

Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-1-111-119>

УДК 630*181.2:630*425(470.57)



СОСТОЯНИЕ НАСАЖДЕНИЙ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH) И ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И ТРАНСЛОКАЦИИ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-РАСТЕНИЕ» В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ (СТЕРЛИТАМАКСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЦЕНТР, РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)

Р.Х. Гиниятуллин[✉], О.В. Тагирова, А.Ю. Кулагин

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

Аннотация. Цель исследований – проведение оценки жизненного состояния березы повислой (*Betula pendula* Roth), изучение особенностей накопления и транслокации металлов в листьях, ветвях, корнях березы в санитарно-защитных насаждениях Стерлитамакского промышленного центра (Предуралье). Обсуждаются вопросы содержания металлов (Mn, Cd, Pb, Ni) в почвенном покрове, в надземных и подземных органах березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ). Отмечено, что высокое содержание металлов в почвах под насаждениями березы незначительно отражается на жизненном состоянии деревьев. В условиях СПЦ жизненное состояние насаждений березы оценено как «здоровое». На основании характеристики особенностей транслокации металлов показано, что корни березы способны поглощать значительное количество металлов из почвы. При переходе от корней к ветвям и листьям наблюдается снижение концентраций Cd, Pb, Ni. Локализация Cd, Pb и Ni отмечается главным образом в корнях, и в меньших количествах – в ветвях и листьях березы. По показателю «Коэффициент биологического поглощения» Cd, Ni, Pb являются элементами «среднего захвата». В условиях загрязнения избыток металлов угнетает поступление Mn в растениях. Биогеохимическая активность поглощения элементов у березы меняется в зависимости от условий местообитания: наибольшие значения характерны для березы в зоне условного контроля. Деревья березы в составе санитарно-защитных насаждений СПЦ накапливают техногенные металлы и успешно выполняют природоохранные средозащитные функции по ограничению распространения промышленных загрязнителей в окружающей среде.

Работа выполнена на оборудовании 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».

Ключевые слова: береза повислая, жизненное состояние древостоя, органы растений, накопление металлов, транслокация металлов, Стерлитамакский промышленный центр

Формат цитирования: Гиниятуллин Р.Х., Тагирова О.В., Кулагин А.Ю. Состояние насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth) и особенности накопления и транслокации металлов в системе «Почва-растение» в условиях техногенного загрязнения (Стерлитамакский промышленный центр, Республика Башкортостан) // Природообустройство. 2025. № 1. С. 111-119. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-1-111-119>

Original article

THE CONDITION OF THE HANGING BIRCH STANDS (*BETULA PENDULA* ROTH) AND FEATURES OF ACCUMULATION AND TRANSLOCATION OF METALS IN THE SOIL-PLANT SYSTEM UNDER CONDITIONS OF MAN-MADE POLLUTION (STERLITAMAK INDUSTRIAL CENTER, REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN)

R.K. Giniyatullin[✉], O.V. Tagirova, A.Y. Kulagin

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

Abstract. The issues of the content of metals (Mn, Cd, Pb, Ni) in the soil cover, in the aboveground and underground organs of the hanging birch (*Betula pendula* Roth) in the conditions of polymetallic pollution of the Sterlitamak industrial center are discussed. It is noted that the high metal content in the soils under birch plantations has a slight effect on the vital condition of trees. In the conditions of the Sterlitamak industrial center (SIC), the vital condition of birch plantations was assessed as “healthy”. Based on the characteristics of the features of metal translocation, it is shown that birch roots are able to absorb a significant amount of metals from the soil. During the transition from roots to branches and leaves, there is a decrease in concentrations of Cd, Pb, Ni. Localization of Cd, Pb and Ni is noted mainly in the roots and in smaller quantities in the branches and leaves of birch. According to the “biological absorption coefficient”, Cd, Ni, Pb are elements of the “average capture”. In conditions of pollution, an excess of metals inhibits the intake of Mn in plants. The biogeochemical activity of the absorption of elements in birch varies depending on the habitat conditions: the highest values are typical for birch in the conditional control zone. Birch trees as part of the sanitary protection plantings of the SIC accumulate man-made metals and successfully perform environmental protection functions to limit the spread of industrial pollutants in the environment.

The work was carried out on the equipment of the Agidel Center for collective use as part of the planned research 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”.

