

Научная статья

УДК 581:502(470.343-25)

DOI: 10.32516/2303-9922.2024.49.9

Содержание тяжелых металлов в почве и хвое *Picea pungens* Engelm. в условиях городской среды (на примере г. Йошкар-Олы)

Екатерина Александровна Старикова¹, Ольга Леонидовна Воскресенская²,
Елена Александровна Алябышева³

¹⁻³ Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия

¹ katya-starikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4986-9693>

² voskres2006@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4710-6641>

³ e_alab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8101-7941>

Аннотация. В статье представлены результаты изучения содержания тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu) в почве и хвое ели колючей (*Picea pungens* Engelm.), произрастающей в условиях урбаноcреды (г. Йошкар-Ола). Установлено, что в почвах исследуемых функциональных зон не было превышений гигиенических нормативов по свинцу и меди, но несколько превышено содержание кадмия (1,11 ОДК) в промышленной зоне. Зольность и содержание ТМ в хвое растений, произрастающих в промышленной зоне, были наибольшими. В ходе проведенных исследований установлено, что в хвое ели колючей тяжелые металлы накапливались в следующем возрастающем ряду: Cd < Pb < Cu. Коэффициент биологического поглощения Pb и Cu у ели колючей во всех зонах г. Йошкар-Олы был меньше 1,0, что свидетельствует о низкой интенсивности их поглощения. Биогеохимическая активность ели колючей была наибольшей в рекреационной зоне города.

Ключевые слова: ель колючая, тяжелые металлы, хвоя, коэффициент биологического поглощения, биогеохимическая активность, городская среда.

Для цитирования: Старикова Е. А., Воскресенская О. Л., Алябышева Е. А. Содержание тяжелых металлов в почве и хвое *Picea pungens* Engelm. в условиях городской среды (на примере г. Йошкар-Олы) // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2024. № 1 (49). С. 180—190. URL: http://vestospu.ru/archive/2024/articles/49/9_49_2024.pdf. DOI: 10.32516/2303-9922.2024.49.9.

Original article

Heavy metals content in the soil and needles of *Picea pungens* Engelm. in urban environment (by the example of Yoshkar-Ola)

Ekaterina A. Starikova¹, Olga L. Voskresenskaya², Elena A. Alyabysheva³

¹⁻³ Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia

¹ katya-starikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4986-9693>

² voskres2006@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4710-6641>

³ e_alab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8101-7941>

Abstract. The article presents the results of a study of heavy metals content (Pb, Cd, Cu) in the soil and needles of *Picea pungens* (Engelm.) growing in an urban environment (Yoshkar-Ola). No excess of hygienic standards for lead, copper and iron was found in the soils, whereas the content of cadmium was slightly higher (1.11 APC) (Approximate permissible concentration) in the industrial zone. The ash content and heavy metals content in the needles of plants growing in the industrial zone was the highest. Heavy metals were found to accumulate in the needles of *P. pungens* in the following increasing order: Cd < Pb < Cu. The biological absorption coefficient (BAC) of Pb, Cu by *P. pungens* in all the areas of Yoshkar-Ola was less than 1.0, which indicates a low intensity of absorption. The biogeochemical activity of *P. pungens* was the highest in the recreational area of the city.

© Старикова Е. А., Воскресенская О. Л., Алябышева Е. А., 2024

Keywords: *Picea pungens* Engelm., heavy metals, needles, biological absorption coefficient, biogeochemical activity, urban ecosystem.

For citation: Starikova E. A., Voskresenskaya O. L., Alyabysheva E. A. Heavy metals content in the soil and needles of *Picea pungens* Engelm. in urban environment (by the example of Yoshkar-Ola). *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal*, 2024, no. 1 (49), pp. 180—190. DOI: <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2024.49.9>.

Введение

Загрязнение компонентов природной среды тяжелыми металлами (ТМ) в настоящее время является острой экологической проблемой, которая наиболее ярко проявляется в урбоэкосистемах. Городские растения являются важнейшими индикаторами изменений концентраций тяжелых металлов в окружающей среде. Поглощение ТМ растениями происходит посредством корневого поглощения и через осаждение на листовом аппарате и коре [11; 23; 24; 26].

Хвойные растения являются одними из распространенных видов-индикаторов состояния окружающей среды и в то же время используются в озеленении улиц г. Йошкар-Олы. К числу таких видов относится ель колючая *P. pungens*.

Цель работы — проанализировать содержание тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu) в почве и хвое *P. pungens* из разных функциональных зон г. Йошкар-Олы.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в трех функциональных зонах г. Йошкар-Олы, различающихся по антропогенному воздействию: рекреационная зона — Центральный парк культуры и отдыха им. 30-летия ВЛКСМ, селитебная зона — бул. Чавайна, промышленная зона — ул. Строителей.

Объектами исследования были дерново-подзолистая почва и хвоя второго года жизни *P. pungens* из разных функциональных зон. Ель колючая (*Picea pungens* Engelm.) — это интродуцированный вид из Северной Америки, дерево высотой до 30—45 м, с плотной, конусовидной кроной; кора шелушащаяся, коричнево-серая; молодые побеги толстые, оранжево-коричневые, голые или опушенные. Хвоя — жесткая, грубая, колкая, в среднем длиной около 30—40 мм, четырехгранная, обладает оригинальной окраской: зеленая, серебристая, сизо-голубая; продолжительность жизни хвои составляет 4—6 (9) лет. Ель колючая — одна из самых декоративных елей из рода *Picea* A. Dietr. и ценится в ландшафтном дизайне [3; 4; 10; 18; 21, с. 37].

