

Оригинальная статья

УДК 630*181.2:630*425

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-116-122



ОСОБЕННОСТИ ТРАНСЛОКАЦИИ КАДМИЯ В НАСАЖДЕНИЯХ ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ (*TILIA CORDATA* MILL.) В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (СТЕРЛИТАМАКСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЦЕНТР)

Гиниятуллин Рафак Хизбуллинович, д-р с.-х. наук, старший научный сотрудник
ResearcherID: K-1767-2018, ORCID: 0000-0001-5729-3754; grafak2012@yandex.ru

Тагирова Олеся Васильевна, канд. биол. наук, доцент
ResearcherID: AAX-4432-2021, ORCID: 0000-0003-1615-7005; olecyi@mail.ru

Кулагин Алексей Юрьевич , д-р биол. наук, профессор
ResearcherID: J-2019-2017; ORCID: 0000-0001-7574-4547; coolagin@list.ru

Уфимский институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН; 450054, г. Уфа, пр-кт Октября, 69, Россия

Аннотация. Цель исследований – оценка жизненного состояния древесных растений и изучение особенностей накопления и распределения кадмия (Cd) в подземных и наземных органах липы мелколистной в условиях загрязнения Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля. Установлено, что в импактной зоне Стерлитамакского промышленного центра относительное жизненное состояние деревьев липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) является «ослабленным» ($L_n=72,75\%$), а в зоне условного контроля – «здоровым» ($L_n=88,25\%$). В зоне загрязнения в верхнем слое почвы 0-10 см насыщенность поглощающими корнями липы составляла $32,42 \pm 1,52$ г/м², на глубине 10-20 см – $52,34 \pm 2,50$ г/м², а на глубине 20-30 см – $31,30 \pm 3,21$ г/м². В зоне условного контроля отмечается сходная закономерность: в верхнем слое почвы 0-10 см насыщенность поглощающими корнями составляла $55,53 \pm 2,52$ г/м², на глубине 10-20 см – $69,34 \pm 4,62$ г/м². Техногенный Cd накапливается в верхних слоях почвы 0-10 (20) см, что приводит к снижению доли поглощающих корней. Выполнен расчет коэффициентов биологического поглощения (0,71) и накопления (1,30) Cd в корнях липы в условиях загрязнения окружающей среды. Показано, что по содержанию Cd в органах липы образуется следующий ряд (по убыванию): корни > ветви > листья. Выявлено снижение поступления Cd в надземные органы липы, что свидетельствует о выполнении корневой системой барьерной функции по отношению к загрязнителям. Насаждения липы успешно произрастают в условиях промышленного загрязнения и в целом выполняют средостабилизирующие функции.

Ключевые слова: липа мелколистная, относительное жизненное состояние, корневая система, кадмий

Формат цитирования: Гиниятуллин Р.Х., Тагирова О.В., Кулагин А.Ю. Особенности транслокации кадмия в насаждениях липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в условиях загрязнения окружающей среды (Стерлитамакский промышленный центр) // Природообустройство. 2023. № 3. С. 116-122. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-116-122.

© Гиниятуллин Р.Х., Тагирова О.В., Кулагин А.Ю., 2023

Original article

FEATURES OF CADMIUM TRANSLOCATION IN SMALL-LEAVED LINDEN PLANTATIONS (*TILIA CORDATA* MILL.) UNDER CONDITIONS OF ENVIRONMENTAL POLLUTION (STERLITAMAK INDUSTRIAL CENTER)

Giniyatullin Rafak Khizbullinovich, doctor of agricultural sciences,
senior researcher of the laboratory of forestry;

ResearcherID: K-1767-2018, ORCID: 0000-0001-5729-3754; grafak2012@yandex.ru

Tagirova Olesya Vasiljevna, candidate of biological sciences, associate profesor,
senior researcher of the laboratory of forestry

ResearcherID: AAX-4432-2021, ORCID: 0000-0003-1615-7005; olecyi@mail.ru

Kulagin Alexey Yurjevich , doctor of biological sciences, professor, chief researcher, head of the laboratory of forestry

ResearcherID: J-2019-2017, ORCID: 0000-0001-7574-4547; coolagin@list.ru

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences: 450054 Ufa, 69 Prospekt Oktyabrya, Russia