Keywords: hanging birch, vital state of the stand, plant organs, accumulation of metals, translocation of metals, Sterlitamak industrial center

Format of citation: Giniyatullin R.K., Tagirova O.V., Kulagin A.Y. The condition of the hanging birch stands (*Betula pendula* Roth) and features of accumulation and translocation of metals in the soil-plant system under conditions of man-made pollution (Sterlitamak industrial center, Republic of Bashkortostan) // Prirodoobustroystvo. 2025. No. 1. P 111-119. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-1-111-119>

Введение. Санитарно-защитные лесные насаждения промышленных центров выполняют роль буферной зоны между предприятиями и прилегающими территориями с землями сельскохозяйственного назначения [1]. Известно, что металлы являются наиболее токсичными компонентами промышленных загрязнителей [2].

Функционирование предприятий Стерлитамакского промышленного центра определяет специфический характер промышленных выбросов и особенности загрязнения окружающей среды металлами [3].

Береза повислая (*Betula pendula* Roth) характеризуется как газоустойчивый вид и является перспективной в использовании для озеленения территорий городов и промышленных центров [4, 5].

Цель исследований: оценка жизненного состояния березы повислой (*Betula pendula* Roth),

изучение особенностей накопления и транслокации металлов в листьях, ветвях, корнях березы в санитарно-защитных насаждениях Стерлитамакского промышленного центра (Предуралье).

Материалы и методы исследований.

Район исследований расположен в долинах рек Стерля, Ашкадар и Белая. Основными загрязнителями окружающей среды в г. Стерлитамаке являются стационарные источники – предприятия химической и нефтехимической промышленности. При этом выполнение природоохранных мероприятий в последние годы определяет постепенное снижение объема валовых выбросов загрязнителей [3].

Исследования проводились в березовых насаждениях (лесные культуры) Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК), преобладают ветра южного и юго-западного направлений (рис. 1).

При проведении полевых работ руководствовались общепринятыми методами исследования лесных насаждений [6]. Санитарно-защитные насаждения с участием березы повислой расположены в северной и южной частях города (рис. 1). Постоянные пробные площади (ППП) размером 20×50 м закладывались в сходных условиях произрастания и положения в рельефе в одновозрастных древостоях березы повислой (лесные культуры, возраст 58 лет). ППП № 1 расположена в 2-3 км от источников нефтехимического и химического загрязнения

в промышленной зоне (СПЦ), ППП № 2 – на удалении 10-15 км от северной промышленной зоны в зоне условного контроля (ЗУК). Для определения лесотаксационных характеристик насаждений применялся метод сплошного перечета деревьев на ППП. У каждого дерева березы измеряли высоту с помощью высотомера (дальномер-высотомер Nikon Laser Forestry Pro, Japan) и диаметр ствола на высоте 1,3 м (мерная вилка Haglof, Sweden).

Краткая таксационная характеристика изученных насаждений представлена в таблице 1.



Рис. 1. Картосхема расположения постоянных пробных площадей (ППП) на территории г. Стерлитамак

(<https://maps.app.goo.gl/cDAFh1D7gsm66fFd8>)

Fig. 1. Cartographic diagram of the location of permanent test areas in the city of Sterlitamak

[<https://maps.app.goo.gl/cDAFh1D7gsm66fFd8>]

Таблица 1. Краткая таксационная характеристика березовых древостоев в условиях Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК)

Table 1. Brief taxational characteristics of birch stands in the conditions of the Sterlitamak industrial center (SIC) and in the conditional control zone (CCZ)

Располо- жение ППП <i>Location of TA</i>	Состав древостоя <i>The composition of the stand</i>	Класс возраста <i>Age class</i>	Средний диа- метр, см <i>Average diam- eter, cm</i>	Средняя высота, м <i>Average height, meters</i>	Класс бонитет <i>Class bonitet</i>
СПЦ / SIC	10Б	VI	21,4	17,5	II
ЗУК / CCZ	10Б	VI	23,60	19,5	II

Примечание: Б – береза повислая (*Betula pendula* Roth).

Note: B – birch hanging (*Betula pendula* Roth).

На относительное жизненное состояние древостоев негативное воздействие оказывают промышленные предприятия, расположенные в северной части Стерлитамака. Оценка относительного жизненного состояния (ОЖС) деревьев выполнена по методике В.А. Алексеева с изменениями для лиственных древесных растений [7].