Известно, что насаждения *P. pungens* отличаются достаточной устойчивостью и долговечностью. Ель колючая устойчива к дыму и газу, особенно ее декоративные формы с сизой и голубой хвоей [21, с. 98].

Сбор растительного материала (хвоя второго года жизни) проводили с десяти деревьев *P. pungens* с нижней части южной стороны кроны. Одновременно с пробоотбором растительных образцов осуществляли сбор почвенных образцов с глубины 0—20 см согласно ГОСТ 17.4.3.01-83 [5] в сентябре 2022 г. Почву отбирали методом «конверта», средний образец состоял из пяти частных проб. Все исследуемые пробы (почвенные и растительные образцы) сушили до воздушно-сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы и измельчали. Далее высушенные образцы хвои предварительно озоляли в муфельной печи и определяли массу золы, рассчитывали зольность.

Анализ содержания ТМ в почве и озоленном растительном материале проводили в лабораториях ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет» и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Марий Эл» атомно-абсорбционным методом на спектрометре AAnalyst-400 (PerkinElmer, USA). Для определения степени накопления

элементов в растениях *P. pungens* рассчитывали следующие коэффициенты: биологического поглощения (КБП) — отношение содержания ТМ в золе хвои к его содержанию в почве [2; 13] и биогеохимической активности вида (БХА) — сумма КБП свинца, меди, кадмия и железа [2]. Полученные результаты обрабатывали с помощью программ Microsoft Excel и Statistica 10.0. Достоверность различий обсуждалась при 5% уровне значимости.

Результаты исследования и их обсуждение

В озеленении г. Йошкар-Олы ель колючая представлена как одиночными деревьями, так и группами деревьев и рядовыми посадками, высаженными в аллеи или по однорядной схеме. Наиболее часто встречаются рядовые посадки. Такое композиционное решение применяется как элемент сквера/парка, санитарно-защитной зоны предприятий, примагистрального озеленения для защиты прилегающих жилых кварталов от негативного влияния транспорта [1].

По основным химическим показателям городские почвы значительно отличаются от природных. Важный показатель химического преобразования урбаноземов — степень насыщенности тяжелыми металлами [11; 16; 26].

На рисунке 1 показано валовое содержание тяжелых металлов (мг/кг) в почвах разных функциональных зон г. Йошкар-Олы.

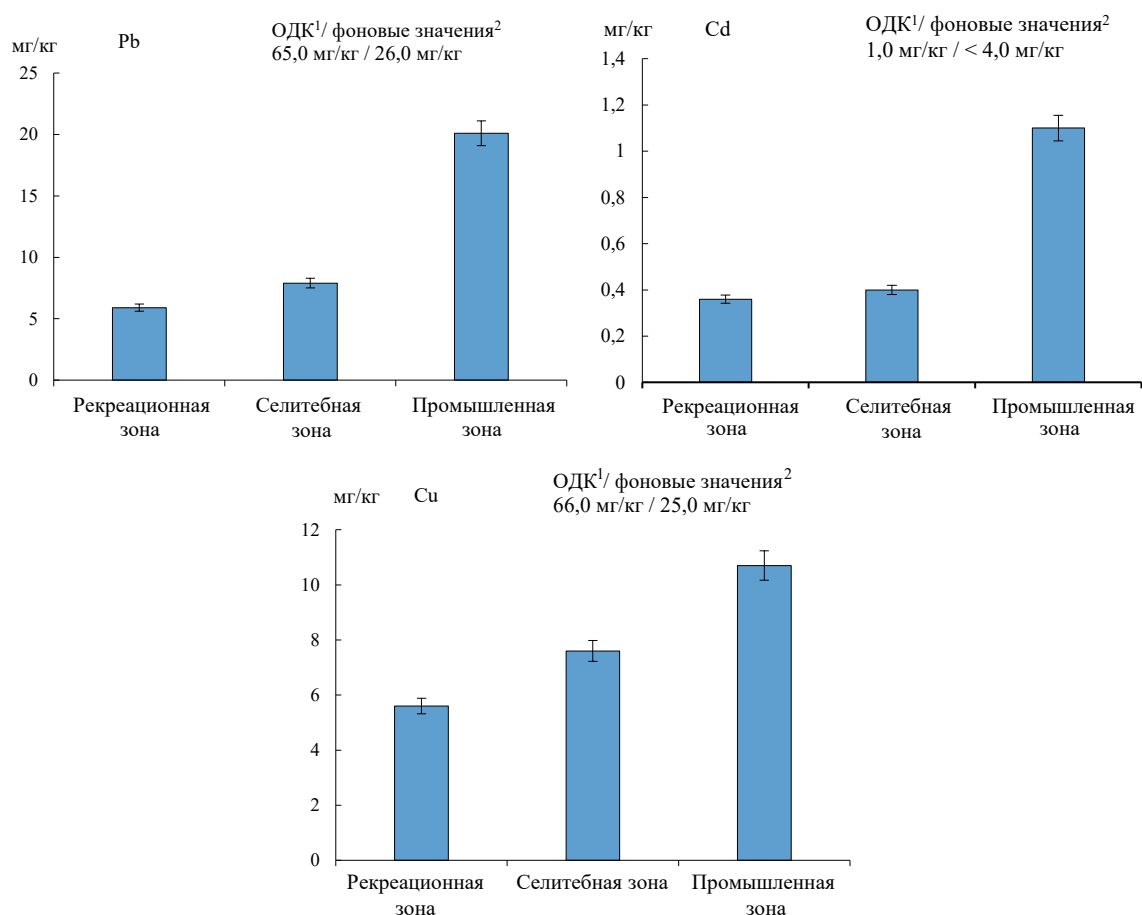


Рис. 1. Валовое содержание тяжелых металлов в почвах г. Йошкар-Олы.