Annotation. The purpose of the research is to assess the vital state of woody plants and study the features of the accumulation and distribution of cadmium (Cd) in the underground and aboveground organs of the small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) under conditions of pollution of the Sterlitamak industrial center and in the conditional control zone. It was established that in the impact zone of the Sterlitamak industrial center the relative vitality of small-leaved linden trees is «weakened» ($L_n=72.75\%$), and in the conditional control zone – «healthy» ($L_n=88.25\%$). In the contaminated zone in the upper soil layer of 0-10 cm, the saturation with absorbing linden roots was $32.42 \pm 1.52 \text{ g/m}^2$, at a depth of 10-20 cm – $52.34 \pm 2.50 \text{ g/m}^2$, and at a depth of 20-30 cm – $31.30 \pm 3.21 \text{ g/m}^2$. In the conditional control zone, a similar pattern is noted: in the upper soil layer of 0-10 cm, the saturation with absorbing roots was $55.53 \pm 2.52 \text{ g/m}^2$, at a depth of 10-20 cm – $69.34 \pm 4.62 \text{ g/m}^2$. Technogenic Cd accumulates in the upper soil layers of 0-10 (20) cm, which leads to a decrease in the proportion of absorbing roots. The coefficients of biological absorption (0.71) and accumulation (1.30) of Cd in linden roots under conditions of environmental pollution were calculated. It was shown that according to the content of Cd in the organs of linden, the following series is formed (in descending order): roots>branches>leaves. A decrease in Cd entry into the above-ground organs of linden was revealed, which indicates that the root system performs a barrier function in relation to pollutants. Linden plantations successfully grow in conditions of industrial pollution and generally perform environmental stabilizing functions.

Keywords: small-leaved linden, relative vitality, root system, cadmium

Format of citation: Giniyatullin R.Kh., Tagirova O.V., Kulagin A.Yu. Features of cadmium translocation in plants of the linden (*Tilia cordata* Mill.) under pollution conditions (Sterlitamak industrial center) // Prirodobustroystvo. 2023. 3. S. 116-122. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-116-122.

Введение. Обеспечение благоприятной экологической среды в промышленных центрах и оптимизация природопользования являются одной из важнейших социально-экологических задач. Лесные насаждения вносят вклад в оздоровление окружающей среды от атмосферных загрязнителей [1, 2]. Древесные насаждения способны накапливать до половины объема поступающих в экосистему загрязняющих веществ [1]. Показано [3], что насаждения липы способны нейтрализовать до 1 г SO_2 /1 кг сухой массы листьев. Загрязнение почв вблизи крупных промышленных предприятий определяется типом техногенного воздействия и соотношением газообразных и твердых веществ в выбросах, а невысокая подвижность тяжелых металлов при их постоянном поступлении в окружающую среду вместе с другими загрязнителями приводит к накоплению токсичных веществ как в верхних горизонтах почвы, так и в растительном материале [4, 5].

В Стерлитамакском промышленном центре основными источниками поступления загрязняющих веществ в окружающую среду являются предприятия химической промышленности: АО «Башкирская содовая компания», АО «Стерлитамакский нефтехимический завод»

и др., – воздействие которых проявляется в загрязнении экосистем металлами [6]. Общее состояние лесных насаждений, оценка устойчивости отдельных видов и характеристика особенностей накопления промышленных загрязнителей представляют собой эколого-лесоводственное обоснование для решения вопросов озеленения и создания устойчивых и продуктивных защитных лесных насаждений.

Материалы и методы исследований. В статье представлены результаты исследований по оценке жизненного состояния деревьев и накопления металлов в органах липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в условиях комплексного загрязнения окружающей среды Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ).

Цель исследований: оценка жизненного состояния древесных растений и изучение особенностей накопления, распределения кадмия (Cd) в подземных и наземных органах липы мелколистной в условиях загрязнения СПЦ и в зоне условного контроля (ЗУК).

Район исследования расположен в долинах рек Стерля, Ашкадар и Белая. Рельеф характеризуется обширными низменными террасовыми полого-увалистыми равнинами. Естественная травянистая растительность представлена

степными, луговыми и болотными флористическими комплексами. Средняя годовая температура воздуха составляет $3,2^{\circ}\text{C}$, среднее годовое количество осадков – 498,9 мм. Преобладают ветры южного, юго-западного направлений. Почвообразующими породами служат делювиальные и аллювиально-делювиальные отложения. В почвенном покрове преобладают типичные и выщелоченные черноземы [7].

