

Гиниятуллин Р.Х.¹, Кулагин А.А.^{1,2}, Зайцев Г.А.¹, Бактыбаева З.Б.³**САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ ЛИСТВЕННИЦЫ СУКАЧЁВА (*LARIX SUKACZEWII* DYL.) В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТЕРЛИТАМАКСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА: СОСТОЯНИЕ И ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ**¹ФГБН «Уфимский Институт биологии Российской академии наук», 450054, Уфа;²ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», 450000, Уфа;³ФБН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», 450106, Уфа**Введение.** Представлены материалы по распределению тяжёлых металлов в органах лиственницы Сукачёва (*Larix sukaczewii* Dyl.) в условиях загрязнения промышленного центра г. Стерлитамака.**Материал и методы.** С помощью атомно-абсорбционного метода определялось содержание меди, свинца и кадмия в почвенном покрове, хвое, ветвях и корнях у здоровых и ослабленных деревьев лиственницы.**Результаты.** В условиях промышленного загрязнения относительное жизненное состояние насаждений лиственницы оценивается как ослабленное (LN = 74,25%), в зоне контроля как здоровое (LN = 84,75%). У ослабленных деревьев с увеличением концентрации металлов в почвах и корнях отмечается увеличение концентрации металлов в надземных органах, а у здоровых деревьев больше депонируется в корнях.**Обсуждение.** Высокое содержание тяжёлых металлов в почве приводит к перераспределению корнено-ценности почвы поглощающими корнями, что проявляется в снижении биомассы корней в верхних, наиболее загрязнённых слоях почвы, а также негативно отражается на жизненном состоянии древостоев за счёт уменьшения густоты кроны и увеличения на стволах доли мёртвых и отмирающих ветвей.**Выводы.** В условиях загрязнения лиственница способна активно поглощать и депонировать значительное количество Cu, Cd и Pb, тем самым ограничивая их распространение в окружающей среде.**Ключевые слова:** лиственница Сукачёва; медь; свинец; кадмий; относительное жизненное состояние; поглощающие корни; промышленное загрязнение.**Для цитирования:** Гиниятуллин Р.Х., Кулагин А.А., Зайцев Г.А., Бактыбаева З.Б. Санитарно-защитные насаждения лиственницы Сукачёва (*Larix sukaczewii* Dyl.) в условиях загрязнения стерлитамакского промышленного центра: состояние и особенности накопления тяжёлых металлов. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(9): 819-824. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-9-819-824>**Для корреспонденции:** Гиниятуллин Рафак Хизбуллинович, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. лесоведения ФГБН «Уфимский Институт биологии Российской академии наук». E-mail: smu@anrb.ru.Giniyatullin R.Kh.¹, Kulagin A.A.^{1,2}, Zaitsev G.A.¹, Baktybaeva Z.B.³**SANITARY AND PROTECTIVE *LARIX SUKACZEWII* DYL. STAND IN THE POLLUTION CONDITIONS OF THE STERLITAMAK INDUSTRIAL CENTER: STATUS AND PECULIARITIES OF ACCUMULATION OF HEAVY METAL**¹Ufa Institute of Biology of the Russian Academy of Sciences, Ufa, 450054, Russian Federation;²M. Akmuulla Bashkir State Pedagogical University, Ufa, 450000, Russian Federation;³Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, 450106, Russian Federation**Introduction.** Materials on the distribution of heavy metals in the organs of *Larix sukaczewii* Dyl are presented in the conditions of the pollution of the industrial center of Sterlitamak.**Material and methods.** Using the atomic absorption method, the content of copper, lead, and cadmium in the soil cover, needles, branches, and roots was determined in healthy and weakened larch trees.**Results.** Under conditions of the industrial pollution, the relative life condition of larch stands is estimated as «weakened» (LN = 74.25%), in the control zone as «healthy» (LN = 84.75%). Weakened trees with increasing metal concentrations in soils and roots show an increase in the concentration of metals in the aerial organs, and in healthy trees, it is more deposited in the roots.**Discussion.** The high content of heavy metals in the soil leads to a redistribution of the root-saturation of the soil with absorbing roots, which is manifested in a decrease in the biomass of the roots in the upper, most contaminated soil layers, and also negatively affects the vital state of the trees by decreasing the density of the tree crown and increasing the share of dead and dying branches on the trunks.**Conclusion.** Under conditions of contamination, larch is able to actively absorb and deposit a significant amount of Cu, Cd, and Pb, thereby limiting their distribution in the environment.**Key words:** *Larix sukaczewii* Dyl.; copper; lead; cadmium; relative life state; absorbing roots; industrial pollution.**For citation:** Giniyatullin R.Kh., Kulagin A.A., Zaitsev G.A., Baktybaeva Z.B. Sanitary and protective *Larix sukaczewii* dyl. stand in the pollution conditions of the Sterlitamak industrial center: status and peculiarities of accumulation of heavy metal. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(9): 819-824. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-9-819-824>**For correspondence:** Rafak Kh. Giniyatullin, MD, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory of Forestry Ufa Institute of Biology of the Russian Academy of Sciences, Ufa, 450054, Russian Federation. E-mail: smu@anrb.ruRafak.**Information about authors:**Giniyatullin R.Kh., <http://orcid.org/0000-0001-5729-3754>; Kulagin A.A., <http://orcid.org/0000-0002-7721-2453>;Zaitsev G.A., <http://orcid.org/0000-0002-6341-3502>; Baktybaeva Z.B., <http://orcid.org/0000-0003-1249-7328>.**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.