Примечания: ¹ СанПиН 1.2.3685-21. Раздел IV. Почва населенных мест и сельскохозяйственных угодий (М., 2021); ² Эколого-географический атлас Республики Марий Эл (<http://geo12.pf/atlas>) (p < 0,05)

Наиболее токсичными для растений среди тяжелых металлов являются свинец и кадмий в высоких концентрациях [25]. Как показано на рисунке 1, наименьшее содержание

свинца и кадмия было обнаружено в почвенных пробах из рекреационной зоны — 5,94 и 0,36 мг/кг соответственно. Статистически значимых различий по содержанию свинца и кадмия в почве селитебной и рекреационной зон не выявлено ($p > 0,05$). Почва промышленной зоны характеризовалась наибольшим содержанием исследуемых ТМ: содержание свинца было в 3,4 раза ($p = 10^{-6}$), кадмия — в 3,1 раза ($p = 10^{-6}$) выше, чем в почвах из рекреационной зоны. Содержание кадмия незначительно превышало ОДК (ОДК Cd = 1,0 мг/кг). Наименьшее содержание меди было обнаружено в почвенных пробах рекреационной зоны — 5,63 мг/кг. Содержание исследуемого металла в почве жилой зоны увеличилось в 1,4 раза ($p = 10^{-6}$), в промышленной зоне — в 1,9 раза ($p = 10^{-6}$) по сравнению с рекреационной зоной.

Таким образом, наибольшим содержанием ТМ из исследуемых зон характеризовалась почва промышленного района г. Йошкар-Олы. В исследуемых образцах почвы содержание тяжелых металлов было в пределах ОДК по содержанию валовых форм Pb и Cu, кроме Cd (1,11 ОДК).

Также в ходе работы определяли зольность хвои модельного вида. Зольность — один из важных биогеохимических параметров, показывающий соотношение минеральных и органических веществ в растительном организме [8; 12; 14; 17; 19]. По зольности листового аппарата можно получить представление о степени загрязнения воздушного бассейна, характеризуя газопоглотительную способность растений [17].

Количество зольных элементов в хвое *P. pungens* составляло 4,47—5,33% (рис. 2). Зольность хвои ели колючей была наименьшей у растений, произрастающих в рекреационной зоне (4,47%). Статистически значимых различий по зольности хвои ели колючей, произрастающей в рекреационной и селитебной зонах, не обнаружено ($p > 0,05$). Несколько бóльшая зольность была характерна для растений ели колючей, произрастающих в промышленном районе.

Таким образом, по мере усиления антропогенной нагрузки зольность хвои *P. pungens* увеличивалась, наибольшие показатели были характерны для растений, произрастающих в промышленной зоне.

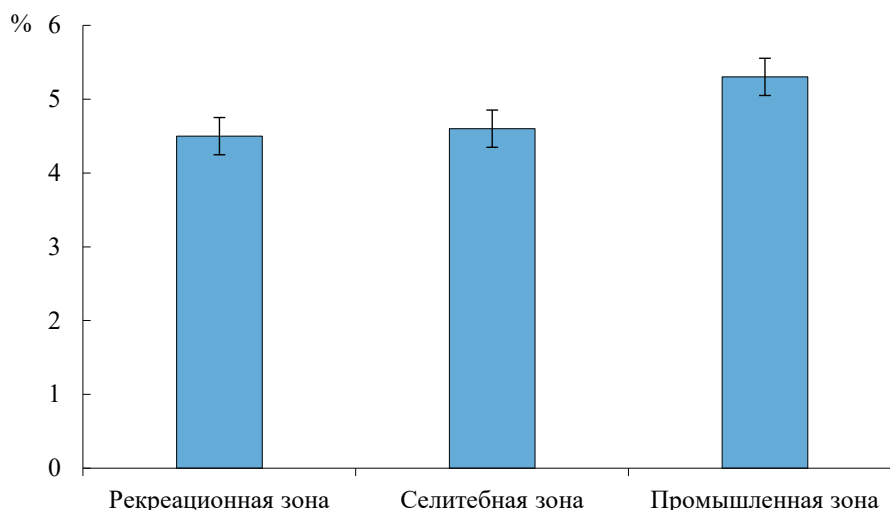


Рис. 2. Зольность хвои ели колючей, произрастающей в г. Йошкар-Оле

Результаты наших исследований согласуются с данными работ С. В. Соболевой, О. А. Есяковой, И. С. Почекутова, которые отмечали, что содержание золы в хвое ели сибирской и сосны обыкновенной уменьшалось при удалении от промышленных к лесным районам [15].

М. Д. Уфимцева и Н. В. Терехина указывали, что чем выше зольность, тем лучше растения приспособлены к условиям произрастания [20].