Для определения возраста деревьев использовали образцы древесины (керны), взятые с помощью возрастного бурава (Mora, Sweden). На пробных площадях керны отбирали у каждого 5-го дерева во время проведения перече́та и описания древостоев.

Для изучения содержания металлов в органах березы повислой производился отбор проб листьев, ветвей и корней. Образцы отбирали после пятидневного периода без осадков в виде дождя, отмывку листьев и ветвей не проводили. Образцы листьев и ветвей собирали из верхней, средней и нижней частей кроны деревьев со стороны источника загрязнения с помощью секатора на шесте. Далее из отдельных образцов с одного дерева составлялась усредненная проба. В лабораторных условиях растительные пробы высушивали до воздушно-сухого состояния и измельчали. Подготовку растительных проб к анализу осуществляли по общепринятым методам [8, 9].

Проведенные ранее исследования показали, что тяжелые металлы, поступая в почву из техногенных источников, концентрируются в приповерхностном слое почвы 0-10(20) см [10]. На пробных площадях одновременно с растительными образцами отбирали почвенные пробы. Почвенные образцы отбирали и подготавливали для химического анализа в соответствии с требованиями [11]. Образцы почвы отбирались на ППП по 10-см слоям до глубины 50 см. В лабораторных условиях почвенные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, перетирали в фарфоровой ступке и просеивали через капроновое сито с размером ячеек 1 мм. Подготовка проб проведена с использованием метода мокрого озоления в концентрированной HNO_3 . Пробы анализировали на содержание Mn, Cd, Pb и Ni на атомно-абсорбционном спектрометре «ZEEnit-650» (Germany) [12]. В почвенных образцах определяли содержание валовых и подвижных форм металлов, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером с $\text{pH} = 4,8$. В почвенных образцах определяли величину pH солевой вытяжки (KCl) потенциометрическим методом.

Биологическое поглощение элементов растениями оценивали путем сопоставления содержания в золе растений с содержанием в почве по Б.Б. Польнову, а расчеты коэффициентов

биологического поглощения производили по формуле: $\text{КБП} = l/n$, где l – содержание химического элемента в золе растений, n – содержание этого же элемента в почве [13].

Оценка биогеохимической активности вида (БГХА) выполнена расчетным способом и представлена в виде суммарной величины, полученной при сложении коэффициентов биологического поглощения отдельных элементов: $\text{БГХА} = \sum \text{КБП}$ [13].

Всего проанализировано 504 пробы листьев, 504 пробы ветвей, 168 проб корней и 168 проб почвы.

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью пакета программы Microsoft Office Excel версии 2016.

Результаты и их обсуждение. Таксационная характеристика березовых деревьев по элементам леса и для древостоев приведена в таблице 1. Древостои березы в условиях загрязнения СПЦ и в ЗУК VI класса возраста относятся ко II классу бонитета. При таксационной характеристике насаждений важное значение имеют особенности распределения деревьев по диаметру и высоте. Установлено, что в ЗУК деревья березы характеризуются большей высотой и диаметром стволов по сравнению с деревьями в условиях загрязнения СПЦ.

В условиях полиметаллического загрязнения СПЦ ОЖС древостоев березы характеризуется как «здоровое» ($L_n = 81,75$). Общее ухудшение состояния древостоев в СПЦ в условиях выраженного техногенного воздействия согласуется с распределением деревьев по категориям «Ослабленные», «Сильно ослабленные», «Сухие». Доля здоровых деревьев в условиях загрязнения по количеству уменьшается по сравнению с ЗУК (табл. 2). При этом снижение класса бонитета не отмечается.

Березовые насаждения в ЗУК расположены на расстоянии 10-15 км от источников загрязнения СПЦ. Древостои березы повислой в ЗУК характеризуются как «здоровые» ($L_n = 89,75$) (табл. 2).

В условиях СПЦ металлы концентрируются в верхнем (0-10(20) см) слое почвы [14].

Определено содержание валовых и подвижных форм Mn, Cd, Pb, Ni в почвах данного промышленного центра (табл. 3).