Received: 30 August 2017

Accepted: 24 April 2018

Введение

Загрязнение воздушной среды выбросами промышленных предприятий в течение длительного времени приводит к накоплению токсичных веществ в почвенном покрове [1]. Среди многочисленных загрязнителей окружающей среды особое место занимают тяжёлые металлы. Именно тяжёлые металлы являются наиболее токсичными для живых организмов, в том числе для растений [2]. Медь входит в состав ферментов, играющих важную роль в окислительно-восстановительных процессах, способствует образованию хлорофилла, повышает интенсивность фотосинтеза, положительно влияет на углеводный и азотный обмен, повышает устойчивость против грибковых и бактериальных заболеваний. В то же время отмечается и токсическое действие меди, которое проявляется в снижении формирования фитомассы, уменьшении оводнённости тканей и содержания хлорофилла, ингибировании поглощения ионов некоторых других металлов и их транслокации [3–5]. Свинец необходим растениям в небольших количествах и поэтому относительно слабо поглощается растениями [6]. Избыток свинца в растениях ингибирует дыхание и подавляет процесс фотосинтеза, вследствие чего снижается накопление фитомассы [7–10]. Кадмий является одним из наиболее токсичных тяжёлых металлов для растений [11–14]. Он значительно замедляет темпы роста и развитие растительного организма, ослабляет интенсивность фотосинтеза [15], приводит к изменениям в проницаемости клеточных мембран и активности ряда ферментов.

Лесные насаждения выполняют санитарно-защитные функции, адсорбируя пылевые частицы на поверхности ассимиляционных органов и поглощая токсиканты. Санитарно-гигиеническая функция лесных экосистем состоит в поглощении углекислого газа, ионизации приземных слоёв атмосферы, выделении химически активных летучих органических веществ (фитонцидов). Лиственница Сукачёва (*Larix sukaczewii* Dyl.) устойчива к экстремальным природным и техногенным факторам внешней среды и широко используется при создании санитарно-защитных лесонасаждений на территории крупных промышленных центров [16, 17]. При этом подробные работы, касающиеся изучения роста и развития лиственницы Сукачёва в условиях загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами, не проводились. Поэтому целью данного исследования было изучение особенностей накопления тяжёлых металлов в органах лиственницы Сукачёва в условиях промышленного загрязнения. В ходе выполнения работы выполнялись следующие задачи:

- оценка относительного жизненного состояния насаждений лиственницы Сукачёва в условиях загрязнения в пределах Стерлитамакского промышленного центра;
- характеристика особенностей накопления и распределения тяжёлых металлов (медь, свинец и кадмий) в над-

земных и подземных органах у здоровых и ослабленных деревьев лиственницы Сукачёва.

Материал и методы

Исследования проводились в пределах санитарно-защитной зоны Стерлитамакского промышленного центра, характеризующегося высоким уровнем загрязнения: валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в 2015 году составили 66,0 тыс. т (от стационарных источников – 51,0 тыс. т, от транспортных средств – 15,0 тыс. т). Основными источниками загрязнения являются предприятия химической и нефтехимической отрасли – АО «Башкирская содовая компания», ОАО «Синтез-Каучук» и ОАО «Стерлитамакский нефтехимический завод» [18].

Объектами исследования были насаждения лиственницы Сукачёва в возрасте 50 лет. Пробные площади были заложены в непосредственной близости от источников промышленного загрязнения в северной части Стерлитамакского промышленного центра, контрольные пробные площади были заложены в 24 км к югу на территории Ашкардарского питомника (в регионе преобладает западный и юго-западный перенос воздушных масс) (рис. 1).

Закладку и описание пробных площадей проводили по общепринятым методикам [19, 20], краткая таксационная характеристика насаждений представлена в табл. 1.