Согласно таблице 1, содержание свинца в хвое *P. pungens* изменялось от 2,09 до 2,62 мг/кг. В хвое растений *P. pungens*, произрастающих в рекреационной зоне, было наименьшее содержание свинца — 2,09 мг/кг. Статистически значимых различий по содержанию свинца в хвое ели колючей, произрастающей в рекреационной и селитебной зонах, не обнаружено ($p > 0,05$). При увеличении антропогенного загрязнения городской среды (промышленная зона) содержание данного элемента в хвое возросло в 1,3 раза ($p = 0,0022$).

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в хвое ели колючей

Функциональная зона	Содержание ТМ, мг/кг		
	Pb	Cd	Cu
Рекреационная	2,09±0,06	< 0,01	3,09±0,04
Селитебная	2,14±0,06	< 0,01	3,39±0,06
Промышленная	2,62±0,06*	< 0,01	3,58±0,06*

Примечание: * достоверные различия в функциональных зонах по сравнению с рекреационной зоной ($p < 0,05$).

По мнению Н. С. Шиховой, высокая аккумуляция свинца хвойными видами в городских условиях объясняется рядом специфических свойств, характерных для данной систематической группы растений: в отличие от листопадных растений аккумуляция поллютантов у хвойных осуществляется в течение нескольких лет, высокая ассимилирующая поверхность хвои, специфика биохимических и биофизических процессов у них способствуют высокой сорбции элементов-загрязнителей на поверхности хвои с последующим вовлечением их в биологический круговорот [22].

Содержание кадмия в хвое *P. pungens* в разных функциональных зонах города оказалось менее 0,01 мг/кг.

Наименьшее содержание меди в хвое ели колючей обнаружено у растений, произрастающих в рекреационной зоне (3,09 мг/кг). Содержание данного элемента в хвое *P. pungens* в селитебной зоне выше на 9,7%, а в промышленной зоне — на 15,9% (табл. 1).

Важным условием нормального функционирования хвои является не только содержание в ней того или иного элемента, но и сбалансированность химического состава, поскольку одни из них могут либо ингибировать, либо стимулировать поглощение растениями других [6, с. 239].

Тяжелые металлы по их содержанию в хвое из разных функциональных зон г. Йошкар-Олы объединяются между собой в разные кластеры (рис. 3). В первый кластер вошли растения, произрастающие в селитебной и промышленной зонах, во второй — растения ели колючей рекреационной зоны. Таким образом, растения *P. pungens* селитебной и промышленной зон были близки по накоплению ТМ в ассимиляционных органах.

Для установления степени влияния элементного состава почвы на химический состав хвои ели колючей была проведена оценка зависимости. Так, в ходе корреляционного анализа установлены достоверные положительные взаимосвязи между содержанием свинца в почве и хвое у растений *P. pungens*, произрастающих в селитебной зоне ($r = 0,71$, $p < 0,05$).

Таким образом, суммарное содержание свинца, кадмия и меди в хвое растений *P. pungens*, произрастающих в рекреационной зоне, составило 5,19 мг/кг, в селитебной — 5,54 мг/кг, в промышленной — 6,21 мг/кг. В процентном соотношении можно

построить следующий возрастающий ряд по содержанию ТМ: $Cd < Pb < Cu$. Хвоя растений, произрастающих в промышленной зоне, характеризовалась наибольшей аккумулирующей способностью ТМ.

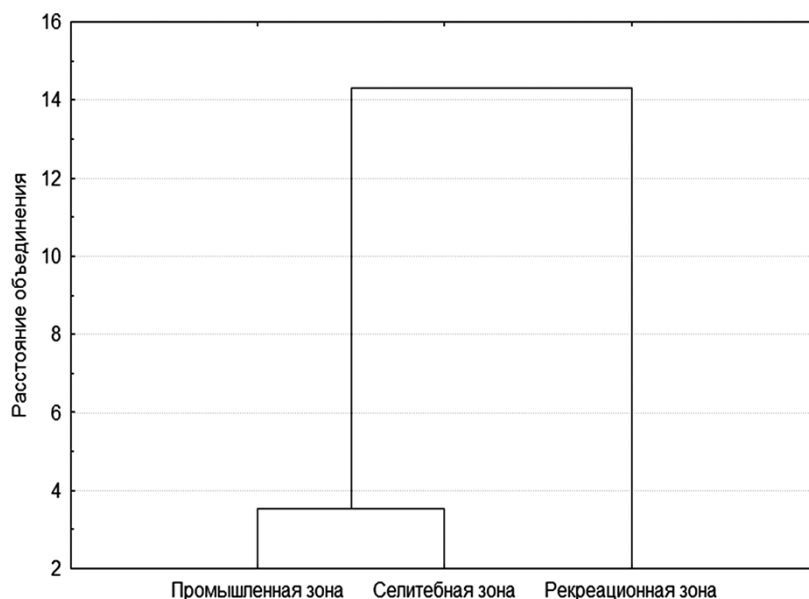


Рис. 3. Дендрограмма сходства содержания тяжелых металлов в хвое ели колючей

Наши данные согласуются с результатами Т. В. Зубковой и О. А. Дубровиной, исследовавших содержание меди, свинца, цинка и кадмия в хвое первого года жизни *P. pungens* и *T. occidentalis* в различных функциональных зонах г. Ельца. Например, максимальное накопление ТМ они также обнаружили в хвое растений, произрастающих в зоне с высокой антропогенной нагрузкой [7].

Для оценки интенсивности поглощения ТМ растениями *P. pungens* нами рассчитывался коэффициент биологического поглощения (КБП), представляющий собой частное от деления содержания элемента в золе хвои растений на его содержание в корнеобитаемом слое почвы [2]. В таблице 2 приведены значения коэффициентов биологического поглощения исследуемых ТМ.

