

СОДЕРЖАНИЕ НИКЕЛЯ В ОРГАНАХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ Г. ЛИПЕЦКА

Г.А. Зайцев¹✉, О.А. Дубровина², Т.А. Масина²

¹Уфимский институт биологии — обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Россия, 450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, пр. Октября, д. 69

²ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина», Россия, 399770, Липецкая обл., г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28

forestry@mail.ru

Определены особенности накопления никеля в надземных органах сосны обыкновенной в пределах г. Липецка. Исследования проводились в насаждениях сосны возрастом 40...50 лет. Отбор проб и исследования проводились в вегетационной динамике в течение двух лет (2019 и 2020 гг.). Атомно-абсорбционным методом определялось содержание никеля в хвое и побегах первого, второго и третьего года. Установлено, что содержание никеля в хвое и побегах сосны в условиях загрязнения было выше, чем в контроле. Область критических значений никеля для большинства растений в надземной части составляет 3,0 мг/кг, в наших исследованиях концентрация никеля в хвое и побегах в течение вегетационного периода не превышала данный уровень. Несмотря на повышенное содержание никеля в хвое и побегах (по сравнению с контролем) в условиях загрязнения не отмечалось значительного снижения роста хвои и побегов первого года развития.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, хвоя, побеги, никель

Ссылка для цитирования: Зайцев Г.А., Дубровина О.А., Масина Т.А. Содержание никеля в органах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях загрязнения в пределах г. Липецка // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 41–47. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-41-47

Леса имеют важное значение в поддержании стабильности экосистем, включая депонирование углерода, сохранение почвенных и водных ресурсов, защиту от эрозии почв и т. д. [1–3]. Существенное антропогенное изменение биогеохимического цикла потенциально токсичных элементов в последнее столетие [4, 5] свидетельствует о необходимости развития лесных экосистем в целях улучшения общего состояния окружающей среды. В урбанизированных экосистемах актуальность приобретает распространение лесных насаждений, которые вносят существенный вклад в ограничение миграции токсикантов в атмосфере и педосфере.

Черная металлургия является одним из крупнейших источников загрязнения атмосферного воздуха. Выбросы предприятий черной металлургии содержат большое количество токсикантов, в частности тяжелые металлы (в том числе и никель). Токсичность тяжелых металлов изменяется в зависимости от их концентраций в окружающей среде, химической формы металла, а также от произрастающих в пределах санитарно-защитных зон предприятий видов растений, характеризующихся различной устойчивостью к этому виду загрязнений. Кроме того, чрезмерное загрязнение металлами оказывает крайне негативное воздействие на здоровье людей и вызывает многочисленные проблемы со здоровьем.

Так, никель поступает в окружающую среду с выбросами от предприятий черной и цветной металлургии, электростанций и мусоросжигательных заводов, а также выделяется в качестве загрязнителя вследствие переработки дизельного топлива, моторных масел транспортными средствами.

В оптимальных концентрациях никель считается необходимым микроэлементом для жизнедеятельности растений, поскольку обладает различными биологическими функциями [6–9]. Однако с увеличением концентрации он становится токсичным и вредит росту растений [7–9].

Дефицит никеля замедляет рост, вызывает старение, нарушает ассимиляцию азота и усвоение железа растениями, вызывает хлороз молодых листьев [10, 11]. Избыток никеля снижает рост растений, деление клеток, поглощение питательных веществ, нарушает процессы фотосинтеза и транспираций [12–14].

В России загрязнение никелем (в зависимости от среды, в которой он определяется) имеет 2–3-й класс опасности [15]. Никель и некоторые его соединения включены в список Национальной токсикологической программы (NTP) как обоснованно предполагаемые канцерогены [16]. Международное агентство по изучению рака (IARC) включило соединения никеля в группу 1 на основании достаточного объема доказательств канцерогенности для человека, а никель — в группу 2B, т. е. группу веществ, которые могут быть канцерогенными

для человека [17]. При этом Управление охраной труда и гигиеной труда министерства труда США (OSHA) не определяет никель как канцероген [18]. Никель включен в Уведомление Американской ассоциации государственных промышленных гигиенистов (ACGIH) определяет никель как подтвержденный для человека канцероген категории A1 [19].

Процессы антропогенного характера поступления и миграции тяжелых металлов в окружающую среду изучаются достаточно давно. Особенности накопления и влияния, в частности, никеля на рост и развитие растений исследуются в основном на примере выбросов металлургических комбинатов по производству цветных металлов [20–23]. Крайне недостаточно работ, посвященных изучению накопления никеля в органах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при загрязнении окружающей среды выбросами предприятий черной металлургии.

Цель работы

Цель работы — изучение накоплений никеля в хвое и побегах сосны обыкновенной в пределах г. Липецка.