По содержанию Mn, Cd, Pb, Ni в почвах под насаждениями березы в СПЦ и ЗУК наблюдаются различия. Техногенное загрязнение приводит к увеличению содержания валовых форм металлов в почвах: в условиях СПЦ превышение ПДК металлов отмечено для Cd, Pb, Ni. При этом

Таблица 2. Относительное жизненное состояние (ОЖС) насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth) Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК)

Table 2. Relative vital state (RVS) of birch hanging (*Betula pendula* Roth) plantations in the Sterlitamak Industrial Center (SIC) and in the conditional control zone (CCZ)

Расположение ППП <i>Location of TA</i>	Количество деревьев по категориям на ПП, шт. <i>Number of trees by categories on trial areas, pcs.</i>						ОЖС насаждения <i>RVS of the stands</i>	
	Всего <i>Total</i>	Здоровые <i>Healthy</i>	Ослабленные <i>Weakened</i>	Сильно ослабленные <i>Strongly weakened</i>	Отмирающие <i>Dying</i>	Сухие <i>Dry</i>	<i>Ln%</i>	Категория <i>Category</i>
СПЦ / SIC	20	12	5	2	0	1	81,75	Здоровое / <i>Healthy</i>
ЗУК / CCZ	20	15	3	2	0	0	89,75	Здоровое / <i>Healthy</i>

Таблица 3. Содержание валовых и подвижных форм металлов (мг/кг) в почвенном покрове под насаждениями березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля

Table 3. The content of gross and mobile forms of metals (mg/kg) in the soil cover under the plantations of the hanging birch (*Betula pendula* Roth) in the conditions of the Sterlitamak industrial center and in the zone of conditional control

Глубина, см <i>Depth, cm</i>	Стерлитамакский промышленный центр <i>Sterlitamak Industrial Center</i>				Зона условного контроля <i>Conditional control zone</i>			
	<i>Mn</i>	<i>Cd</i>	<i>Pb</i>	<i>Ni</i>	<i>Mn</i>	<i>Cd</i>	<i>Pb</i>	<i>Ni</i>
Валовая форма / <i>Gross shape</i>								
0-10(20)	1284±11	4,75±0,15	58,80±4,4	106,2±8,9	440±7,0	0,45±0,15	3,48±0,36	24,05±1,15
Предельно-допустимые концентрации (ПДК) в почве / <i>Maximum permissible concentrations (MPC) of in the soil</i>								
	1500	2	30	85	1500	2	30	85
Подвижная форма / <i>Movable form</i>								
0-10(20)	85,5±6,5	2,61±0,7	7,8±0,6	7,1±0,5	90±7,5	0,2±0,01	2,4±0,3	2,75±0,45
Предельно-допустимые концентрации (ПДК) в почве / <i>Maximum permissible concentrations (MPC) of in the soil</i>								
	60	0,24	6,0	4,0	60	0,24	6,0	4,0

Примечание: выделенным шрифтом отмечены значения, превышающие ПДК.

Note: values exceeding the MPC are marked in highlighted font.

в СПЦ в слое почвы 0-10(20) см среднее содержание подвижной формы Cd, Pb в 3-3,2 раза, Ni – в 2,5 раза выше, чем в ЗУК. В ЗУК в почвенном покрове в насаждениях березы превышение ПДК по валовому содержанию Cd, Pb, Ni не отмечено. Однако установлено повышенное содержание Mn в почвах под насаждениями березы в условиях ЗУК.

Определено содержание металлов в подземных и наземных органах (корнях, листьях, ветвях) деревьев березы (рис. 2-5).

При сопоставлении данных по количественному содержанию металлов в листьях, ветвях, корнях деревьев березы в условиях загрязнения СПЦ по сравнению с ЗУК установлено, что в СПЦ содержание Cd, Pb, Ni (исключение составляет Mn) в 3-12 раз больше. Наибольшее содержание Cd, Pb и Ni отмечается в корнях как в условиях СПЦ, так и в ЗУК.

Для характеристики транслокации металлов в системе «Почва-растение» на основе данных по валовому содержанию металлов

в почвенном покрове и в органах березы рассчитан коэффициент биологического поглощения (КБП). Для березы в условиях загрязнения СПЦ ряд КБП имеет следующий вид: Cd (0,67) > Ni (0,58) > Pb (0,45) > Mn (0,09). Для березы в ЗУК был построен следующий ряд: Ni (0,79) > Pb (0,67) > Cd (0,57) > Mn (0,37).