Таблица 2

Значения КБП ели колючей на территории г. Йошкар-Олы, отн. ед.

Функциональная зона	Pb	Cd	Cu
Рекреационная	0,35±0,010	—	0,52±0,031
Селитебная	0,27±0,005*	—	0,46±0,023
Промышленная	0,13±0,002*	—	0,33±0,005*

Примечание: * достоверные различия в функциональных зонах по сравнению с рекреационной зоной ($p < 0,05$).

Как видно из таблицы 2, коэффициент биологического поглощения Pb в хвое изменялся от 0,13 до 0,35. Наибольшие значения КБП свинца отмечались в хвое растений рекреационной зоны. У особей, произрастающих в селитебной и промышленной зонах, данный коэффициент был ниже в 1,3 и 2,7 раза соответственно. Аналогичную тенденцию наблюдали и с КБП меди.

Коэффициенты биологического поглощения Pb и Cu в хвое ели колючей увеличивались в ряду: промышленная зона → селитебная зона → рекреационная зона. С увеличе-

нием техногенной нагрузки снижалась интенсивность поглощения елью колючей Pb и Cu.

Величина КБП тяжелых металлов была меньше 1,0, что свидетельствует о низкой интенсивности их поглощения (табл. 2).

На основе данных о коэффициентах биологического поглощения Pb и Cu была рассчитана биогеохимическая активность (БХА) ели колючей из разных функциональных зон г. Йошкар-Олы (рис. 4). Биогеохимическая активность вида — это величина, получаемая при суммировании значений коэффициентов биологического поглощения отдельных минеральных элементов [2]. Расчет данного коэффициента выявил изменения биогеохимической активности вида в зависимости от уровня загрязнения городской среды.

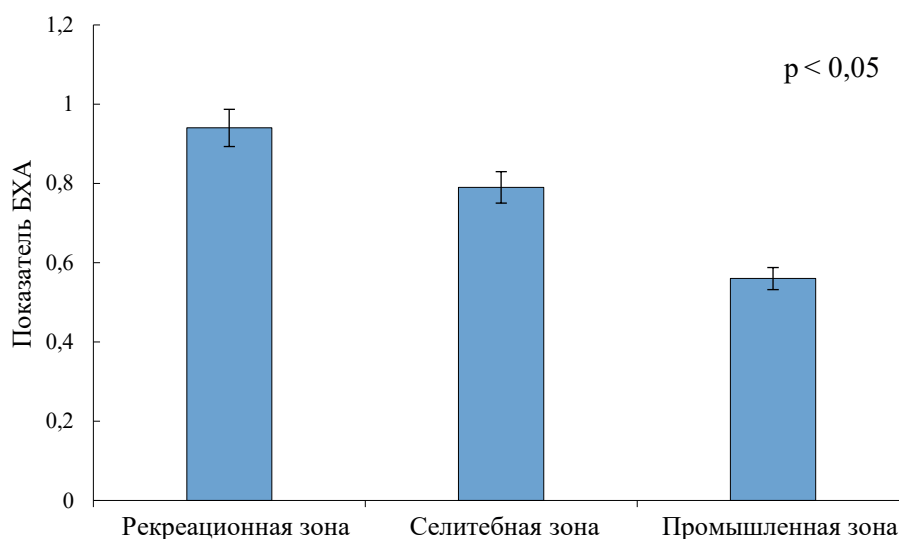


Рис. 4. Биогеохимическая активность ели колючей в условиях г. Йошкар-Олы, отн. ед.

Биогеохимическая активность ели колючей изменялась от 0,46 до 0,87. У растений *P. pungens*, произрастающих в рекреационной зоне, показатель БХА был наибольшим (0,87) (рис. 4). У особей ели колючей, произрастающих в селитебной зоне, биогеохимическая активность незначительно уменьшилась. Биогеохимическая активность растений в промышленной зоне была ниже в 1,9 раза, чем у растений рекреационной зоны, что, по-видимому, связано с активацией биохимических защитных механизмов, приводящих к торможению избыточного поступления ТМ в растительный организм.

Заключение

Таким образом, почвенный покров г. Йошкар-Олы — неоднородная природно-антропогенная биогеохимическая система. Проведенные исследования показали, что в почвах исследуемых функциональных зон содержание тяжелых металлов не превышало гигиенических нормативов (Pb — 5,94—20,10 мг/кг; Cd — 0,36—1,11 мг/кг; Cu — 5,63—10,70 мг/кг), исключение составило содержание Cd в почве промышленной зоны (1,11 ОДК). В целом средние концентрации тяжелых металлов в почвах г. Йошкар-Олы ниже (большинство изученных тяжелых металлов) концентраций в почвах других населенных пунктов России.

Согласно полученным данным наблюдалось увеличение зольных элементов в хвое ели колючей, произрастающей в промышленной зоне, что означает возрастание вклада минеральных компонентов, в том числе тяжелых металлов. Растения *P. pungens*, произрастающие в городской промышленной зоне, отличались более высоким содержанием Pb

(2,62 мг/кг) и Cu (3,58 мг/кг) по сравнению с растениями рекреационной и селитебной зон. В ходе расчетов установлено, что значения КБП исследуемых тяжелых металлов были меньше 1,0 в хвое растений, произрастающих в исследуемых зонах, что свидетельствовало о низкой интенсивности их поглощения. Максимальные значения БХА (0,87) *P. pungens* характерны для растений рекреационной зоны, при возрастании антропогенного загрязнения городской среды биогеохимическая активность вида снижалась.