Характеристика района исследований. Исследования проведены в пределах г. Липецка (Липецкая обл., Россия). Город Липецк расположен в пределах Среднерусской возвышенности (Центрально-Черноземная зона лесостепи), характеризуется умеренно-континентальным климатом со средней температурой января $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, июля $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и среднегодовым количеством осадков около 500 мм при максимуме в июле. В районе преобладают северо-западные ветра в теплое время года и юго-западные — в холодное. Почвенный покров представлен черноземами выщелоченными и серыми лесными почвами супесчаного и легкосуглинистого гранулометрического состава [24]. Почвообразующими породами служат лёссовидные суглинки и глины, древнеаллювиальные отложения легкого гранулометрического состава. Обменная кислотность (рН) верхних горизонтов составляет 4,9...5,1, обеспеченность элементами питания — средняя, очень низкая степень насыщенности основаниями (менее 20 %), содержание органического вещества 2...3 %. Лесные сообщества (естественного и искусственного происхождения) занимают 9,8 % территории области, в лесном фонде преобладают дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), сосна обыкновенная и береза повислая (*Betula pendula* Roth).

Основным источником загрязнения окружающей среды Липецка является ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат». Выбросы в атмосферу от предприятия составляют 84,5 % всех выбросов от стационарных источников загрязнения в Липецкой обл. [25].

Материалы и методы

Проведены исследования 40–50-летних насаждений сосны обыкновенной, произрастающих в пределах г. Липецка на заложенных четырех постоянных пробных площадях (двух — в зоне загрязнения, двух — в зоне условного контроля). Закладка, описание и определение основных таксационных показателей выполнены по стандартным методам [26, 27].

Для химического анализа отбирали надземную часть сосны обыкновенной: побеги и хвою 1, 2 и 3-го года развития с 10 деревьев на каждой пробной площади. Хвоя и побеги были отобраны с деревьев на высоте 1...1,5 м от поверхности земли [28] в вегетационной динамике. Содержание никеля определяли атомно-абсорбционным методом [29] на спектрофотометре «Спектр-5» (ОАО «Союзцветметавтоматика»). Повторность опыта трехкратная. Растительный материал отмывали от пыли дистиллированной водой [30]. Минерализацию растительных проб проводили методом сухого озоления по ГОСТ 26657–85, никель экстрагировали с помощью кислот (1M HNO_3). Отбор образцов и определение содержания никеля проводили в течение двух вегетационных периодов (2019 и 2020 гг.).

Результаты и обсуждение

Исследования показали, что содержание никеля в хвое всех возрастов в условиях загрязнения выше, чем в контроле (рис. 1). Достоверного увеличения содержания никеля в хвое (1, 2 и 3-го года развития) в течение вегетационного периода (как в условиях загрязнения, так и в контроле) не установлено. Область критических значений содержания никеля для большинства видов растений в надземной части составляет 3,0 мг/кг сухого вещества [31], и содержание никеля в хвое (1, 2 и 3-го года развития) в течение вегетационного периода не превышает данных значений. Наибольшее увеличение концентрации никеля в течение вегетационного периода отмечено для хвои 1-го года развития (в 1,82 раза). Содержание никеля в хвое 2-го года развития, напротив, в течение вегетационного периода уменьшается (с 2,450 до 1,938 мг/кг). Содержание никеля в хвое 1, 2 и 3-го года развития в контроле варьирует от 0,713 до 1,175 мг/кг.

Содержание никеля в побегах всех возрастов в зоне загрязнения выше контрольных значений (рис. 2). Содержание никеля в побегах в течение вегетационного периода: 1-го и 3-го года развития достоверно увеличивается, в побегах 2-го года — достоверно уменьшается, а в условиях контроля достоверно увеличивается только в побегах 3-го года развития. Наибольшее увеличение содержа-