Оценку жизненного состояния деревьев проводили по стандартной методике [21, 22]. Для каждого дерева на пробной площади оценивались: густота кроны (в % от нормальной густоты), наличие на стволе мёртвых сучьев (в % от общего количества сучьев на стволе), степень повреждения хвои токсикантами, патогенами и насекомыми (средняя площадь некрозов, хлорозов и объеданий в % от площади хвои). Относительное жизненное состояние насаждений рассчитывали по формуле:

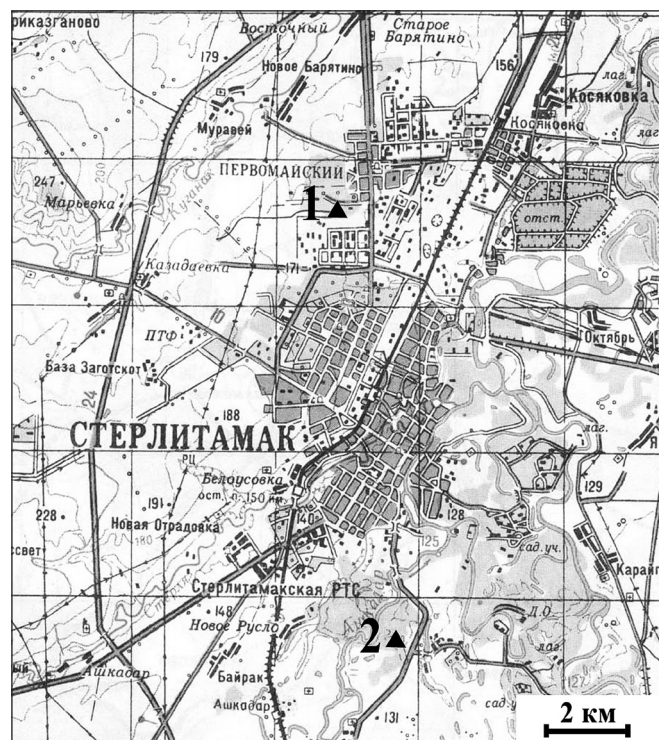


Рис. 1. Карта-схема расположения пробных площадей в насаждениях лиственницы Сукачёва (*Larix sukaczewii* Dyl.) в условиях Стерлитамакского промышленного центра. Условные обозначения: 1 – загрязнение; 2 – контроль.

Таблица 1

Краткая таксационная характеристика насаждений лиственницы Сукачёва (*Larix sukaczewii* Dyl.) в условиях Стерлитамакского промышленного центра

Состав древостоя	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Возраст, годы
<i>Стерлитамакский промышленный центр</i>			
10 Лиственниц	20	17	50
<i>Контроль</i>			
10 Лиственниц	25	18	50

$$L_N = \frac{100 \cdot n_1 + 70 \cdot n_2 + 40 \cdot n_3 + 5 \cdot n_4}{N}, \quad (1)$$

где L_N – относительное жизненное состояние насаждения; n_1 – число здоровых деревьев на пробной площади; n_2, n_3, n_4 – то же для ослабленных, сильно ослабленных и отмирающих деревьев соответственно; 100, 70, 40, 5 – коэффициенты, выражающие (в %) жизненное состояние здоровых, ослабленных, сильно ослабленных и отмирающих деревьев; N – общее число деревьев на пробной площади (включая сухостой).

При значении относительного жизненного состояния от 100 до 80% древостой оценивается как здоровый, при 79–50% – ослабленный, при 49–20% – сильно ослабленный, при 19% и ниже – полностью разрушенный.

Исследование корневых систем лиственницы Сукачёва проводилось методом монолитов [26–28]. Траншеи (почвенные разрезы) закладывались на расстоянии 70 см от ствола. Все почвенные разрезы имели одинаковые размеры 1,0 x 0,5 м. Использовали монолиты размером 10 x 10 см объёмом 1000 см³ (высота монолита 10 см). Выборку поглощающих корней (диаметром до 1 мм) из монолитов проводили при помощи пинцета с последующей отмывкой корней водой на ситах с диаметром ячеек 0,5 мм. Вес корней определялся в воздушно-сухом состоянии на электронных лабораторных весах ВЛТЭ-150 с точностью до 0,001 г (НПП «Госметр», Россия). Корненасыщенность почвы определяли на единицу площади горизонтальной поверхности (г/м²).

Для оценки содержания металлов производился многократный повторный отбор хвои, ветвей, корней и почвы в условиях промышленного загрязнения. Отбор проб производился в течение вегетационного сезона. Растительные образцы на каждой пробной площади отбирались не менее чем с 15 деревьев и высушивались до воздушно-сухого состояния. Отбор проб почвы проводился согласно требованиям ГОСТа 17.4.3.01–83¹ и ГОСТа 17.4.4.02–84². Содержание металлов в образцах определялось методом атомно-абсорбционного анализа [23–25] на атомно-абсорбционном спектрометре ZEE nit-650 (Analytik Jena AG, Germany).

На основании полученных данных были вычислены коэффициенты биологического поглощения (КБП) и биологического накопления (КБН). Для характеристики особенностей перехода металлов из корней в надземную часть растений рассчитывали коэффициент перехода (Кп), равный отношению содержания металлов в надземной фитомассе к таковому в корнях.