Исходный фактический материал собран на сети постоянных пробных площадей (ПП) в СПЦ в 2013-2022 гг. Объектами изучения являлись культуры липы, произрастающие в промышленной зоне СПЦ в 2-3 км от источников загрязнения (ПП 1) и в ЗУК на удалении 10-15 км от источников загрязнения (ПП 2) (рис. 1).

Исследования выполнены в одновозрастных древостоях липы (возраст – около 50 лет), которые произрастают в сходных лесорастительных условиях. При проведении полевых работ руководствовались общепринятыми методами [8, 9]. Оценку относительного жизненного состояния деревьев определяли по методике В.А. Алексеева [9] с модификациями для лиственных древесных растений. Для определения возраста деревьев использовали образцы древесины (керы), взятые с помощью возрастного бурава (Mora, Sweden).

Детальные исследования проводили на деревьях липы, которые относятся к категории «здоровые».

Исследования насыщенности почвы поглощающими корнями проводили методом монолитов. Траншеи (почвенные разрезы) глубиной 1 м закладывали на расстоянии 70 см от ствола дерева и перпендикулярно направлению роста горизонтальных корней. Почвенные монолиты отбирали вдоль траншеи так, чтобы одна сторона почвенного столба являлась стенкой траншеи. Почвенные монолиты вырезали специальными стальными ножами-корнерезами. В каждой траншее отбирали по 10 почвенных монолитов размером $10 \times 10 \times 10$ см. Выборку корней из почвенных монолитов производили при помощи пинцета с последующей промывкой водой. Для характеристики корневой системы древесных растений использовали следующую дробность фракций: менее 1 мм в диаметре (поглощающие корни), 1-3 мм (полускелетные корни), более 3 мм (скелетные корни). Вес корней определяли в воздушно-сухом состоянии на электронных лабораторных весах ВЛТЭ-150 (Россия) с точностью до 0,001 г. Корненасыщенность почвы определяли на единицу площади горизонтальной поверхности, $\text{г}/\text{м}^2$.

Тяжелые металлы, поступая в почву из техногенных источников, концентрируются в приповерхностном слое почвы 0-10 (20) см. Для определения особенностей загрязнения были отобраны образцы из разных горизонтов почв. В насаждениях почвенные образцы отбирали на глубине 0-50 см. Образцы почвы отбирали по 10-сантиметровым слоям до глубины 0,5 м в соответствии с требованиями ГОСТ 26423-83. Почвенные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, затем перетирали их в фарфоровой ступке и просеивали через капроновое сито (размер ячеек – 1 мм). Для оценки содержания тяжелых металлов использовали смешанные образцы [10, 11] согласно методическим рекомендациям [12].

Для определения содержания металлов в листьях, ветвях и во фракциях корней образцы высушивали до воздушно-сухого состояния. Перед атомно-абсорбционным анализом пробы корней тщательно измельчали. Измельчение проводили на мельнице и в агатовых ступках. Содержание металлов в растительных и почвенных образцах определяли методом атомно-абсорбционного анализа Zenit-650 (Analytik Jena AD Germany).

Фактический материал обрабатывали с использованием общепринятых статистических методов [13] и пакета программ Statistica, Exel.

Результаты и их обсуждение. В условиях интенсивного загрязнения окружающей среды в северной части г. Стерлитамак наблюдается снижение относительного жизненного



Рис. 1. Карта-схема размещения пробных площадей в насаждениях липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в Стерлитамакском промышленном центре
Fig. 1. A map of the location of trial plots in stands of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) in the Sterlitamak industrial center

состояния древостоев (ОЖС), но не отмечается массовая гибель деревьев липы в насаждениях. С приближением к источнику загрязнения и увеличением отрицательного воздействия выбросов отмечается распространение хлорозов и некрозов листьев. В условиях загрязнения СПЦ по ОЖС древостой липы характеризуются как «ослабленные» ($L_n=72,75\%$) (табл. 1). Значительная часть деревьев липы в данных условиях относится к категории «ослабленные», выявлены также «сильно ослабленные» и «отмирающие» деревья. В насаждениях в ЗУК отмечена высокая доля «здоровых» деревьев, отсутствие «отмирающих» и «сухих» деревьев липы ($L_n=88,25\%$) (табл. 1).