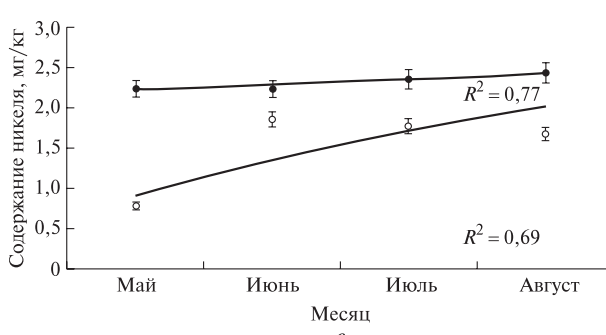
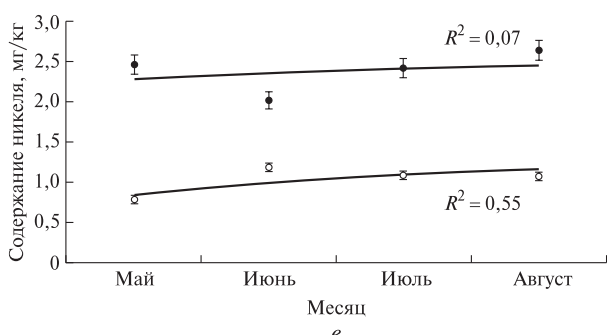
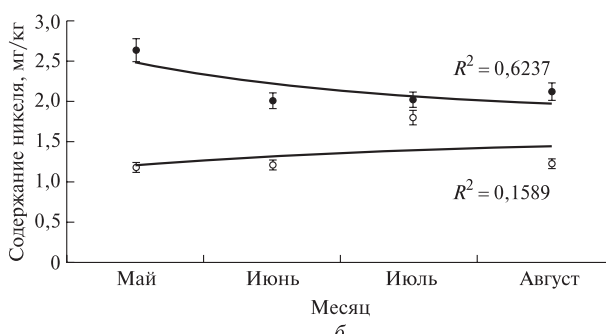
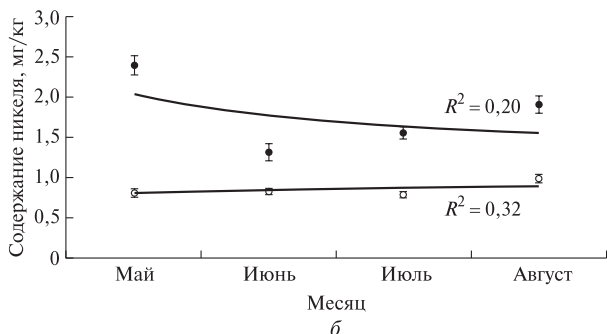
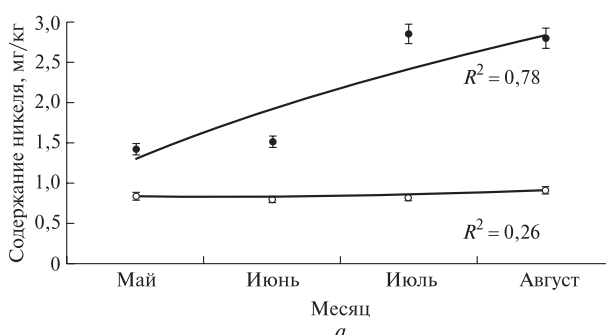
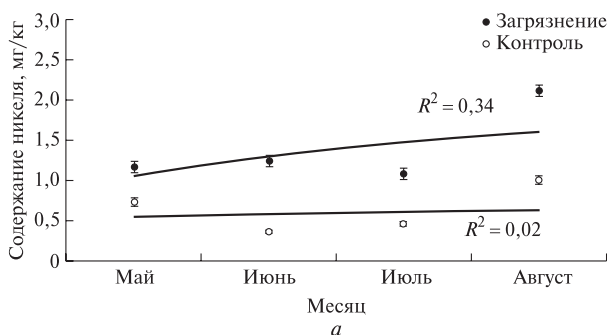


Рис. 1. Концентрация никеля в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в пределах г. Липецка: а — хвоя 1-го года развития; б — хвоя 2-го года развития; в — хвоя 3-го года развития

Fig 1. Nickel concentration in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles within the city of Lipetsk: а — needles of the 1st year development; б — needles of the 2nd year development; в — needles of the 3rd year development

Рис. 2. Концентрация никеля в побегах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в пределах г. Липецка: а — побеги 1-го года развития; б — побеги 2-го года развития; в — побеги 3-го года развития

Fig 2. Nickel concentration in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) shoots within the city of Lipetsk: а — shoots of the 1st year development; б — shoots of the 2nd year development; в — shoots of the 3rd year development

ния никеля в течение вегетационного периода зафиксировано в побегах 1-го года развития. К концу изучаемого периода содержание элемента в условиях загрязнения увеличивалось в 1,98 раза с 1,450 до 2,863 мг/кг. Содержание никеля в побегах 2-го года развития (как и в хвое), в течение сезона уменьшается (с 2,550 до 2,050 мг/кг). Содержание никеля в побегах 1, 2 и 3-го года развития в контроле варьирует от 0,787 до 1,887 мг/кг.

На урбанизированных территориях вследствие выбросов промышленных предприятий и автотранспорта в городской пыли повышается содержание тяжелых металлов, в том числе никеля [32–34]. Тяжелые металлы, оседая на поверхности почвы, мигрируют по профилю, ухудшая физико-химические свойства почв [35]. Перемещаясь в системе «почва — растения», никель

влияет на рост и развитие древесных растений на загрязненных территориях [36–39].