Результаты

Оценка относительного жизненного состояния насаждений лиственницы показала, что в условиях промышленного загрязнения насаждения характеризуются как ослабленные ($L_N = 74,25\%$). Под влиянием промышленного загрязнения у лиственницы отмечается уменьшение густоты кроны (до 33%). Мёртвые и отмирающие ветви расположены преимущественно в средней и нижней части кроны. Хвоя характеризуется слабым поражением хлорозами и некрозами (не более 25%, в среднем 5–14%). Проявление хлорозов и некрозов у лиственницы в условиях загрязнения происходит однотипно: от кончика к её основанию.

¹ ГОСТ 17.4.3.01–83. Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2008.

² ГОСТ 17.4.4.02–84. Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2008.

Содержание металлов (в мг/кг) в почвах под насаждениями лиственницы Сукачёва (*Larix sukaczewii* Dyl.) в условиях Стерлитамакского промышленного центра

Глубина почвы, см	Стерлитамакский промышленный центр			Контроль		
	Cu	Cd	Pb	Cu	Cd	Pb
<i>Валовое содержание:</i>						
0–20	310,00	7,80	62,30	26,00	1,50	8,56
<i>Подвижные формы:</i>						
0–20	8,20	0,65	9,00	2,40	0,20	2,40

В условиях относительного контроля насаждения лиственницы относятся к категории здорового ($L_N = 84,75\%$). Деревья лиственницы имеют сформированную крону (густота кроны 72% от нормы), мёртвых сучьев на стволе замечено в среднем 23,5%. Отмечаются повреждения хвои (не более 20%, в среднем 12,04%).

Тяжёлые металлы, поступая в почву, накапливаются, как правило, в поверхностном слое почвы (до 20 см), где они присутствуют в форме обменных ионов, входят в состав гумусовых веществ, карбонатов, оксидов алюминия, железа и марганца. Установлено, что в условиях промышленного загрязнения в слое 0–20 см содержание валовых и подвижных форм – Cu, Cd, Pb – значительно выше контрольных значений (табл. 2). В условиях загрязнения валовое содержание меди в 11,9 раза выше, чем в условиях контроля, валовое содержание кадмия – в 5,2 раза, валовое содержание свинца – в 7,2 раза выше; содержание подвижных форм меди в 3,4 раза выше, чем в контроле, подвижных форм кадмия выше в 3,2 раза, подвижных форм свинца – в 3,7 раза.

При исследовании корневых систем у здоровых и ослабленных деревьев лиственницы в условиях промышленного загрязнения установлено, что на глубине 0–20 см отмечается снижение корненасыщенности почвы поглощающими корнями по сравнению с контролем (рис. 2).

В условиях промышленного загрязнения масса поглощающих корней в слое почвы 0–10 см у здоровых деревьев лиственницы составляет 27,11 г/м², а у ослабленных деревьев – 18,20 г/м². В условиях относительного контроля в поверхностном слое почвы (0–10 см) масса поглощающих корней составляет 62,00 г/м². Вероятно, высокое содержание тяжёлых металлов в верхних слоях почвы приводит к «переформированию» структуры корневой системы лиственницы.

В условиях промышленного загрязнения отмечают различия в распределении металлов по органам у ослабленных и здоровых деревьев лиственницы. При изучении накопления меди в органах здоровых деревьев лиственницы Сукачёва в условиях промышленного загрязнения установлено, что наибольшее количество меди содержится в корнях (рис. 3).

В целом по содержанию меди в органах лиственницы у здоровых и ослабленных деревьев в условиях загрязнения, а также и в условиях контроля образуется следующий ряд: корневая система > ветви > хвоя. Можно предположить, что высокое содержание меди в корнях (и меньшее в надземных органах) обусловлено способностью корневой системы лиственницы удерживать медь от переноса в надземные органы при условии высокого ее содержания в почве.

Способность растений поглощать металлы из почвы характеризуется коэффициентом биологического погло-