В промышленном центре химическая нагрузка на почву определяется производственной деятельностью, а физико-химические свойства почвы отражают эффект многолетнего воздействия источников загрязнения и аккумуляции загрязнителей [4]. Тяжелые металлы, поступая в почву из техногенных источников, концентрируются в верхних горизонтах почвы 0-10 (20) см.

Следует отметить, что по содержанию Cd между почвами СПЦ и ЗУК наблюдаются различия: на территориях, приближенных к источникам загрязнения, отмечается повышенное содержание Cd в верхнем слое почвы. Установлено, что в условиях СПЦ в слое почвы 0-10 (20) см концентрация валовой формы Cd выше, чем в ЗУК, в 21,6 раза (табл. 2). При сопоставлении данных по содержанию валовых форм Cd с общепринятыми ПДК установлено, что в условиях загрязнения СПЦ почвогрунты под насаждениями липы относятся к категории «загрязненные».

При изучении насыщенности почвы корнями установлено, что в условиях СПЦ наибольшая масса поглощающих корней липы обнаруживается на глубине от 10 до 20 см. В зоне влияния промышленного загрязнения в слоях почвы 0-10 и 10-20 см поглощающих корней содержалось в 1,6-2 раза меньше по сравнению с ЗУК. Так, у деревьев в СПЦ в верхнем слое почвы насыщенность поглощающими корнями составляла $32,42 \pm 1,52$ г/м², на глубине

Таблица 1. Относительное жизненное состояние (ОЖС, %) деревьев липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в насаждениях в условиях загрязнения Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК)

Table 1. Relative vital state (RVS, %) of small-leaved linden trees (*Tilia cordata* Mill.) in the plantations under pollution conditions of the Sterlitamak Industrial Center (SIC) and in the zone of conditional control (ZCC)

Зона Номер пробной площади Zone Number of trial area	Количество деревьев на ПП по категориям ОЖС, шт. Number of trees by RVS categories, pcs.							ОЖС насаждения RVS of the plantation
	Общее Total	Здоровые Healthy	Ослабленные Weakened	Сильно ослабленные Strongly weakened	Отмирающие Dying	Сухие Dry	$L_n\%$	Категория Category
СПЦ, № 1 SIC, № 1	20	7	9	3	1	0	72,75	Ослабленное Weakened
ЗУК, № 2 ZCC, № 2	20	14	4	2	0	0	88,25	Здоровое Healthy

Таблица 2. Содержание Cd, мг/кг, в почвах под насаждениями липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в условиях загрязнения Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК)

Table 2. The content of Cd (mg/kg) in soils under plantations of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) under the conditions of pollution of the Sterlitamak Industrial Center (SIC) and in the zone of conditional control (ZCC)

Глубина, см Depth, cm	СПЦ, валовая форма Cd, мг/кг SIC, gross form Cd, mg / kg	ЗУК, валовая форма Cd, мг/кг ZCC, gross form Cd, mg / kg
0-10	4,76 ± 0,43	0,82 ± 0,07
10-20	4,11 ± 0,32	0,45 ± 0,03
20-30	2,15 ± 0,24	0,22 ± 0,03
30-40	2,10 ± 0,24	0,16 ± 0,02
40-50	0,1 ± 0,02	0,12 ± 0,01
Предельно-допустимые концентрации (ПДК) Cd в почве Maximum permissible concentrations (MPC) of Cd in the soil		
	0,24	0,24

10-20 см – $52,34 \pm 2,50$ г/м², а на глубине 20-30 см – $31,30 \pm 3,21$ г/м².

У деревьев в ЗУК наблюдалась сходная закономерность, однако показатели насыщенности почвы поглощающими корнями были выше, чем у деревьев в условиях СПЦ. В верхнем слое почвенного покрова насыщенность почвы поглощающими корнями составляла $55,53 \pm 2,52$ г/м², на глубине 10-20 см – $69,34 \pm 4,62$ г/м². Минимальными значениями насыщенности почвы поглощающими корнями как в ЗУК, так на загрязненном участке СПЦ, характеризовались более глубокие слои почвогрунтов (50-100 см). В зоне влияния СПЦ в верхнем слое почвы снижение насыщенности поглощающими корнями липы может быть связано с повышением уровня содержания Cd в почве [14].