Проведенные ранее исследования показали, что в условиях загрязнения г. Липецка в хвое сосны повышается содержание марганца, железа, кадмия и цинка [40, 41]. Несмотря на высокое содержание таких токсикантов в хвое сосны обыкновенной не зафиксировано значительного снижения роста хвои и побегов 1-го года развития [42]. Анализ состояния сосны обыкновенной показал, что в условиях загрязнения ее насаждения находятся в ослабленном состоянии. Однако при этом не происходит значительной гибели древостоев сосны. Следовательно, насаждения сосны обыкновенной в техногенных условиях Липецкой обл., несмотря на высокий уровень загрязнения окружающей среды и содержания

в наземных органах значительного количества тяжелых металлов, продолжают выполнять свои санитарно-защитные функции.

Выводы

Проведенные исследования особенностей накопления никеля в наземных органах сосны обыкновенной (хвое и побегах 1, 2 и 3-го года развития) в условиях атмосферного и почвенного загрязнения в пределах г. Липецка показали, что содержание никеля в данных органах повышено по сравнению с контролем. Тем не менее, в пределах Липецка не отмечается деструкции насаждений сосны обыкновенной. Данную древесную породу можно рекомендовать для создания новых санитарно-защитных насаждений и реконструкции уже существующих в пределах Липецкой области.

Список литературы

- [1] Идзон П.Ф., Пименова Г.С., Цыганова О.П. Количественная характеристика водоохранных и водорегулирующих свойств леса // Лесоведение, 1980. № 5. С. 3–12.
- [2] Roque-Alvarez I., Ponce P., Bretado M.A.E., Vazquez-Arenas J. Spatial distribution, mobility and bioavailability of arsenic, lead, copper and zinc in low polluted forest ecosystem in North-western Mexico // Chemosphere, 2018, v. 2010, pp. 320–333. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.07.004
- [3] Daigneault A., Favero A. Global forest management, carbon sequestration and bioenergy supply under alternative shared socioeconomic pathways // Land Use Policy, 2021, v. 103, 105302. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105302
- [4] Nriagu J.O. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere // Nature, 1979, v. 279, pp. 409–411.
- [5] Kawahata H., Yamashita S., Yamaoka K., Okai T., Shimoda S., Imai N. Heavy metal pollution in Ancient Nara, Japan, during the eighth century // Progress in Earth and Planetary Sci., 2014, v. 1, 15. DOI: 10.1186/2197-4284-1-15
- [6] Hassan M.U., Chattha M.U., Khan I. et al. Nickel toxicity in plants: reasons, toxic effects, tolerance mechanisms, and remediation possibilities – a review // Environ. Sci. Pollut. Res., 2019, v. 26, pp. 12673–12688. DOI: 10.1007/s11356-019-04892-x
- [7] Alloway B.J. Sources of heavy metals and metalloids in soils // Heavy metals in soils. Berlin, Springer, 2013, pp. 11–50.
- [8] Banerjee A., Roychoudhury A. Plant responses to environmental nickel toxicity // Plant Micronutrients. Berlin, Springer, 2020, pp. 101–111.
- [9] Sajad M.A., Khan M.S., Bahadur S., Shuaib M., Naem A., Zaman W., Ali, H. Nickel phytoremediation potential of some plant species of the Lower Dir, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan // Limnological Review, 2020, v. 20, pp. 13–22. DOI: 10.2478/limre-2020-0002
- [10] Wood B.W., Reilly C.C., Nyczepir A.P. Field deficiency of nickel in trees: symptoms and causes // Acta Hort., 2006, v. 721, pp. 83–98.
- [11] Bai C., Reilly C.C., Wood B.W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureids, amino acids and organic acids of young pecan foliage // Plant Physiol., 2006, v. 140, pp. 433–443.
- [12] Hasinur R., Shamima S., Shigenao K.W. Effects of nickel on growth and composition of metal micronutrients in barley plants grown in nutrient solution // J. Plant Nutr., 2005, v. 28, pp. 393–404.
- [13] Gajewska E., Skłodowska M., Ślaba M., Mazur J. Effect of nickel on antioxidative enzyme activities, proline and chlorophyll contents in wheat shoots // Biol. Plant, 2006, v. 50, pp. 653–659.
- [14] Aamer M., Muhammad U.H., Li Z., Abid A., Su Q., Liu Y., Adnan R., Muhammad A.U.K., Tahir A.K., Huang G. Foliar application of glycinebetaine (GB) alleviates the cadmium toxicity in spinach through reducing Cd uptake and improving the activity of anti-oxidant system // Appl. Ecol. Environ. Res., 2018, v. 16, pp. 7575–7583.
- [15] Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ. URL: <http://www.gpohv.ru/online/detail.html?id=828> (дата обращения 02.03.2022).
- [16] National Toxicology Program (NTP-2021). Report on Carcinogens. Fifteenth Edition. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. URL: <https://doi.org/10.22427/NTP-OTHER-1003> (дата обращения 29.04.2022).
- [17] IARC, 1990. Nickel and nickel compounds // Chromium, Nickel and Welding. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Lyon, France, v. 49, pp. 257–445.
- [18] Occupational Chemical Database (OSHA–2022). URL: <https://www.osha.gov/chemicaldata> (дата обращения 29.04.2022).
- [19] ACGIH Board Ratifies 2022. TLVs and BEIs. URL: <https://www.acgih.org/science/tlv-bei-guidelines/documentation-publications-and-data/substances-and-agents-listing/> (дата обращения 29.04.2022).
- [20] Лянгузова И.В. Динамика содержания никеля и меди в растениях сосновых лесов Кольского полуострова в условиях аэротехногенного загрязнения // Растительные ресурсы, 2008. Т. 44. № 4. С. 91–98.
- [21] Шубина Н.В., Юрьев Ю.Л. Влияние выбросов металлургического производства на микроэлементный состав хвои сосны // Химия растительного сырья, 2009. № 3. С. 173–176.
- [22] Кизеев А.Н. Состояние окружающей природной среды в районе расположения предприятия цветной металлургии (Мурманская область) // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований, 2014. № 11–3. С. 502–506.
- [23] Соболева С.В., Есякова О.А., Воронин В.М. Оценка аэрогенного загрязнения с использованием сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) и ели сибирской (*Picea obovata*) // Хвойные бореальной зоны, 2020. Т. 38. № 3–4. С. 115–122.
- [24] Сискевич Ю.И., Никоноренков В.А., Долгих О.В. Почвы Липецкой области. Липецк: Позитив ЛТ, 2018. 209 с.
- [25] Состояние и охрана окружающей среды Липецкой области в 2020 году. Липецк: Изд-во Управления экологии и природных ресурсов Липецкой области, 2021. 164 с.
- [26] Сукачев В.Н. Программа и методика биогеоценологических исследований. М.: Наука, 1966. 333 с.
- [27] Kershaw J.A., Ducey M.J., Beers T.W., Husch B. Forest Mensuration, 5th ed. Chichester, UK, Wiley, 2016, 613 p.
- [28] Cornelissen J.H.C., Garnier E.B., Lavorel S., Diaz S.A. handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide // Aust. J. Bot., 2003, v. 51, pp. 335–380. DOI: 10.1071/bt02124
- [29] Pelly I.Z. Atomic absorption spectrometry // Instrumental multi-element chemical analysis. Dordrecht, Springer, 1998, pp. 251–301.
- [30] Xu X., Xia J., Gao Y., Zheng W. Additional focus on particulate matter wash-off events from leaves is required: A review of studies of urban plants used to reduce airborne