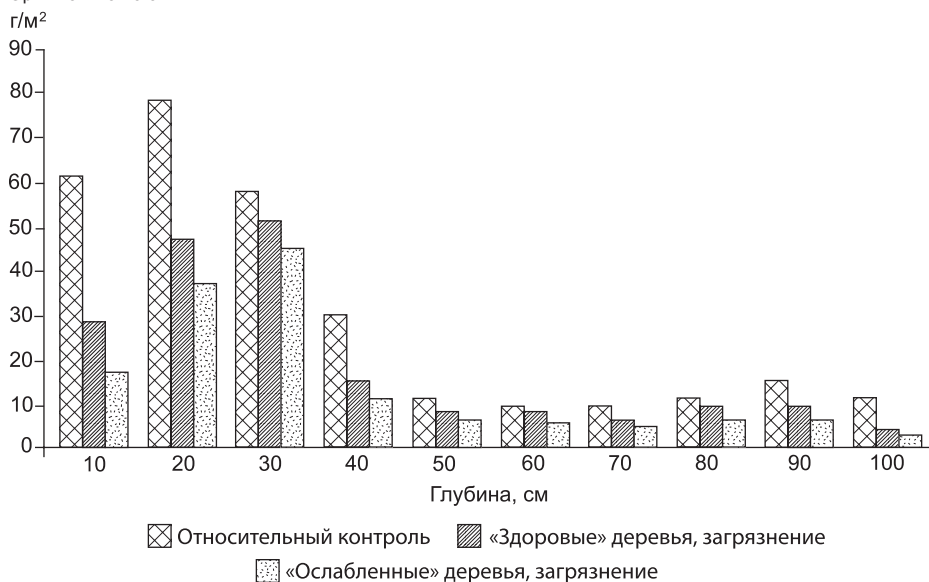


Рис. 2. Насыщенность почвы поглощающими корнями лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) в условиях Стерлитамакского промышленного центра.

щения и коэффициентом биологического накопления, представляющим собой отношение содержания металла в растении к его содержанию в почве. Установлено, что медь является элементом слабого поглощения и среднего захвата (КБП = 0,20–0,85), а показатель КБН свидетельствует о накоплении меди в корневой системе лиственницы (как в условиях загрязнения, так и в контроле).

В условиях промышленного загрязнения отмечается высокое содержание кадмия в надземных и подземных органах лиственницы (рис. 4).

Установлено, что содержание кадмия в хвое здоровых деревьев лиственницы ниже, чем в хвое ослабленных деревьев. В условиях загрязнения в хвое и ветвях у здоровых деревьев лиственницы среднее содержание кадмия составляет 0,3–0,5 мг/кг, а у ослабленных деревьев – от 1 до 1,5 мг/кг. Сравнение полученных данных по содержанию кадмия в хвое, ветвях и в корневой системе показало, что наибольшие концентрации этого металла отмечаются в корнях. У ослабленных деревьев лиственницы с увеличением концентрации кадмия в почвах и в

корневой системе отмечается увеличение содержания кадмия в ветвях и хвое. Следовательно, можно предположить, что у ослабленных деревьев лиственницы происходит нарушение или ослабление барьерной функции корневой системы по отношению к кадмию.

Расчет КБП и КБН для кадмия показал, что самые высокие величины КБП характерны для лиственницы, произрастающей в условиях промышленного загрязнения. Здесь кадмий выступает элементом слабого поглощения и среднего захвата: значение КБП = 0,79, а в КБН = 4,96. В условиях относительного контроля кадмий также накапливается в корневой системе лиственницы (КБП = 0,39; КБН = 8,91). Высокие значения КБН для кадмия у здоровых деревьев лиственницы в условиях загрязнения и в контроле можно объяснить тем, что поступающий из почвы кадмий аккумулируется и фиксируется в корнях, что препятствует переходу кадмия в надземную часть деревьев. В условиях загрязнения и в контроле установлены низкие значения коэффициента перехода кадмия из корней в надземную часть у здоровых деревьев $K_p = 0,17–0,22$, а у ослабленных деревьев лиственницы более высокие $K_p = 0,65–0,82$.

Изучение содержания свинца в органах здоровых и ослабленных деревьев лиственницы в условиях загрязнения показало ряд особенностей (рис. 5): содержание свинца в корневых системах выше, чем в надземных частях деревьев.

Содержание свинца в корнях здоровых и ослабленных деревьев лиственницы в условиях промышленного загрязнения в 9,7 раза больше, чем в условиях контроля.

Коэффициенты концентрации свинца для здоровых деревьев лиственницы в условиях загрязнения имеют следующие значения: КБП = 2,86 и КБН = 7,40, а у ослабленных деревьев КБП = 1,4 и КБН = 3,8. По показателю КБП свинец в таких условиях является элементом сильно-

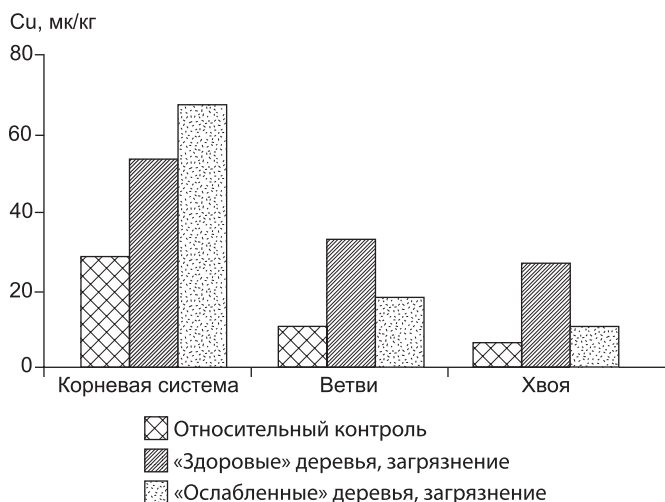


Рис. 3. Содержание меди (мг/кг) в органах лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) в условиях Стерлитамакского промышленного центра.