В условиях загрязнения СПЦ поглощающие корни деревьев липы диаметром <1 мм и полускелетные корни 1-3 мм накапливают Cd в значительных количествах. У деревьев липы в условиях СПЦ в поглощающих корнях диаметром <1 мм среднее содержание Cd составляет $3,0 \pm 0,2$ мг/кг, в полускелетных корнях диаметром 1-3 мм – $3,4 \pm 0,1$ мг/кг, что в 6 раз выше, чем в ЗУК (рис. 2).

Надземные и подземные органы древесных растений активно реагируют на повышение концентрации химических элементов в почве: отмечается увеличение содержания металлов в растениях. Способность корней накапливать тяжелые металлы и снижать их поступление в надземные органы растений [15, 16] определяет интерес к характеру накопления Cd в отдельных органах липы. При сопоставлении данных по содержанию Cd в листьях, ветвях и корнях липы

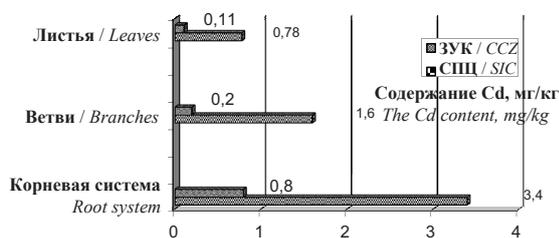


Рис. 2. Содержание Cd, мг/кг, в подземных и надземных органах липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в условиях загрязнения Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК)

Fig. 2. The content of Cd (mg/kg) in the underground and aboveground organs of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) under the conditions of pollution of the Sterlitamak Industrial Center (SIC) and in the zone of conditional control (ZCC)

установлено, что в условиях загрязнения СПЦ содержание Cd в листьях, ветвях, корнях у деревьев липы в 4-8 раз больше, чем в ЗУК (рис. 3). При этом наибольшие концентрации Cd отмечаются в корнях как в условиях СПЦ, так и в ЗУК. Установлено, что в ветвях содержится 47% Cd, в листьях – 23% Cd от уровня концентрации Cd в корнях. В то же время в ЗУК в листьях, ветвях и корнях установлены более низкие и незначительно различающиеся уровни накопления Cd (рис. 3).

Полученные данные о содержании Cd в поглощающих, полускелетных и скелетных корнях липы в условиях загрязнения СПЦ и в ЗУК (рис. 3) позволяют обсуждать вопрос о роли корневой системы как барьера на пути миграции тяжелых металлов в надземные органы дерева [15, 16]. Напомним, что в условиях загрязнения СПЦ установлено высокое содержание Cd в слое почвы 0-10 (20) см (табл. 2) и накопление Cd в корнях липы (рис. 2).

В условиях загрязнения СПЦ и в ЗУК содержание Cd во фракциях корней различается (рис. 3). Выполнен расчет коэффициентов биологического поглощения (КБП) и биологического накопления (КБН) Cd по его содержанию в липе и в верхнем слое почвы 0-20 см. В условиях СПЦ данные коэффициенты для Cd в корнях имеют следующие значения: КБП = 0,71; КБН = 1,30.

Таким образом, по А.И. Перельману [17] Cd является элементом слабого накопления. Оценивая величину КБП и КБН, следует отметить, что в условиях загрязнения СПЦ наблюдается повышенное накопление Cd во всех фракциях корней по сравнению с ЗУК.

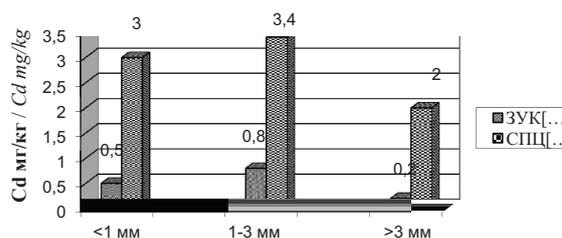


Рис. 3. Среднее содержание Cd, мг/кг, в поглощающих, полускелетных, скелетных корнях липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.)