- particulate matter pollution // *Urban For. Urban Gree.*, 2020, v. 48, 126559.
DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126559 (2020)
- [31] Прохорова Н.В., Матвеев Н.М., Павловский В.А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во Самарского университета, 1998. 131 с.
- [32] Salim Akhter M., Madany I.M. Heavy metals in street and house dust in Bahrain // *Water, Air & Soil Pollut.*, 1993, v. 66, pp. 111–119. DOI: 10.1007/BF00477063
- [33] Soleymani S., Javan S. Naimabadi A. Heavy metal concentrations and health risk assessment in urban soils of Neyshabur, Iran // *Environ. Monit. Assess.*, 2022, v. 194, article no. 218. DOI: 10.1007/s10661-021-09724-5
- [34] Ulutaş K. Risk assessment and spatial distribution of heavy metal in street dusts in the densely industrialized area // *Environ. Monit. Assess.*, 2022, v. 194, article no. 99. DOI: 10.1007/s10661-022-09762-7
- [35] Doelman P., Haanstra L. Short-term and long-term effects of cadmium, chromium, copper, nickel, lead and zinc on soil microbial respiration in relation to abiotic soil factors // *Plant Soil*, 1984, v. 79, pp. 317–327.
- [36] Неверова О.А. Эколого-физиологическая оценка состояния ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях антропогенного загрязнения г. Кемерово // *Сибирский экологический журнал*, 2003. Т. 10. № 6. С. 773–779.
- [37] Анищенко Л.Н., Агапова А.А. Накопление элементов группы тяжелых металлов в различных компонентах лесных экосистем территорий с различной техногенной нагрузкой // *Вестник Брянского государственного университета*, 2013. № 4. С. 54–57.
- [38] Jonczak J., Sut-Lohmann M., Polláková N. Bioaccumulation of potentially toxic elements by the needles of eleven pine species in low polluted area // *Water, Air & Soil Pollut.*, 2021, v. 232, article no. 28. DOI: 10.1007/s11270-020-04959-3
- [39] Çomaklı E., Bingöl M.S. Heavy metal accumulation of urban Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantation // *Environ. Monit. Assess.*, 2021, v. 193, 192. DOI: 10.1007/s10661-021-08921-6
- [40] Zaitsev G.A., Dubrovina O.A., Kulagin A.Y., Shainurov R.I. Cadmium and zinc migration in Scots pine stands growing in contaminated areas from metallurgical plant emissions // *Int. J. of Environ. Sci. and Technol.*, 2021, v. 18, pp. 3625–3634. DOI: 10.1007/s13762-020-03104-1
- [41] Zaitsev G.A., Dubrovina O.A., Shainurov R.I. Iron and manganese migration in «soil-plant» system in Scots pine stands in conditions of contamination by the steel plant's emissions // *Sci. Reports*, 2020, v. 10, 11025. DOI: 10.1038/s41598-020-68114-y
- [42] Дубровина О.А. Эколого-биологические особенности сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях техногенного загрязнения (на примере Липецкой области.): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владимир, 2021. 2 с.