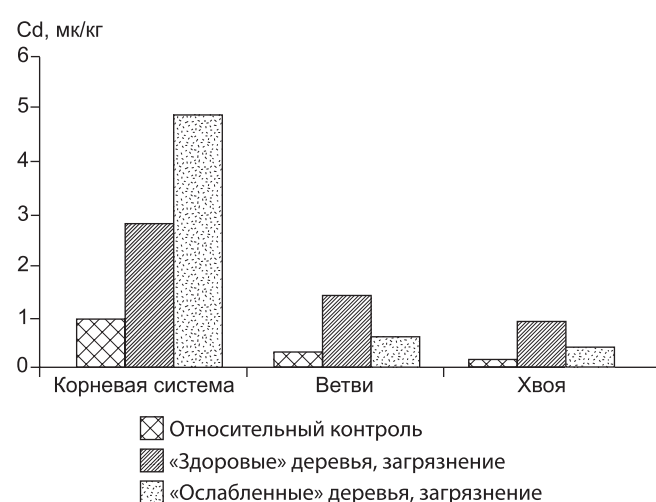


Рис. 4. Содержание кадмия (мг/кг) в органах лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) в условиях Стерлитамакского промышленного центра.

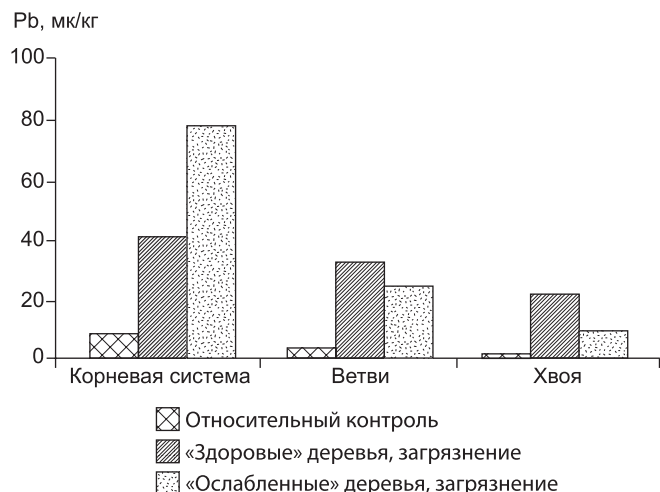


Рис. 5. Содержание свинца (мг/кг) в органах лиственницы Сукачёва (*Larix sukaczewii* Dyl.) в условиях Стерлитамакского промышленного центра.

го поглощения. В условиях загрязнения у здоровых деревьев лиственницы основная часть свинца задерживается и накапливается в корнях, что может свидетельствовать о существовании механизмов и барьеров, препятствующих транспорту этого металла в надземные органы.

Обсуждение

При анализе данных о количественном содержании меди, кадмия и свинца в различных органах у здоровых и ослабленных деревьев лиственницы, установлено, что у здоровых деревьев лиственницы наблюдается существенная разница между содержанием меди, кадмия, свинца в хвое, ветвях и корнях. Загрязнение окружающей среды и почвенного покрова тяжёлыми металлами приводит к повышению содержания металлов во всех органах лиственницы. В условиях промышленного загрязнения и в контроле у здоровых деревьев лиственницы Сукачёва наблюдается реализация барьерной функции корней по отношению к меди, кадмию и свинцу, о чём свидетельствуют рассчитанные КБН и Кп.

Лиственница Сукачёва характеризуется достаточно высокой скоростью роста, более высокой энергией и продуктивностью фотосинтеза хвои по сравнению с другими хвойными, мало требовательна к химическому составу почв, устойчива к низким температурам в зимний период [29, 30]. А за счёт листопадности лиственница Сукачёва более устойчива к действию промышленного загрязнения по сравнению с другими хвойными видами [16, 17]. Всё это делает лиственницу Сукачёва перспективным видом в создании и реконструкции санитарно-защитных насаждений в крупных промышленных центрах.

Проведённые нами исследования показали, что лиственница Сукачёва в условиях промышленного загрязнения способна активно поглощать и депонировать значительное количество тяжёлых металлов, тем самым ограничивая их распространение в окружающей среде и улучшая экологическую ситуацию в крупных промышленных центрах.

Выводы

1. Впервые в условиях Предуралья изучено накопление тяжёлых металлов в надземных и подземных органах лиственницы Сукачёва с учётом относительного жизненного состояния древостоя.