в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК)

Fig. 3. Average content of Cd (mg/kg) in absorbent, semi-skeletal, skeletal roots of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) under conditions of pollution of the Sterlitamak Industrial Center (SIC) and in the zone of conditional control (ZCC)

В целом по содержанию Cd в органах липы образуется следующий ряд (по убыванию): корни>ветви>листья. Следовательно, отмечается наличие барьерной роли корневой системы липы в условиях загрязнения окружающей среды, что определяет снижение накопления Cd в ветвях и листьях.

Выводы

Установлено, что в промышленной зоне г. Стерлитамак относительное жизненное состояние деревьев липы мелколистной является «ослабленным», а в зоне условного контроля – «здоровым». Внешние признаки угнетения проявляются в уменьшении густоты кроны, увеличении количества мертвых ветвей, поражении ассимиляционного аппарата хлорозами и некрозами.

Снижение доли поглощающих корней в верхних слоях почвы 0-10 (20) см связано с повышенным содержанием металлов (Cd) в почвах. Это объясняется тем, что на загрязненных территориях происходит замедление роста корней, наблюдаются снижение доли тонких проводящих

корней, отмирание корней в верхних слоях почвы и более глубокое расположение корней всех фракций за пределами зоны высокой концентрации загрязнителей.

Расчитанные коэффициенты биологического поглощения и накопления свидетельствуют о том, что в условиях загрязнения окружающей среды Cd в значительных количествах накапливается в поглощающих, полускелетных и скелетных корнях липы, что ограничивает транслокацию Cd в надземные органы липы. С учетом ресурсного значения липы как сырьевой базы пчеловодства полученные данные свидетельствуют о целесообразности проведения в липняках лесохозяйственных мероприятий, направленных на реконструкцию с сохранением «здоровых» деревьев.

Следует отметить, что несмотря на ухудшение жизненного состояния деревьев, насаждения липы мелколистной успешно произрастают в условиях промышленного загрязнения и в целом выполняют средостабилизирующие функции.

Работы выполнены с использованием оборудования центра коллективного пользования «Агидель» в рамках плановых исследований по бюджетной теме № 123020700152-5 FMRS-2023-0008 «Устойчивость лесобразующих древесных видов и эколого-биологические адаптации с учетом антропогенной трансформации ландшафтно-природных комплексов».

The work was carried out using the equipment of the «Agidel» Center for Collective Use as part of planned studies on the budget topic No. 123020700152-5 FMRS-2023-0008 «Sustainability of forest-forming tree species and ecological and biological adaptations, taking into account the anthropogenic transformation of landscape and natural complexes».

Список использованных источников

1. Смит У.Х. Лес и атмосфера: взаимодействие между лесными экосистемами и примесями атмосферного воздуха / пер. Н.Н. Наумовой. М.: Прогресс, 1985. 429 с.
2. Кулагин А.А., Шагиева Ю.А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М.: Наука, 2005. 190 с.
3. Бухарина И.Л., Поварничина Т.М., Ведерников К.Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: Монография. Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. 216 с.
4. Коломыц Э.Г., Розенберг Г.С., Глебова О.В. и др. Природный комплекс большого города: ландшафтно-экологический анализ. Монография. М.: Наука, 2000. 286 с.
5. Нестерова А.Н. Действие тяжелых металлов на корни растений. Поступление свинца, кадмия, цинка в корни, локализация металлов и механизмы устойчивости растений // Геохимическая экология и биогеохимическое изучение таксонов биосферы. М.: Наука, 2003. С. 108-109.
6. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей природной среды Республики Башкортостан в 2021 году. Уфа: 2022. URL: <https://ecology.bashkortostan.ru/presscenter/lectures/1593/>