Подвижные формы Cd, Pb, Ni береза активно извлекает из почвы в условиях загрязнения СПЦ. По показателю коэффициента биологического поглощения (КБП) и согласно рядам биологического поглощения Cd (0,67) Ni (0,58), Pb (0,45) являются элементами «среднего захвата» по А.И. Перельману [13]. Исключение составляет КБП Mn для березы в условиях загрязнения СПЦ, где интенсивность поглощения Mn оказалась невысокой (КБП = 0,09) и Mn отнесен к группе элементов «очень слабого захвата». Это свидетельствует о том, что высокое содержание Cd, Pb, Ni и других металлов угнетает поступление Mn в растениях в условиях техногенной нагрузки.

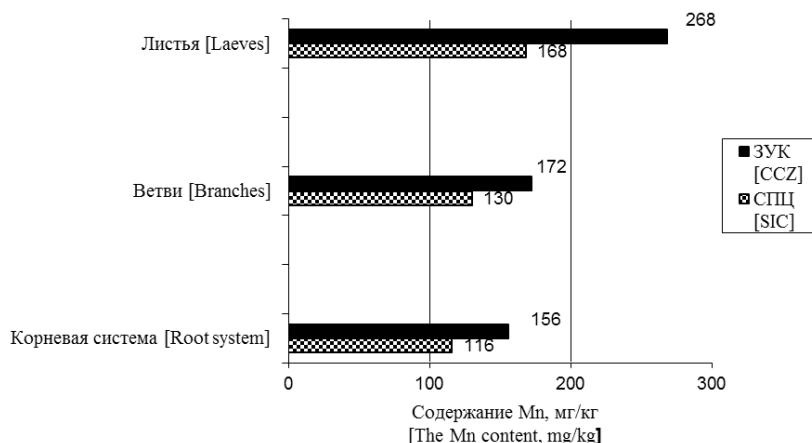


Рис. 2. Содержание Mn, мг/кг, в надземных и подземных органах березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК)

Fig. 2. The content of Mn (mg/kg) in the aboveground and underground organs of birch hanging (*Betula pendula* Roth) under the conditions of pollution of the Sterlitamak Industrial Center (SIC) and in the conditional control zone (CCZ)

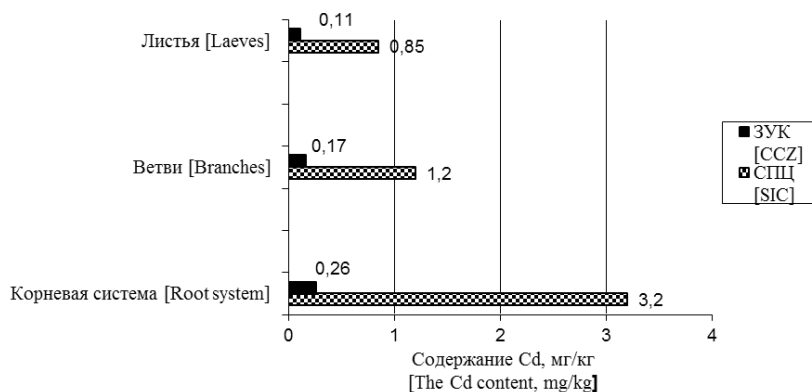


Рис. 3. Содержание Cd, мг/кг, в надземных и подземных органах березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК)

Fig. 3. The content of Cd (mg/kg) in the aboveground and underground organs of birch hanging (*Betula pendula* Roth) under the conditions of pollution of the Sterlitamak Industrial Center (SIC) and in the conditional control zone (CCZ)

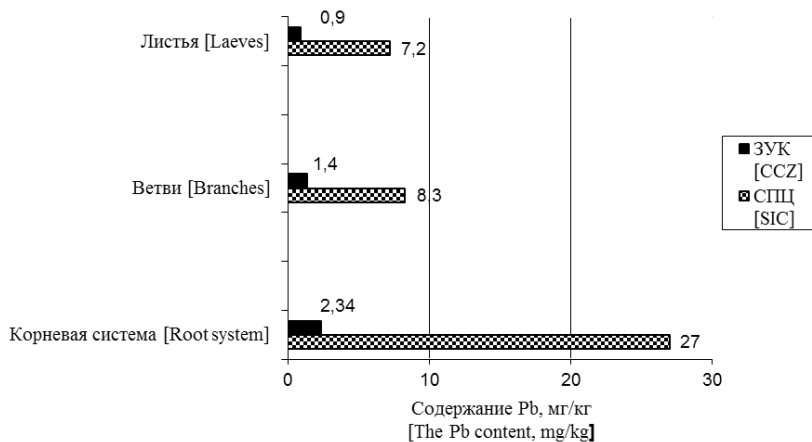


Рис. 4. Содержание Pb, мг/кг, в надземных и подземных органах березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК)

Fig. 4. The content of Pb (mg/kg) in the aboveground and underground organs of birch hanging (*Betula pendula* Roth) under the conditions of pollution of the Sterlitamak Industrial Center (SIC) and in the conditional control zone (CCZ)

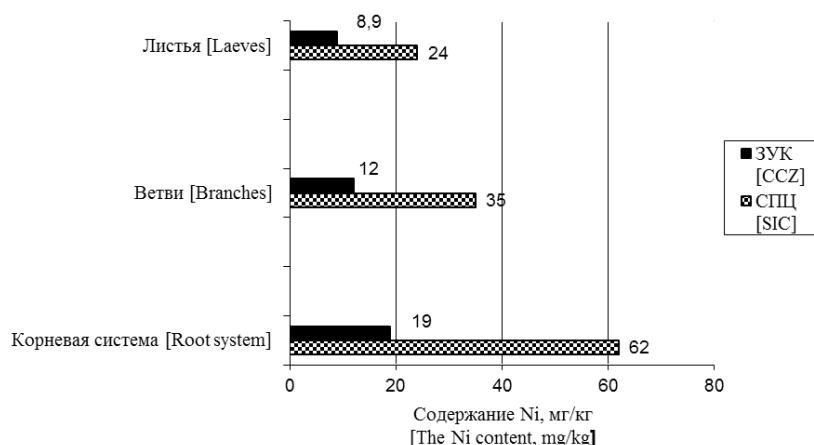


Рис. 5. Содержание Ni, мг/кг, в надземных и подземных органах березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК)

Fig. 5. The content of Ni (mg/kg) in the aboveground and underground organs of birch (*Betula pendula* Roth) under the conditions of pollution of the Sterlitamak Industrial Center (SIC) and in the conditional control zone (CCZ)

Вопросы транслокации металлов в системе «Почва-растение» связаны с подвижностью химических элементов. Коэффициент биологического поглощения (КБП) отражает потенциальную биогеохимическую подвижность химических элементов, а коэффициент биогеохимической подвижности (КБН) рассчитывается как отношение содержания химических элементов в сухом веществе растений к содержанию подвижных форм в почве [13].

Рассчитанные значения КБН в условиях загрязнения СПЦ имеют следующий вид: Ni (8,73), Cd (1,2), Pb (3,4), Mn (1,3), а в условиях ЗУК – Ni (6,9), Cd (1,3), Pb (0,9), Mn (1,7).

Следует отметить, что характеристика накопления разных металлов в древесных растениях в условиях СПЦ и ЗУК, полученных на основе показателей КБП и КБН, имеет неоднозначный характер.

На основе данных по КБП рассчитана биогеохимическая активность (БГХА) березы в условиях загрязнения СПЦ и в ЗУК. Показано, что наибольшая биогеохимическая активность характерна для березы повислой в ЗУК (БГХА = 2,4), и более низкие показатели – в условиях СПЦ с выраженной техногенной нагрузкой (БГХА = 1,7).

Способность корней накапливать металлы снижает их транслокацию в надземные органы растений. Для характеристики процессов перехода металлов из корней в надземную часть растений рассчитывали коэффициент перехода (Кп), равный отношению содержания металлов надземной фитомассы к таковому в корнях. $K_p = \text{Слистья} / \text{Скорни}$, где Слистья – содержание элемента в листьях, Скорни – содержание

элемента в корнях. При переходе металлов от корней к ветвям и листьям наблюдается снижение концентраций Cd, Pb, Ni. В целом по содержанию Cd, Pb, Ni в органах березы образуется следующий ряд (по убыванию): корень > ветви > листья (рис. 3-5). Коэффициенты перехода составляют 0,37; 0,30; 0,56 соответственно. Видимо, это связано с функционированием барьерных механизмов у березы к передвижению Cd, Pb, Ni по растению при увеличении их концентраций в почве. Следует отметить, что в условиях Стерлитамакского промышленного центра такая закономерность установлена и для липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) [10].

У березы наибольшие показатели Кп прослеживаются для Mn (1,1-1,7), а повышенном содержании Mn выделялись листья и ветви. У деревьев березы содержание Mn в условиях СПЦ по сравнению с ЗУК является пониженным. В корнях березы обнаружена низкая концентрация Mn (116-156 мг/кг), наибольшие концентрации Mn отмечаются в листьях березы. Это согласуется с тем, что Mn участвует в биосинтезе хлорофилла и повышает интенсивность фотосинтеза [15] и что избыток тяжелых металлов угнетает поступление и накопление Mn в растениях [16].

Выводы

Установлено, что в условиях СПЦ жизненное состояние насаждений березы повислой оценено как «здоровое».

В условиях загрязнения окружающей среды корни березы способны поглощать значительное количество металлов из почвы (Mn – 156 мг/кг, Cd – 0,26 мг/кг, Pb – 2,34 мг/кг, Mn – 19,0 мг/кг). Транслокация из почвы

и локализация Cd и Pb, Ni отмечаются главным образом в корнях, и в меньших количествах – в ветвях и листьях березы. Показано, что при переходе от корней к ветвям и листьям наблюдается снижение концентраций Cd, Pb, Ni. По показателю КБП Cd, Ni, Pb являются элементами «среднего захвата». В условиях загрязнения избыток тяжелых металлов угнетает поступление Mn в растения.

Активность поглощения элементов у березы меняется в зависимости от условий местобитания – наибольшая БГХА характерна для

березы в ЗУК. Снижение показателя БГХА березы на участках с техногенной нагрузкой связано, вероятно, с реализацией защитных механизмов растений к накоплению металлов.

Повышенное содержание металлов в почвах под насаждениями березы повислой и, как следствие, транслокация металлов в подземные и надземные органы свидетельствуют о том, что насаждения березы повислой в составе санитарно-защитных насаждений Стерлитамакского промышленного центра успешно выполняют природоохранные средозащитные функции.

Список использованных источников

1. Кулагин Ю.З. Лесообразующие виды, техногенез и прогнозирование. М.: Наука, 1980. 116 с.
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991. 150 с.
3. О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2022 году: Государственный доклад. Уфа, 2023. 318 с. URL: <https://www.bashkortostan.ru/presscenter/lectures/1727/?ysclid=m35mbohef6753369429>.
4. Мамаев С.А. Устойчивость декоративных насаждений в городских промышленных центрах / С.А. Мамаев, А.К. Махнев, Л.А. Семкина // Человек и ландшафты. Антропогенные ландшафты Урала и прилегающих территорий: сборник статей. Свердловск: ЦНЦ АН СССР, 1979. С. 33-34.
5. Кулагин А.Ю., Тагирова О.В. Лесные насаждения Уфимского промышленного центра: современное состояние в условиях антропогенных воздействий. Уфа: Гилем, Башкирская энциклопедия, 2015. 196 с.
6. Сукачев В.Н. Программа и методика биогеоценологических исследований: сборник. М.: Наука, 1966. 333 с. ISBN 978-5-88185-239-9
7. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / Под ред. В.А. Алексеева. Л.: Наука, 1990. 200 с. ISBN 5-02-026549-7
8. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / Под ред. Н.Г. Зырина, С.Г. Малахова. М.: Гидрометеоздат, 1981. 109 с.
9. Bargagli R. Trace Elements in Terrestrial Plants: An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery. Berlin: Springer, 1998. 324 p.
10. Гиниятуллин Р.Х. транслокации кадмия в насаждениях липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в условиях загрязнения окружающей среды (Стерлитамакский промышленный центр) / Р.Х. Гиниятуллин, О.В. Тагирова, А.Ю. Кулагин // Природообустройство. 2023. № 3. С. 116-122. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-116-122.
11. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. М.: Изд-во Стандартиформ, 2011. 6 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023484?ysclid=m35n0l572a155665032>.
12. Методика количественного химического анализа. Определение As, Cd, Co, Cr, Cu, Hd, Mn, Pb, Sb, Tn (кислотно-растворимые формы) в почвах и данных отложениях атомно-абсорбционным методом. СПб.: 2005. 12 с.