Список источников

1. Авдеева Е. В., Извеков А. А. Исследование фенологического цикла ели сибирской и колючей в условиях сибирского города // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39, № 2. С. 81—89.
2. Авдощенко В. Г., Климова А. В. Содержание тяжелых металлов в растениях города Петропавловска-Камчатского (Камчатский край) в 2017—2018 гг. // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2020. № 54. С. 48—64. DOI: 10.17217/2079-0333-2020-54-48-64.
3. Бирючев Ф. М. Особенности использования *Picea pungens* Engelm. и *Picea excelsa* (Lam.) Link в зеленом строительстве г. Евпатория // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2012. Вып. 105. С. 28—32.
4. Бухарина И. Л., Поварнищина Т. М. Эколого-биологическая характеристика ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) в условиях городской среды (на примере г. Ижевска) // Самарская Лука. 2008. Т. 17, № 3 (25). С. 618—625.
5. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М. : Стандартинформ, 2008. 3 с.
6. Демаков Ю. П., Сафин М. Г., Швецов С. М. Сосняки сфагновые Марийского Полесья: структура, рост и продуктивность. Йошкар-Ола : Марийский гос. тех. ун-т, 2012. 276 с.
7. Зубкова Т. В., Дубровина О. А. Анализ содержания тяжелых металлов в однолетней хвое ели колючей (*Picea pungens*) и туи западной (*Thuja occidentalis*), произрастающих в разных функциональных зонах г. Ельца // АгроЭкоИнфо. 2020. № 3. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/3/st_316.pdf (дата обращения: 02.06.2023).
8. Кавеленова Л. М., Здетовский А. Г., Огневенко А. Я. К специфике содержания зольных веществ в листьях древесных растений в городской среде в условиях лесостепи (на примере Самары) // Химия растительного сырья. 2001. № 3. С. 85—90.
9. Крючкова И. И., Нагимов З. Я. Особенности строения групп деревьев ели колючей в условиях г. Бугуруслан // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17307>.
10. Лоскутов Р. И. Рост и развитие древесных растений-интродуцентов семейства *Pinaceae* Lindl. в дендрарии института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 1—2. С. 113—116.
11. Медведев И. Ф., Деревягин С. С. Тяжелые металлы в экосистемах. Саратов : Ракурс, 2017. 178 с.
12. Подоль С. Р., Попова З. И. Распределение и динамика химических элементов в сосновых биогеоценозах Мещерского полесья // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. 2015. № 2. С. 87—92.
13. Пугаев С. В., Лукаткин А. С. Накопление тяжелых металлов в почве и листовом аппарате растений дендрария Ботанического сада Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарева // Агрохимия. 2015. № 5. С. 74—82.
14. Сибиркина А. Р., Лихачев С. Ф. Сравнение содержания соединений кобальта в органах и тканях древесных растений // Самарский научный вестник. 2017. Т. 6, № 2 (19). С. 84—87.
15. Соболева С. В., Есякова О. А., Почекутов И. С. Оценка загрязнения экосистемы города Красноярска биоиндикационным методом // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 12-2. С. 175—181.
16. Старикова Е. А., Воскресенская О. Л., Алябышева Е. А. Аккумуляция тяжелых металлов в почве и надземных вегетативных органах *Juniperus sabina* L. в условиях г. Йошкар-Олы // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2023. № 2 (46). С. 129—139. URL: http://vestospu.ru/archive/2023/articles/9_46_2023.pdf. DOI: 10.32516/2303-9922.2023.46.9.
17. Ташекова А. Ж., Торопов А. С. Использование листьев растений как биогеохимических индикаторов состояния городской среды // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 5. С. 114—124.

18. Титова М. С. Особенности фотосинтезирующей активности хвои интродуцированных видов *Picea A. Dietr.* в дендрарии горнотаежной станции // Фундаментальные исследования. 2013. № 11. С. 128—132.
19. Тюлькова Е. Г. Зольность растений в условиях городской среды (на примере города Гомеля) // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер. Естественные и медицинские науки. 2017. № 1. С. 58—65.
20. Уфимцева М. Д., Терехина Н. В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. СПб. : Наука, 2005. 339 с.
21. Хвойные породы в озеленении Центральной России / под общ. ред. проф. М. П. Чернышова. М. : Колос, 2007. 328 с.
22. Шихова Н. С. Некоторые закономерности в накоплении свинца растениями в условиях урбанизации (на примере г. Владивостока) // Сибирский экологический журнал. 2012. № 2. С. 285—294.
23. Ateya T. A. A., Bayraktar O. Y., Koc I. Do *Picea pungens* Engelm. organs be a suitable biomonitor of urban atmosphere pollution? // CERNE. 2023. Vol. 29, e-103228. DOI: 10.1590/01047760202329013228.
24. Çetin M., Çobanoğlu O. The Possibilities of Using Blue Spruce (*Picea pungens* Engelm.) as a Biomonitor by Measuring the Recent Accumulation of Mn in Its Leaves // Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences. 2019. Vol. 5, N 1. P. 43—50.
25. Kandziora-Ciupa M., Ciepał R., Nadgórska-Socha A., Barczyk G. Accumulation of heavy metals and antioxidant responses in *Pinus sylvestris* L. needles in polluted and non-polluted sites // Ecotoxicology (London, England). 2016. Vol. 25, N 5. P. 970—981. DOI: 10.1007/s10646-016-1654-6.
26. Zeiner M., Juranović Cindrić I. Accumulation of Major, Minor and Trace Elements in Pine Needles (*Pinus nigra*) in Vienna (Austria) // Molecules. 2021. Vol. 26, N 11. Art. 3318. DOI: 10.3390/molecules26113318.