Сведения об авторах

Зайцев Глеб Анатольевич [✉] — д-р биол. наук, профессор, вед. науч. сотр. лаборатории лесоведения, Уфимский институт биологии – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра РАН, forestry@mail.ru

Дубровина Ольга Алексеевна — канд. биол. наук, ст. преп. кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина», laboratoria101@mail.ru

Масина Татьяна Алексеевна — аспирант, лаборант кафедры химико-биологических дисциплин и фармакологии, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина», masina-1978@mail.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 26.09.2022.

NICKEL LEVELS IN SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) ORGANS UNDER POLLUTION CONDITIONS IN LIPETSK CITY

G.A. Zaitsev^{1✉}, O.A. Dubrovina², T.A. Masina²

¹Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 69, October pr., 450054, Republic of Bashkortostan, Ufa, Russia

²Bunin Yelets State University, 28, Kommunarov st., 399770, Lipetsk region, Yelets, Russia

forestry@mail.ru

In the city of Lipetsk, the peculiarities of nickel accumulation in the above-ground organs of Scots pine have been determined. The research was conducted in pine stands ranging in age from 40 to 50 years. Sampling and research were carried out in the vegetation dynamics for two years (2019 and 2020). The nickel content in the needles and shoots of the first, second and third years of growth was determined by atomic absorption method. The nickel levels in pine needles and shoots were higher under contaminated conditions than in the control. The critical nickel levels for most plants in the aboveground part are 3,0 mg/kg and in our research, the nickel concentration in needles and shoots over the growing season did not exceed that level. Despite higher nickel levels in needles and shoots (relative to controls), there was no significant reduction in the needle and shoot growth during the first year of development under polluting conditions.

Keywords: Scots pine, needles, shoots, nickel

Suggested citation: Zaitsev G.A., Dubrovina O.A., Masina T.A. *Soderzhanie nikelya v organakh sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) v usloviyakh zagryazneniya v predelakh g. Lipetska* [Nickel levels in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) organs under pollution conditions in Lipetsk city]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 41–47. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-41-47