References

1. Smith W.H. Forest and atmosphere: interaction between forest ecosystems and atmospheric air impurities / N.N. Naumova lane. M.: Progress, 1985. 429 p.
2. Kulagin A.A., Shagieva Yu.A. Woody plants and biological conservation of industrial pollutants. M.: Nauka, 2005. 190 p.
3. Bukharina I.L., Povarnitsina T.M., Vedernikov K.E. Ecological and biological features of woody plants in an urbanized environment: monograph. Izhevsk: FGOU VPO Izhevsk State Agricultural Academy, 2007. 216 p.
4. Kolomyts E.G., Rozenberg G.S., Glebova O.V. et al., Natural Complex of a Big City: Landscape and Ecological Analysis. Monograph. M.: Nauka, 2000. 286 p.
5. Nesterova A.N. Effect of heavy metals on plant roots. The entry of lead, cadmium, zinc into the roots, the localization of metals and the mechanisms of plant resistance // Geochemical ecology and biogeochemical study of taxons of the biosphere. M.: Nauka, 2003. P. 108-109.
6. State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan in 2021. Ufa, 2022. <https://ecology.bashkortostan.ru/presscenter/lectures/1593/>
7. Atlas of the Republic of Bashkortostan / Ed. THEM. Yaparova. Ufa: Kitap, 2005. 420 p.

7. Атлас Республики Башкортостан / Под ред. И.М. Япарова. Уфа: Китап, 2005. 420 с.

8. **Алексеев А.С.** Мониторинг лесных экосистем: учебное пособие. СПб.: СПбЛТА, 2003. 116 с.

9. **Алексеев В.А.** Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 38-54.

10. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М., 1983. 5 с. <https://docs.cntd.ru/document/120001279>

11. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2018. 9 с. <https://docs.cntd.ru/document/1200158951>

12. Методические рекомендации по обследованию и картографированию почвенного покрова по уровням загрязненности промышленности выбросами / Сост. И.Г. Важенин; Почвенный институт им. В.В. Докучаева. М., 1987. 25 с.

13. **Зайцев Г.И.** Математический анализ биологических данных. М.: Наука, 1991. 182 с.

14. **Веселкин Д.В.** Распределение тонких корней хвойных деревьев по почвенному профилю в условиях загрязнения выбросами металлургического производства // Экология. 2002. № 4. С. 250-253.

15. **Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф.** Устойчивость растений к тяжелым металлам. Монография. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 172 с.

16. **Grant C.A., Buckley W.T., Bailey L.D., Selles F.** Cadmium accumulation crops // Can. J. Plant Sci. 1998. V. 78. Pp. 1-17.

17. **Перельман А.И.** Геохимия: учебник. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.

8. **Alekseev A.S.** Monitoring of forest ecosystems: study guide. St. Petersburg: SPbLTA, 2003. 116 p.

9. **Alekseev V.A.** Some issues of diagnostics and classification of forest ecosystems damaged by pollution // Forest ecosystems and atmospheric pollution. L.: Nauka, 1990. P. 38-54.

10. GOST 17.4.1.02-83 Nature Protection. Soils. Classification of chemicals for pollution control. – M., 1983. 5 p.

11. GOST 17.4.4.02-2017. Nature Protection (SSOP). Soils. Methods of sampling and preparation of samples for chemical, bacteriological, helminthological analysis. – M.: Standartinform, 2018. 9 p.

12. Guidelines for the survey and mapping of the soil cover on the levels of industrial pollution with emissions / Comp. I.G. Vazhenin; Soil Institute named after Dokuchaev. M., 1987. 25 p.

13. **Zaitsev G.I.** Mathematical analysis of biological data // M.: Nauka Publishing House, 1991. – 182 p.

14. **Veselkin D.V.** Distribution of thin roots of coniferous trees along the soil profile under conditions of pollution by copper smelter emissions // Ecology. 2002. No. 4. P. 250-253.

15. **Titov A.F., Talanova V.V., Kaznina N.M., Laidinen G.F.** Plant resistance to heavy metals. Monograph. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2007. 172 p.

16. **Grant C.A., Buckley W.T., Bailey L.D., Selles F.** Cadmium accumulation crops, Can. J. Plant Sci. 1998. V. 78. P. 1-17.

17. **Perelman A.I.** Geochemistry. Textbook. M.: Higher school, 1989. 528 p.

Критерии авторства

Гиниятуллин Р.Х., Тагирова О.В., Кулагин А.Ю. выполнили теоретические и прикладные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 13.02.2023

Одобрена после рецензирования 18.05.2023

Принята к публикации 18.05.2023

Criteria of authorship

Giniyatullin R.Kh., Tagirova O.V., Kulagin A.Yu. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Giniyatullin R.Kh., Tagirova O.V., Kulagin A.Yu. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 13.02.2023

Approved after reviewing 18.05.2023

Accepted for publication 18.05.2023