References

1. Avdeeva E. V., Izvekov A. A. Issledovanie fenologicheskogo tsikla eli sibirskoi i kolyuchei v usloviyakh sibirskogo goroda [Study of the phenological cycle of spires of siberian and keys in the conditions of the siberian city]. *Khvoynye boreal'noi zony — Conifers of the Boreal Area*, 2021, vol. 39, no. 2, pp. 81—89. (In Russian)
2. Avdoshchenko V. G., Klimova A. V. Soderzhanie tyazhelykh metallov v rasteniyakh goroda Petropavlovsk-Kamchatskogo (Kamchatskii kraj) v 2017—2018 gg. [Contents of heavy metals in the plants of Petropavlovsk-Kamchatsky (Kamchatka territory) in 2017—2018]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta — Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 2020, no. 54, pp. 48—64. DOI: 10.17217/2079-0333-2020-54-48-64. (In Russian)
3. Biryuchev F. M. Osobennosti ispol'zovaniya *Picea pungens* Engelm. i *Picea excelsa* (Lam.) Link v zelenom stroitel'stve g. Evpatoriya [Features of use of *Picea pungens* Engelm. and *Picea excelsa* (Lam.) Link in landscape gardening in Evpatoriya]. *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada — Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens*, 2012, is. 105, pp. 28—32. (In Russian)
4. Bukharina I. L., Povarnitsina T. M. Ekologo-biologicheskaya kharakteristika eli kolyuchei (*Picea pungens* Engelm.) v usloviyakh gorodskoi sredy (na primere g. Izhevsk) [Ekologo-biological characteristic of the *Picea pungens* Engelm. in the conditions of the city environment (by the example of Izhevsk)]. *Samarskaya Luka*, 2008, vol. 17, no. 3 (25), pp. 618—625. (In Russian)
5. GOST 17.4.3.01-83. Okhrana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru prob [GOST 17.4.3.01-83. Protection of Nature. Soils. General sampling requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 3 p. (In Russian)
6. Demakov Yu. P., Safin M. G., Shvetsov S. M. Sosnyaki sfagnovye Mariiskogo Poles'ya: struktura, rost i produktivnost' [Sphagnum pine forests of Mari Polesie: structure, growth and productivity]. Yoshkar-Ola, Mariiskii gos. tekhn. un-t Publ., 2012. 276 p. (In Russian)
7. Zubkova T. V., Dubrovina O. A. Analiz soderzhaniya tyazhelykh metallov v odnoletnei khvoe eli kolyuchei (*Picea pungens*) i tui zapadnoi (*Thuja occidentalis*), proizrastayushchikh v raznykh funktsional'nykh zonakh g. El'tsa [Analysis of heavy metal content in annual conifers of prickly spruce (*Picea pungens*) and Western thuja (*Thuja occidentalis*) growing in different functional zones of Yelets]. *AgroEkoInfo — AgroEcoInfo*, 2020, no. 3. Available at: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/3/st_316.pdf. Accessed: 02.06.2023. (In Russian)
8. Kavelenova L. M., Zdetovetskii A. G., Ognevenko A. Ya. K spetsifike soderzhaniya zol'nykh veshchestv v list'yakh drevesnykh rastenii v gorodskoi srede v usloviyakh lesostepi (na primere Samary) [On the specifics of the content of ash substances in the leaves of woody plants in an urban environment in forest-steppe conditions (using the example of Samara)]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya — Chemistry of Plant Raw Material*, 2001, no. 3, pp. 85—90. (In Russian)
9. Kryuchkova I. I., Nagimov Z. Ya. Osobennosti stroeniya grupp derev'ev eli kolyuchei v usloviyakh g. Buguruslan [Structural features of the tree groups of barbed spruces in the city of Buguruslan]. *Sovremennye*

problemy nauki i obrazovaniya — *Modern Problems of Science and Education*, 2015, no. 1-1. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17307>. (In Russian)

10. Loskutov R. I. Rost i razvitie drevesnykh rastenii-introdutsentov semeistva Pinaceae Lindl. v dendrarii instituta lesa im. V. N. Sukacheva SO RAN [Growth and development of introduced woody plants of the family Pinaceae Lindl. in the arboretum of the Institute of Forestry named after V. N. Sukachev SB RAS]. *Khvoinye boreal'noi zony — Conifers of the Boreal Area*, 2008, vol. 25, no. 1—2, pp. 113—116. (In Russian)

11. Medvedev I. F., Derevyagin S. S. *Tyazhelye metally v ekosistemakh* [Heavy metals in ecosystems]. Saratov, Rakurs Publ., 2017. 178 p. (In Russian)

12. Podol' S. R., Popova Z. I. Raspreделение i dinamika khimicheskikh elementov v osnovnykh biogeotsenozakh Meshcherskogo poles'ya [Distribution and dynamics of chemical elements in pine ecosystems Meshchersky woodland]. *Rossiiskii mediko-biologicheskii vestnik imeni akademika I. P. Pavlova — I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*, 2015, no. 2, pp. 87—92. (In Russian)