2. Установлено, что в условиях загрязнения Стерлитамакского промышленного центра жизненное состояние насаждений лиственницы Сукачёва в целом оценено как ослабленное, что обусловлено негативным влиянием промышленных токсикантов. Высокое содержание тяжёлых металлов в почвах под насаждениями лиственницы Сукачёва негативно отражается на жизненном состоянии древостоев.

3. Показано, что в условиях промышленного загрязнения и в условиях относительного контроля основная масса поглощающих корней лиственницы сосредоточена в верхних слоях почвы. Отмечается высокое содержание тяжёлых металлов в верхних слоях почвы.

4. В условиях промышленного загрязнения корневая система здоровых деревьев лиственницы способна поглощать и накапливать значительное количество тяжёлых металлов из почвы. Таким образом, корневая система лиственницы выполняет барьерные функции и обеспечивает ограничение транспорта металлов в надземные органы. Установлено, что у ослабленных деревьев лиственницы с увеличением концентрации тяжёлых металлов в корнях повышается количество металлов и в надземных органах (ветвях и хвое).

5. В целом насаждения лиственницы Сукачёва в условиях Стерлитамакского промышленного центра на протяжении десятилетий аккумулируют техногенные металлы, препятствуют их миграции в окружающей среде и успешно выполняют природоохранные и санитарно-гигиенические функции.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии финансовой поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

(п.п. см. 2, 4, 5, 8-14, 20, 24, 25, 27, 28 см. References)

1. Коломытц Э.Г., Розенберг Г.С., Глебова О.В., Сурова Н.А., Сидоренко М.В., Юнина В.П. *Природный комплекс большого города: Ландшафтно-экологический анализ*. М.: Наука; 2000.
2. Павлов И.Н. *Древесные растения в условиях техногенного загрязнения*. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН; 2005.
3. Галиулин Р.В. Инвентаризация и рекультивация почвенного покрова агроландшафтов, загрязненного различными химическими веществами. 1. Тяжелые металлы. *Агрохимия*. 1994; (7-8): 132-143.
4. Байсеитова Н.М., Сартаева Х.М. Фитотоксичное действие тяжелых металлов при техногенном загрязнении окружающей среды. *Молодой ученый*. 2014; (2): 382-384.
5. Артомонов В.И. *Растения и чистота природной среды*. М.: Наука; 1986.
6. Кулагин Ю.З. *Древесные растения и промышленная среда*. М.: Наука; 1974.
7. Кулагин А.А., Зайцев Г.А. *Лиственница Сукачёва в экстремальных лесорастительных условиях Южного Урала*. М.: Наука; 2008.
8. *Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2015 году*. Уфа: МПЭ РБ, Башкирская издательская компания; 2016.
9. Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В., Лянгузова И.В., Мазная Е.А., Нешатаев В.Ю. и др. *Методы изучения лесных сообществ*. СПб.: НИИХимии СПбГУ; 2002.
10. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев. *Лесоведение*. 1989; (4): 51-57.
11. Бебия С.М. Дифференциация деревьев в лесу, их классификация и определение жизненного состояния древостоев. *Лесоведение*. 2000; (4): 35-43.

23. Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. М.: Техносфера; 2009.
26. Красильников П.К. Методика полевого изучения подземных частей растений (с учетом специфики ресурсоведческих исследований). Л.: Наука; 1983. 29. Дылис Н.В. Сибирская лиственница. Материалы к систематике, географии и истории. М.: МОИП, 1947.
30. Путенихин В.П., Фарушкина Г.Г., Шигапов З.Х. Лиственница Сукачева на Южном Урале: изменчивость и популяционно-генетическая структура. М.: Наука, 2004.
1. Kolomits E.G., Rozenberg G.S., Glebova O.V., Surova N.A., Sidorenko M.V., Yunina V.P. *The natural complex of a large city: Landscape-ecological analysis*. M.: Nauka; 2000. (In Russian)
2. Foy C.D., Chaney R.L., White M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 1978; (29): 511–566. DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.pp.29.060178.002455>.
3. Pavlov I.N. *Woody plants in conditions of technogenic pollution*. Ulan-Ude: BNTs SO RAN; 2005. (In Russian)
4. Kalinovic T.S., Serbula S.M., Radojevic A.A., Kalinovic J.V., Steharnik M.M., Petrovic J.V. Elder, linden and pine biomonitoring ability of pollution emitted from the copper smelter and the tailings ponds. *Geoderma*. 2015; (262): 266–275. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.027>.
5. Pajak M., Halecki W., Gąsiorek M. Accumulative response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and silver birch (*Betula pendula* Roth) to heavy metals enhanced by Pb-Zn ore mining and processing plants: Explicitly spatial considerations of ordinary kriging based on a GIS approach. *Chemosphere*. 2016; (168): 851–859. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.125>.
6. Galiulin R.V. Inventory and reclamation of the soil cover of agrolandscapes contaminated with various chemicals. 1. Heavy metals. *Agrokhimiya*. 1994; (7–8): 132–143. (In Russian)
7. Bayseitova N.M., Sartaeva H.M. Phytotoxic effect of heavy metals in technogenic pollution of the environment. *Molodoy uchenyy*. 2014; (2): 382–384. (In Russian)
8. Chropeňová M., Gregušková E.K., Karásková P., Příbylová P., Kukučka P., Baráková D. et al. Pine needles and pollen grains of *Pinus mugo* Turra – A biomonitoring tool in high mountain habitats identifying environmental contamination. *Ecological Indicators*. 2016; (66): 132–142. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.004>.
9. Chrzan A. Necrotic bark of common pine (*Pinus sylvestris* L.) as a bioindicator of environmental quality. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015; (22): 1066–1071. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-014-3355-0>.
10. Matin G., Kargar N., Buyukisik H.B. Bio-monitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, propolis and pine tree leaves. *Ecological Engineering*. 2016; (90): 331–335. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.035>.
11. Prasad M.N.V. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environmental and Experimental Botany*. 1995; (35): 525–545. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0098-8472\(95\)00024-0](http://dx.doi.org/10.1016/0098-8472(95)00024-0).
12. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*. 2006; (88): 1707–1719. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biochi.2006.07.003>.
13. Fernández-Calviño D., Cutillas-Barreiro L., Paradelo-Núñez R., Nóvoa-Muñoz J.C., Fernández-Sanjurjo M.J., Álvarez-Rodríguez E. et al. Heavy metals fractionation and desorption in pine bark amended mine soils. *Journal of Environmental Management*. 2017; (192): 79–88. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.042>.
14. Campos I., Abrantes N., Keizer J.J., Vale C., Pereira P. Major and trace elements in soils and ashes of eucalypt and pine forest plantations in Portugal following a wildfire. *Science of The Total Environment*. 2016; (572): 1363–1376. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.190>.
15. Artomonov V.I. *Plants and cleanliness of the natural environment*. M.: Nauka; 1986. (In Russian)
16. Kulagin Yu.Z. *Woody plants and industrial environment*. M.: Nauka; 1974. (In Russian)
17. Kulagin A.A., Zaitsev G.A. *Sukachev's larch in the extreme forest-growing conditions of the Southern Urals*. M.: Nauka; 2008. (In Russian)
18. *State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan in 2015*. Ufa: MPE RB, Bashkirskaaya izdatel'skaya kompaniya; 2016.
19. Andreeva E.N., Bakkal I.Yu., Gorshkov V.V., Lyanguzova I.V., Maznaya E.A., Neshataev V.Yu. et al. *Methods of studying forest communities*. SPb.: NIIKhimii SpbGU; 2002. (In Russian)
20. Titus S.J. *Manual of forest measurements and sampling. Course prospectus and session PowerPoint slides*. Department of renewable resources. University of Alberta; 2004.
21. Alekseev V.A. Diagnostics of the vital state of trees and stands. *Lesovedenie*. 1989; (4): 51–57. (In Russian)
22. Bebiya S.M. Differentiation of trees in the forest, their classification and determination of the vital state of stands. *Lesovedenie*. 2000; (4): 35–43. (In Russian)
23. Pupyshv A.A. *Atomic Absorption Spectral Analysis*. M.: Tekhnosfera; 2009. (In Russian)
24. Hayes C. Atomic Spectroscopy, Forestry and Wood Products Applications. *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry (Third Edition)*. Elsevier; 2017: 96–104. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803224-4.00153-9>.
25. Hill S.J., Fisher A.S. Atomic Absorption, Methods and Instrumentation. *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry (Third Edition)*. Elsevier; 2017: 37–43. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803224-4.00099-6>.
26. Krasilnikov P.K. *Method of field study of underground parts of plants (taking into account the specific nature of resource research)*. L.: Nauka; 1983. (In Russian)
27. Böhm W. *Methods of studying root systems. Ecological Studies, Vol.33*. Berlin: Springer Verlag; 1979. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-67282-8>.
28. Smit A.L., Bengough A.G., Engels C., M. van Noordwijk, Pellerin S., S. C. van de Geijn, eds. *Root Methods: A Handbook*. Berlin Heidelberg: Springer Press; 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-04188-8>.
29. Dylis N.V. *Siberian larch. Materials for taxonomy, geography and history*. M.: MOIP, 1947. (In Russian)
30. Putenihin V.P., Farukshina G.G., Shigapov Z.H. *Sukachev's larch in the Southern Urals: variability and population-genetic structure*. M.: Nauka, 2004. (In Russian)

Поступила 30.08.2017
Принята к печати 24.04.2018