References

- [1] Idzon P.F., Pimenova G. S., Tsyganova O. P. *Kolichestvennaya kharakteristika vodookhrannykh i vodoreguliruyushchikh svoystv lesa* [Quantitative characteristics of water protection and water-regulating properties of the forest]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forestry], 1980, no. 5, pp. 3–12.
- [2] Roque-Alvarez I., Ponce P., Bretado M.A.E., Vazquez-Arenas J. Spatial distribution, mobility and bioavailability of arsenic, lead, copper and zinc in low polluted forest ecosystem in North-western Mexico. *Chemosphere*, 2018, v. 2010, pp. 320–333. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.07.004
- [3] Daigneault A., Favero A. Global forest management, carbon sequestration and bioenergy supply under alternative shared socioeconomic pathways. *Land Use Policy*, 2021, v. 103, 105302. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105302
- [4] Nriagu J.O. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. *Nature*, 1979, v. 279, pp. 409–411.
- [5] Kawahata H., Yamashita S., Yamaoka K., Okai T., Shimoda S., Imai N. Heavy metal pollution in Ancient Nara, Japan, during the eighth century. *Progress in Earth and Planetary Sci.*, 2014, v. 1, 15. DOI: 10.1186/2197-4284-1-15
- [6] Hassan M.U., Chattha M.U., Khan I. et al. Nickel toxicity in plants: reasons, toxic effects, tolerance mechanisms, and remediation possibilities — a review // *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2019, v. 26, pp. 12673–12688. DOI: 10.1007/s11356-019-04892-x
- [7] Alloway B.J. Sources of heavy metals and metalloids in soils // *Heavy metals in soils*. Berlin, Springer, 2013, pp. 11–50.
- [8] Banerjee A., Roychoudhury A. Plant responses to environmental nickel toxicity // *Plant Micronutrients*. Berlin, Springer, 2020, pp. 101–111.
- [9] Sajad M.A., Khan M.S., Bahadur S., Shuaib M., Naeem A., Zaman W., Ali, H. Nickel phytoremediation potential of some plant species of the Lower Dir, Khyber Pakhtunkhwa. *Pakistan // Limnological Review*, 2020, v. 20, pp. 13–22. DOI: 10.2478/limre-2020-0002
- [10] Wood B.W., Reilly C.C., Nyczepir A.P. Field deficiency of nickel in trees: symptoms and causes // *Acta Hortic.*, 2006, v. 721, pp. 83–98.
- [11] Bai C., Reilly C.C., Wood B.W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureids, amino acids and organic acids of young pecan foliage // *Plant Physiol.*, 2006, v. 140, pp. 433–443.
- [12] Hasinur R., Shamima S., Shigenao K.W. Effects of nickel on growth and composition of metal micronutrients in barley plants grown in nutrient solution // *J. Plant Nutr.*, 2005, v. 28, pp. 393–404.
- [13] Gajewska E., Skłodowska M., Słaba M., Mazur J. Effect of nickel on antioxidative enzyme activities, proline and chlorophyll contents in wheat shoots // *Biol. Plant*, 2006, v. 50, pp. 653–659.
- [14] Aamer M., Muhammad U.H., Li Z., Abid A., Su Q., Liu Y., Adnan R., Muhammad A.U.K., Tahir AK., Huang G. Foliar application of glycinebetaine (GB) alleviates the cadmium toxicity in spinach through reducing Cd uptake and improving the activity of anti-oxidant system // *Appl. Ecol. Environ. Res.*, 2018, v. 16, pp. 7575–7583.
- [15] *Federal'nyy registr potentsial'no opasnykh khimicheskikh i biologicheskikh veshchestv* (2022) [Federal Register of Potentially Hazardous Chemicals and Biological Substances]. Available at: <http://www.rpohv.ru/online/detail.html?id=828> (accessed 29.04.2022).
- [16] National Toxicology Program (NTP–2021). Report on Carcinogens. Fifteenth Edition. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. URL: <https://doi.org/10.22427/NTP-OTHER-1003> (accessed 29.04.2022).
- [17] IARC, 1990. Nickel and nickel compounds // Chromium, Nickel and Welding. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Lyon, France, v. 49, pp. 257–445.
- [18] Occupational Chemical Database (OSHA–2022). URL: <https://www.osha.gov/chemicaldata> (accessed 29.04.2022).
- [19] ACGIH Board Ratifies 2022. TLVs and BEIs. URL: <https://www.acgih.org/science/tlv-bei-guidelines/documentation-publications-and-data/substances-and-agents-listing/> (accessed 29.04.2022).
- [20] Lyanguzova I.V. *Dinamika sodержaniya nikelya i medi v rasteniyakh sosnovykh lesov Kol'skogo poluostrova v usloviyakh aerotekhnogenogo zagryazneniya* [Dynamics of nickel and copper content in plants of pine forests of the Kola Peninsula under conditions of aerotechnological pollution]. *Rastitel'nye resursy* [Plant resource], 2008, v. 44, no. 4, pp. 91–98.
- [21] Shubina N.V., Yur'ev Yu.L. *Vliyaniye vybrosov metallurgicheskogo proizvodstva na mikroelementnyy sostav khvoi sosny* [Impact of metallurgical emissions on the pine needle microelement composition]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2009, no. 3, pp. 173–176.
- [22] Kizeev A.N. *Sostoyaniye okruzhayushchey prirodnoy sredy v rayone raspolozheniya predpriyatiya tsvetnoy metallurgii (Murmanskaya oblast')* [State of the natural environment in the vicinity of the non-ferrous metallurgy enterprise (Murmansk region)]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2014, no. 11–3, pp. 502–506.
- [23] Soboleva S.V., Esyakova O.A., Voronin V.M. *Otsenka aerogennogo zagryazneniya s ispol'zovaniem sosny obyknovennoy (Pinus silvestris L.) i eli sibirskoy (Picea obovata)* [Assessment of aerogenic pollution using Scots pine (*Pinus silvestris* L.) and Siberian spruce (*Picea obovata*)]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal area], 2020, v. 38, no. 3–4, pp. 115–122.
- [24] Siskevich Yu.I., Nikonorenkov V.A., Dolgikh O.V. *Pochvy Lipetskoj oblasti* [Lipetsk region soils]. Lipetsk: Positive L, 2018, 209 p.
- [25] *Doklad «Sostoyaniye i okhrana okruzhayushchey sredy Lipetskoj oblasti v 2020 godu»* [Report «State and Environmental Protection of the Lipetsk Region in 2020»]. Lipetsk: Department of Ecology and Natural Resources of the Lipetsk Region, 2021, 164 p.
- [26] Sukachev V.N. *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* [Programme and methodology of biogeocological research]. Moscow: Science, 1966, 333 p.
- [27] Kershaw J.A., Ducey M.J., Beers T.W., Husch B. *Forest Mensuration*, 5th ed. Chichester, UK, Wiley, 2016, 613 p.
- [28] Cornelissen J.H.C., Garnier E.B., Lavorel S., Diaz S.A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide // *Aust. J. Bot.*, 2003, v. 51, pp. 335–380. DOI: 10.1071/bt02124
- [29] Pelly I.Z. *Atomic absorption spectrometry // Instrumental multi-element chemical analysis*. Dordrecht, Springer, 1998, pp. 251–301.