References

1. Kulagin Yu.Z. Forest-forming species, technogenesis and forecasting. Moscow, Nauka Publ., 1980. 116 p.
2. Iljin V.B. Heavy metals – in the system soil-plant. Novosibirsk: Nauka, 1991. 150 s.
3. State report «About the condition of natural resources and environment of the Republic of Bashkortostan in 2022». Ufa, 2023. 318 p. <https://www.bashkortostan.ru/presscenter/lectures/1727/?ysclid=m35mbohef6753369429>
4. Mamaev S.A. Stability of decorative plantings in urban industrial centers / S.A. Mamaev, A.K. Makhnev, L.A. Semkina / Collection of articles: Man and landscapes. Anthropogenic landscapes of the Urals and adjacent territories. Sverdlovsk: UNC OF THE USSR Academy OF Sciences, 1979. P. 33-34.
5. Kulagin A.Yu., Tagirova O.V. Forest plantations of the Ufa Industrial Center: Current state in the conditions of anthropogenic impacts / Ufa: Gilem, Bashk. encyclopedia. 2015. 196 p.
6. Sukachev V.N. Program and methods of biogeocenologic research. Collection. Moscow: Nauka. 1966. 333 p. ISBN 978-5-88185-239-9
7. Forest ecosystems and atmospheric pollution / ed. by V.A. Alekseev. Leningrad, Nauka Publ., 1990. 200 p. ISBN 5-02-026549-7
8. Methodical recommendations for conducting field and laboratory studies of soils and plants in the control of environmental pollution with metals / ed. by N.G. Zyrin, S.G. Malakhov. Moscow, Gidrometeoizdat Publ. 1981. 109 p.
9. Bargagli R. Trace Elements in Terrestrial Plants: An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery. Berlin: Springer, 1998. 324 p.
10. Giniyatullin R.Kh., Tagirova O.V., Kulagin A.Y. Features of cadmium translocation in plantations of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) in conditions of environmental pollution (Sterlitamak industrial center). // Priroobustroystvo. 2023. № 3. P. 116-122. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-116-122
11. GOST 26423-85. Soil. Methods for determining the specific electrical conductivity, pH and solid residue of the water extractor. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 6 p. <https://docs.cntd.ru/document/1200023484?ysclid=m35n0l572a155665032>.
12. Methods of quantitative chemical analysis. Determination of As, Cd, Co, Cr, Cu, Hd, Mn, Pb, Sb, Tn (acid-soluble forms) in soils and these sediments by atomic absorption method. St. Petersburg, 2005. 12 p.
13. Perelman A.I., Kasimov N.S. Geochemistry of the landscape. Textbook. Moscow, Astreya-2000, 1999. 610 p.

13. Перельман А.И. Геохимия ландшафта: учебник / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. М.: Астрель-2000, 1999. 610 с.

14. Хазиев Ф.Х. Экоотоксиканты в почвах Башкортостана: монография. Уфа: Гилем, 2000. 62 с.

15. Чернявская Н.М. Роль марганца при выделении кислорода в фотосинтезе / Н.М. Чернявская, Л.Ю. Васильева // Физиология растительных организмов и роль металлов. М.: МГУ, 1989. С. 56-117.

16. Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов / Под ред. Н.В. Алексеевой-Поповой. Л.: БИН, 1991. 213 с.

Об авторах

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

Олеся Васильевна Тагирова, 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

Критерии авторства / Criteria of authorship

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 / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare that there are no conflicts of interests

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 26.02.2024

Одобрена после рецензирования / Approved after peer review 01.11.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 01.11.2024

14. Khaziev F.Kh. Ecotoxicants in the soils of Bashkortostan. Monograph. Ufa, Gilem Publ., 2000. 62 p.

15. Chernyavskaya N.M., Vasiljeva L.Yu. The role of manganese in the release of oxygen in photosynthesis / Physiology of plant organisms and the role of metals. Moscow, MGU Publ., 1989. P. 56-117.

16. Resistance to heavy metals of wild species / ed. by N.V. Alekseeva-Popova. Leningrad: BIN, 1991. 213 p.

Author information

Rafak Kh. Giniyatullin, DSc (Agro), senior researcher of the laboratory of forestry; Researcher ID: K-1767-2018, ORCID: 0000-0001-5729-3754; grafak2012@yandex.ru

Olesya V. Tagirova, CSc (Bio), associate professor, senior researcher of the laboratory of forestry; Researcher ID: AAX-4432-2021, ORCID: 0000-0003-1615-7005; olecyi@mail.ru

Alexey Y. Kulagin, DSc (Bio), professor, chief researcher, head of the laboratory of forestry; Researcher ID: J-2019-2017, ORCID: 0000-0001-7574-4547; coolagin@list.ru

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