13. Pugaev S. V., Lukatkin A. S. Nakoplenie tyazhelykh metallov v pochve i listovom apparate rastenii dendrariya Botanicheskogo sada Mordovskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. P. Ogareva [The accumulation of heavy metals in soil and leaf apparatus of plants of the arboretum botanical garden of the N. P. Ogarev Mordovian state university]. *Agrokhimiya*, 2015, no. 5, pp. 74—82. (In Russian)

14. Sibirskina A. R., Likhachev S. F. Svrnvenie sodержaniya soedinenii kobal'ta v organakh i tkanyakh drevesnykh rastenii [Comparison of cobalt compounds content in organs and tissues of woody plants]. *Samarskii nauchnyi vestnik — Samara Journal of Science*, 2017, vol. 6, no. 2 (19), pp. 84—87. (In Russian)

15. Soboleva S. V., Esyakova O. A., Pochekutov I. S. Otsenka zagryazneniya ekosistemy goroda Krasnoyarska bioindikatsionnym metodom [Assessment of Krasnoyarsk ecosystem pollution by bioindication method]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy — International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2019, no. 12-2, pp. 175—181. (In Russian)

16. Starikova E. A., Voskresenskaya O. L., Alyabysheva E. A. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov v pochve i nadzemnykh vegetativnykh organakh *Juniperus sabina* L. v usloviyakh g. Ioshkar-Oly [Accumulation of heavy metals in the soil and aboveground vegetative organs of *Juniperus sabina* L. in the conditions of Yoshkar-Ola]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Elektronnyi nauchnyi zhurnal — Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal*, 2023, no. 2 (46), pp. 129—139. Available at: http://vestospu.ru/archive/2023/articles/9_46_2023.pdf. DOI: 10.32516/2303-9922.2023.46.9. (In Russian)

17. Tashekova A. Zh., Toropov A. S. Ispol'zovanie list'ev rastenii kak biogeokhimicheskikh indikatorov sostoyaniya gorodskoi sredy [Application of leaves as biogeoindicators of urban environment state]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov — Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2017, vol. 328, no. 5, pp. 114—124. (In Russian)

18. Titova M. S. Osobennosti fotosinteziruyushchei aktivnosti khvoi introdutsirovannykh vidov *Picea* A. Dietr. v dendrarii gornotaezhnoi stantsii [Features photosynthetic activity needles introduced species *Picea* A. Dietr. in the arboretum mountain taiga station]. *Fundamental'nye issledovaniya — Fundamental Research*, 2013, no. 11, pp. 128—132. (In Russian)

19. Tyul'kova E. G. Zol'nost' rastenii v usloviyakh gorodskoi sredy (na primere goroda Gomelya) [Ash plant in the urban environment (for example, the city of Gomel)]. *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Ser. Estestvennye i meditsinskie nauki*, 2017, no. 1, pp. 58—65. (In Russian)

20. Ufimtseva M. D., Terekhina N. V. *Fitoindikatsiya ekologicheskogo sostoyaniya urbogeosistem Sankt-Peterburga* [Phytoindication of the ecological state of urban geosystems of St. Petersburg]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2005. 339 p. (In Russian)

21. *Khvoinye porody v ozelenenii Tsentral'noi Rossii* [Coniferous species in landscaping in Central Russia]. Moscow, Kolos Publ., 2007. 328 p. (In Russian)

22. Shikhova N. S. Nekotorye zakonomernosti v nakoplenii svintsa rasteniyami v usloviyakh urbanizatsii (na primere g. Vladivostoka) [Some Features of Lead Accumulation in Plants Under the Urban Conditions (for Vladivostok as Example)]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal — Contemporary Problems of Ecology*, 2012, no. 2, pp. 285—294. (In Russian)

23. Ateya T. A. A., Bayraktar O. Y., Koc I. Do *Picea pungens* Engelm. organs be a suitable biomonitor of urban atmosphere pollution? *CERNE*, 2023, vol. 29, e-103228. DOI: 10.1590/01047760202329013228.

24. Çetin M., Çobanoğlu O. The Possibilities of Using Blue Spruce (*Picea pungens* Engelm.) as a Biomonitor by Measuring the Recent Accumulation of Mn in Its Leaves. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 2019, vol. 5, no. 1, pp. 43—50.

25. Kandziora-Ciupa M., Ciepał R., Nadgórska-Socha A., Barczyk G. Accumulation of heavy metals and antioxidant responses in *Pinus sylvestris* L. needles in polluted and non-polluted sites. *Ecotoxicology (London, England)*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 970—981. DOI: 10.1007/s10646-016-1654-6.

26. Zeiner M., Juranović Cindrić I. Accumulation of Major, Minor and Trace Elements in Pine Needles (*Pinus nigra*) in Vienna (Austria). *Molecules*, 2021, vol. 26, no. 11, art. 3318. DOI: 10.3390/molecules26113318.

Информация об авторах

Е. А. Старикова — старший преподаватель

О. Л. Воскресенская — доктор биологических наук, профессор

Е. А. Алябышева — кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors

E. A. Starikova — Senior Lecturer

O. L. Voskresenskaya — Doctor of Biological Sciences, Professor

E. A. Alyabysheva — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Статья поступила в редакцию 13.11.2023; одобрена после рецензирования 21.12.2023;
принята к публикации 20.02.2024

The article was submitted 13.11.2023; approved after reviewing 21.12.2023;
accepted for publication 20.02.2024