- [30] Xu X., Xia J., Gao Y., Zheng W. Additional focus on particulate matter wash-off events from leaves is required: A review of studies of urban plants used to reduce airborne particulate matter pollution. *Urban For. Urban Gree.*, 2020, v. 48, 126559. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126559 (2020)
- [31] Prokhorova N.V., Matveev N.M., Pavlovskiy V.A. *Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov dikorastushchimi i kul'turnymi rasteniyami v lesostepnom i stepnom Povolzh'e* [Accumulation of heavy metals by wild and cultivated plants in forest-steppe and steppe Volga region]. Samara: Samara University, 1998, 131 p.
- [32] Salim Akhter M., Madany I.M. Heavy metals in street and house dust in Bahrain. *Water, Air & Soil Pollut.*, 1993, v. 66, pp. 111–119. DOI: 10.1007/BF00477063
- [33] Soleymani S., Javan S., Naimabadi A. Heavy metal concentrations and health risk assessment in urban soils of Neyshabur, Iran. *Environ. Monit. Assess.*, 2022, v. 194, 218. DOI: 10.1007/s10661-021-09724-5
- [34] Ulutaş K. Risk assessment and spatial distribution of heavy metal in street dusts in the densely industrialized area. *Environ. Monit. Assess.*, 2022, v. 194, 99. DOI: 10.1007/s10661-022-09762-7
- [35] Doelman P., Haanstra L. Short-term and long-term effects of cadmium, chromium, copper, nickel, lead and zinc on soil microbial respiration in relation to abiotic soil factors. *Plant Soil*, 1984, v. 79, pp. 317–327.
- [36] Neverova O.A. *Ekologo-fiziologicheskaya otsenka sostoyaniya assimilatsionnogo apparata sosny obyknovnoy v usloviyakh antropogennogo zagryazneniya g. Kemerovo* [Ecological and physiological assessment of the state of assimilation apparatus of Scots pine under conditions of anthropogenic pollution of Kemerovo]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 2003, v. 10, no. 6, pp. 773–779.
- [37] Anishchenko L.N., Agapova A.A. *Nakoplenie elementov gruppy tyazhelykh metallov v razlichnykh komponentakh lesnykh ekosistem territoriy s razlichnoy tekhnogennoy nagruzkoj* [Accumulation of heavy metal group elements in different components of forest ecosystems in areas with different man-made loads]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta* [The Bryansk State University Herald], 2013, no. 4, pp. 54–57.
- [38] Jonczak J., Sut-Lohmann M., Polláková N. Bioaccumulation of potentially toxic elements by the needles of eleven pine species in low polluted area. *Water, Air & Soil Pollut.*, 2021, v. 232, 28. DOI: 10.1007/s11270-020-04959-3
- [39] Çomaklı E., Bingöl M.S. Heavy metal accumulation of urban Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantation. *Environ. Monit. Assess.*, 2021, v. 193, 192. DOI: 10.1007/s10661-021-08921-6
- [40] Zaitsev G.A., Dubrovina O.A., Kulagin A.Y., Shainurov R.I. Cadmium and zinc migration in Scots pine stands growing in contaminated areas from metallurgical plant emissions. *Int. J. of Environ. Sci. and Technol.*, 2021, v. 18, pp. 3625–3634. DOI: 10.1007/s13762-020-03104-1
- [41] Zaitsev G.A., Dubrovina O.A., Shainurov R.I. Iron and manganese migration in «soil-plant» system in Scots pine stands in conditions of contamination by the steel plant's emissions. *Sci. Reports*, 2020, v. 10, 11025. DOI: 10.1038/s41598-020-68114-y
- [42] Dubrovina O.A. *Ekologo-biologicheskie osobennosti sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya (na primere Lipetskoy oblasti)* [Ecological and biological features of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) under conditions of man-made pollution (on the example of the Lipetsk region)]. Author's summary Diss. Cand. Sci. (Biol.). Vladimir, 2021, 22 p.

Authors' information

Zaytsev Gleb Anatol'evich✉ — Dr. Sci. (Biology), Professor, Leading Researcher, Laboratory of Forestry, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, forestry@mail.ru

Dubrovina Ol'ga Alekseevna — Cand. Sci. (Biology), Senior Lecturer of the Department of Technology of storage and processing of agricultural products, Bunin Yelets State University, laboratoria101@mail.ru

Masina Tat'yana Alekseevna — pg., laboratory assistant of the Department of Chemical-biological disciplines and pharmacology, Bunin Yelets State University, masina-1978@mail.ru

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 26.09.2022.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest