,96
7	0,96	0,68	0,82
8	1,10	0,66	0,88
9	0,92	0,51	0,72

находится на уровне контроля (класс токсичности V – норма) (рис. 3). Исключение оставляют образец почвы 1 (низкая токсичность, класс токсичности IV) и образец 6, который вызывает стимулирующий эффект на среднем уровне (класс токсичности VI).

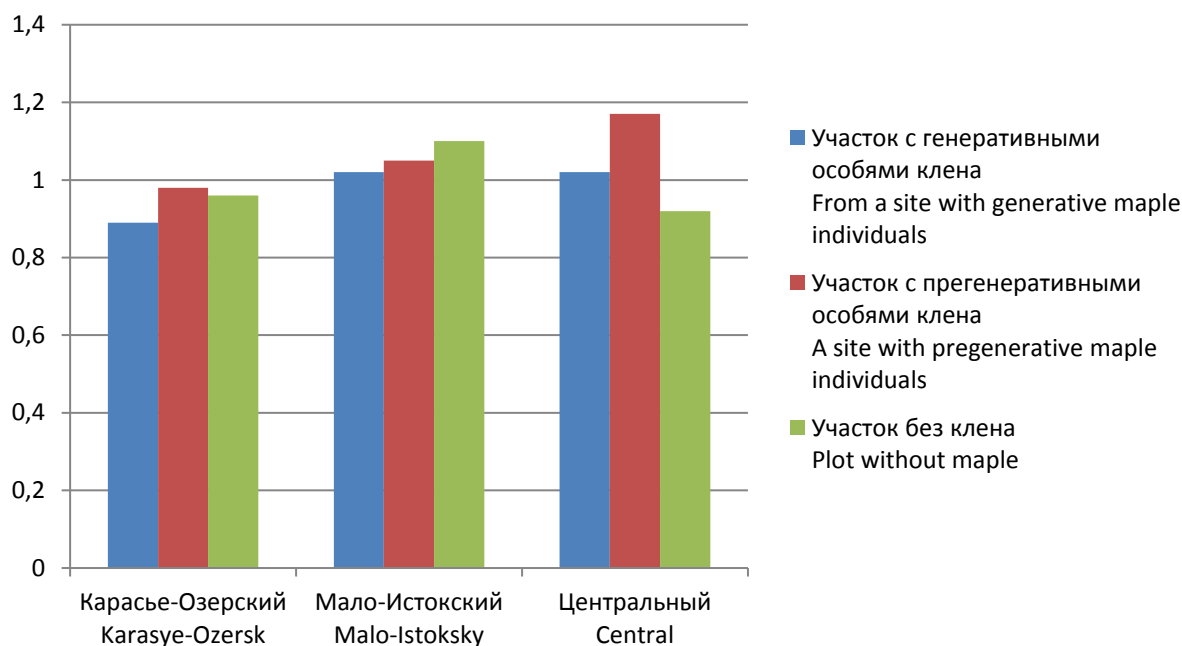


Рис. 3. Величина ИТФ почв лесных парков по длине корня *Lepidium sativum*
Fig. 3. The value of the ITF of the soils of forest parks along the length of the root of *Lepidium sativum*

Значения ИТФ, рассчитанные по длине ростка *Lepidium sativum*, показывают угнетающее действие всех исследуемых почв. При этом наблюдается разная степень снижения величины тест-функции относительно таковой на контроле, что характеризуется IV–II классом токсичности (низкая – высокая токсичность) (рис. 4). Низкая токсичность почвы выявлена во всех местообитаниях *A. negundo* Карасье-Озерского лесного парка, средняя – в Центральном парке. Токсичность почвы экспериментальных участков Мало-Истокского лесного парка различна, при этом наблюдается тенденция ее уменьшения от высокой до низкой

в ряду участок с генеративными особями клена – участок с прегенеративными особями – участок без клена.

Подобная тенденция выявлена при оценке уровня фитотоксичности почвы по величине общего показателя ИТФ для Карасье-Озерского и Мало-Истокского лесных парков, где в выше-рассмотренном ряду местообитаний *A. negundo* токсичность почвы снижается от низкого до контрольного уровня. Почвы всех экспериментальных участков в Центральном лесном парке по величине общего ИТФ характеризуются низкой токсичностью (IV класс).

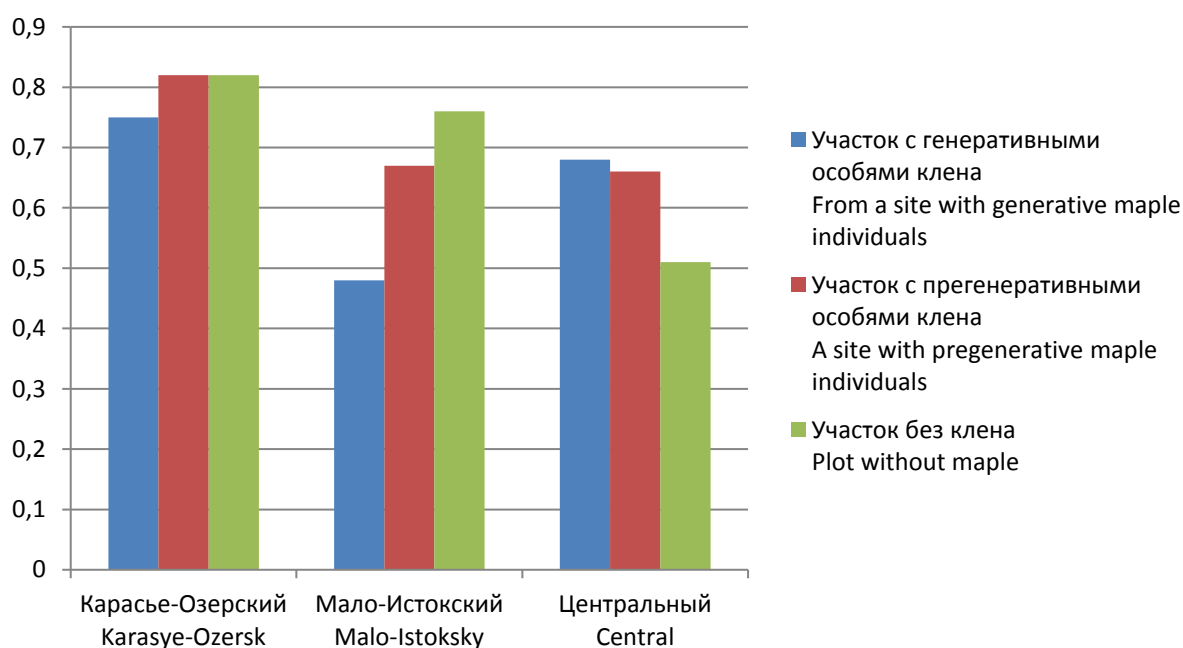


Рис. 4. Величина ИТФ почв лесных парков по длине ростка *Lepidium sativum*

Fig. 4. The value of the ITF of the soils of forest parks along the length of the *Lepidium sativum* sprout

Выводы

В эксперименте по оценке фитотоксичности почв с участием *Acer negundo* показано, что клен влияет на раннее развитие *Lepidium sativum*. Прослеживается определенная тенденция в изменении величин ИТФ в разных местообитаниях клена, что, вероятно, может быть связано с аллелопатией. Таким образом, получено свидетельство, что воздействия аллелопатического характера могут быть реальным механизмом, обеспечивающим эколо-

гический успех *A. negundo* во вторичном ареале. Поэтому для более определенных заключений об аллелопатии как механизме экологического успеха *A. negundo* при инвазии в лесные парки Екатеринбурга необходимы дальнейшие исследования в широком географическом охвате и с использованием разных схем экспериментов, в том числе с применением других тест-растений (например, ржи, редиса и т. д.).

Список источников

- Александров Д. С., Калашиников Д. В. Влияние экстрактов листового опада клена остролистного и клена ясенелистного на прорастание семян и начальные этапы роста газонных трав и декоративных однолетников // Вестник ландшафтной архитектуры. 2019. № 19. С. 3–6.
- Аллелопатические свойства *Acer negundo* / Н. Н. Панасенко, В. В. Володин, Ю. С. Володченко, М. С. Холленко // Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований. 2018. № 1 (10). С. 34–36.
- Багдасарян А. С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов : автореферат дис. ... канд. биол. наук / Багдасарян Александр Сергеевич. Ставрополь, 2005. 25 с.
- Веселкин Д. В., Рафикова О. С., Екишбаров Е. Д. Почва из зарослей инвазивного *Acer negundo* неблагоприятна для образования микоризы у аборигенных трав // Журн. общ. биол. 2019. Т. 80. № 3. С. 214–225.
- ГОСТ Р ИСО 18763–2019 Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 августа 2019 г. № 497-ст). URL: <https://files.stroyinf.ru/> (дата обращения: 10.02.2024).
- ГОСТ 17.4.4.02–2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М. : Стандартинформ. 2019. 10 с.
- ГОСТ 26951–86. Почвы. Определение нитратов потенциометрическим методом. М. : Изд-во стандартов, 1986. 10 с.
- ГОСТ 27753.6–88. Грунты тепличные. Методы определения водорастворимого калия. М. : Изд-во стандартов, 1988. 8 с.
- Еременко Ю. А. Аллелопатическая активность инвазионных древесных видов // Российский журн. биол. инвазий. 2014. Т. 7. № 2. С. 33–39.
- Кабиров Р. Р., Сагитова А. Р., Суханова Н. В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология. 1997. № 6. С. 408–411.
- Лантинова А. В., Марина Н. В. Методические подходы к определению фитотоксичности почв // Современное состояние и перспектива развития сети особо охраняемых природных территорий в промышленно развитых регионах : матер. II Всерос. конф., посвящ. 25-летию природного парка «Нумто». Екатеринбург : Ассорти, 2022. С. 73–77.
- Минеев В. Г. Практикум по агрохимии. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1989. 304 с.
- Орехова О. Н., Тишкина Е. А. Индивидуальное развитие *Acer negundo* L. и оценка его состояния при инвазии в лесопарк им. Лесоводов России // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2022. № 4 (69). С. 133–139.
- Цандекова О. Л., Уфимцев В. И. Формирование подстилки пойменных лесных биогеоценозов с участием *Acer negundo* L. // Изв. высш. учеб. завед. Лесн. журн. 2019. № 3 (369). С. 73–81.
- Allelopathic potential of some invasive plant species occurring in Hungary / Á. Csiszár, M. Korda, D. Schmidt [et al.] // Allelopathy J. 2013. Vol. 31. № 2. P. 309–318.
- Brouwer N. L., Hale A. N., Kalisz S. Mutualism-disrupting allelopathic invader drives carbon stress and vital rate decline in a forest perennial herb // AoB Plants. 2015. Vol. 7. P. 14.
- Callaway R. M., Ridenour W. M. Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability // Front. Ecol. Environ. 2004. Vol. 2. № 8. P. 436–443.
- Csiszár Á. Allelopathic effects of invasive woody plant species in Hungary // Acta Silv. et Lignaria Hungarica. 2009. Vol. 5. P. 9–17.

- Effect of allelopathy on plant performance: a meta-analysis / *Z. Zhang, Y. Liu, L. Yuan* [et al.] // *Ecol. Lett.* 2021. Vol. 24. № 2. P. 348–362.
- Klironomos J. N.* Feedback with soil biota contributes to plant rarity and invasiveness in communities // *Nature*. 2002. Vol. 417. № 6884. P. 67–70.
- Phylogenetic conservatism in plant-soil feedback and its implications for plant abundance / *B. L. Anacker, J. N. Klironomos, H. Maherali* [et al.] // *Ecol. Lett.* 2014. Vol. 17. № 12. P. 1613–1621.
- Weidenhamer J. D., Callaway R. M.* Direct and indirect effects of invasive plants on soil chemistry and ecosystem function // *J. Chem. Ecol.* 2010. Vol. 36. № 1. P. 59–69.

References

- Alexandrov D. S., Kalashnikov D. V.* The effect of extracts of leaf litter of holly maple and ash maple on seed germination and the initial stages of growth of lawn grasses and ornamental annuals // *Bulletin of Landscape Architecture*. 2019. № 19. P. 3–6. (In Russ.)
- Allelopathic potential of some invasive plant species occurring in Hungary / *Á. Csiszár, M. Korda, D. Schmidt* [et al.] // *Allelopathy J.* 2013. Vol. 31. № 2. P. 309–318.
- Allelopathic properties of *Acer negundo* / *N. N. Panasenko, V. V. Volodin, Yu. S. Volodchenko, M. S. Holenko* // *Yearbook of the Research Institute of Fundamental and Applied Research*. 2018. № 1 (10). P. 34–36. (In Russ.)
- Bagdasaryan A. S.* Biotesting of soils of technogenic zones of urban territories using plant organisms: abstract of the dissertation of the candidate of Biol. sciences. Stavropol, 2005. 25 p.
- Brouwer N. L., Hale A. N., Kalisz S.* Mutualism-disrupting allelopathic invader drives carbon stress and vital rate decline in a forest perennial herb // *AoB Plants*. 2015. Vol. 7. P. 14.
- Callaway R. M., Ridenour W. M.* Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability // *Front. Ecol. Environ.* 2004. Vol. 2. № 8. P. 436–443.
- Csiszár Á.* Allelopathic effects of invasive woody plant species in Hungary // *ActaSilv. et LignariaHungarica*. 2009. Vol. 5. P. 9–17.
- Effect of allelopathy on plant performance: a meta-analysis / *Z. Zhang, Y. Liu, L. Yuan* [et al.] // *Ecol. Lett.* 2021. Vol. 24. № 2. P. 348–362.
- GOST R ISO 18763-2019 Soil quality. Determination of the toxic effects of pollutants on germination and growth in the early stages of higher plants (approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated August 13, 2019. № 497-st). URL: <https://files.stroyinf.ru> (accessed 02.10.2024).
- GOST 17.4.4.02–2017. Nature conservation. Soils. Methods of sampling and preparation of samples for chemical, bacteriological, helminthological analysis. Moscow : Standartinform. 2019. 10 p. (In Russ.)
- GOST 26951–86. Soils. Determination of nitrates by the potentiometric method. Moscow : Publishing House of Standards, 1986. 10 p. (In Russ.)
- GOST 27753.6–88. Greenhouse soils. Methods for the determination of water-soluble potassium. Moscow : Publishing House of standards, 1988. 8 p. (In Russ.)
- Kabirov R. R., Sagitova A. R., Sukhanova N. V.* Development and use of a multicomponent test system for assessing the toxicity of urban soil cover // *Ecology*. 1997. № 6. P. 408–411. (In Russ.)
- Klironomos J. N.* Feedback with soil biota contributes to plant rarity and invasiveness in communities // *Nature*. 2002. Vol. 417. № 6884. P. 67–70.
- Lantinova A. V., Marina N. V.* Methodological approaches to the determination of phytotoxicity of soils // *Current state and prospects of development of a network of specially protected natural territories in industrially developed regions: Materials of the II All-Russian conference dedicated to the 25th anniversary of the Numto Natural Park*. Yekaterinburg : Assorted, 2022. P. 73–77. (In Russ.)

- Mineev V. G. Workshop on agrochemistry. Moscow : Publishing House of the Moscow University, 1989. 304 p.
- Orekhova O. N., Tishkina E. A. Individual development *Acer negundo* L. and an assessment of his condition during the invasion of the forest park named after him. Foresters of Russia // Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov. 2022. № 4 (69). P. 133–139. (In Russ.)
- Phylogenetic conservatism in plant-soil feedback and its implications for plant abundance / B. L. Anacker, J. N. Klironomos, H. Maherali [et al.] // Ecol. Lett. 2014. Vol. 17. № 12. P. 1613–1621.
- Tsandekova O. L., Ufimtsev V. I. Formation of the litter of floodplain forest biogeocenoses with the participation of *Acer negundo* L. // Izv. of higher educational institutions. Forest magazine. 2019. № 3 (369). P. 73–81. (In Russ.)
- Veselkin D. V., Rafikova O. S., Ekshibarov E. D. Soil from the thickets of the invasive *Acer negundo* is unfavorable for the formation of mycorrhiza in native grasses // Journal. Biol. 2019. Vol. 80. № 3. P. 214–225. (In Russ.)
- Weidenhamer J. D., Callaway R. M. Direct and indirect effects of invasive plants on soil chemistry and ecosystem function // J. Chem. Ecol. 2010. Vol. 36. № 1. P. 59–69.
- Yeremenko Yu. A. Allelopathic activity of invasive tree species // Russian Journal of Biology invasions. 2014. Vol. 7. № 2. P. 33–39. (In Russ.)

Информация об авторах

- E. A. Тишкина – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
Elena.MLOB1@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6315-2878>
- H. B. Марина – кандидат химических наук, доцент,
marinanv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0009-0003-5234-6652>
- A. B. Лантинова – старший преподаватель,
lantinovaan@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4670-1879>
- A. S. Житкова – студент, zhitkovaas@m.usfeu.ru
- K. P. Калиева – студент, ksyu_kalieva@mail.ru
- E. A. Русина – инженер, thisiskotarohayama@gmail.com

Information about the authors

- E. A. Tishkina – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Elena.MLOB1@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6315-2878>
- N. V. Marina – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,
marinanv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0009-0003-5234-6652>
- A. V. Lantinova – senior lecturer,
lantinovaan@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4670-1879>
- A. S. Zhitkova – student, zhitkovaas@m.usfeu.ru
- K. R. Kalieva – student, ksyu_kalieva@mail.ru
- E. A. Rusinova – engineer, thisiskotarohayama@gmail.com

Статья поступила в редакцию 22.02.2024; принята к публикации 01.04.2024.

The article was submitted 22.02.2024; accepted for publication 01.04.2024.
