

УДК 630*181.2:630*425

DOI: 10.31040/2222-8349-2025-0-1-52-59

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В ПОГЛОЩЕНИИ МАРГАНЦА, КАДМИЯ, СВИНЦА, НИКЕЛЯ В ЗОНЕ НАИБОЛЬШЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ТОКСИКАНТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА И В ЗОНЕ УСЛОВНОГО КОНТРОЛЯ

© Р.Х. Гиниятуллин

Представлены результаты исследований по содержанию металлов в почве и надземных, подземных органах древесных растений в зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК). Установлено, что почвенные образцы содержали неодинаковое количество тяжелых металлов. Содержание тяжелых металлов превышало предельно допустимую концентрацию в условиях СПЦ не более чем в 2,3 раза. Валовое содержание тяжелых металлов убывало в ряду: Pb > Ni > Cd. На основании характеристики особенностей транслокации металлов показано, что корни березы, тополя, лиственницы способны поглощать значительное количество металлов из почвы. Обнаружена высокая степень накопления Mn, Ni, Cd, Pb корнями всех исследуемых растений. Исследована биогеохимическая активность березы повислой, тополя бальзамического, лиственницы Сукачева в условиях СПЦ и в ЗУК. В условиях СПЦ по показателю коэффициента биологического поглощения (КБП) и согласно рядам биологического поглощения, Cd, Ni, Pb являются элементами «среднего захвата». Наибольший показатель биогеохимической активности (БХА) выявлен в древесных растениях, произрастающих в ЗУК, а наименьший – в зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях СПЦ. По полученным результатам было выявлено, что наибольшая биогеохимическая активность характерна для лиственницы (БХА 7.15), тополя (БХА 5.12), березы (БХА 4.76) в ЗУК и более низкие показатели – в условиях СПЦ с выраженной техногенной нагрузкой, БХА которых составил соответственно 2.44, 1.84 и 1.96.

Ключевые слова: береза, тополь, лиственница, накопление металлов, биогеохимическая активность, Стерлитамакский промышленный центр.

Введение. Выбросы из заводских труб приводят к загрязнению почв и к ухудшению состояния санитарно-защитных насаждений: угнетается рост деревьев, появляются признаки суховершинности, происходит частичное исчезновение травянистого покрова [1]. Считается, что именно тяжелые металлы являются наиболее токсичными для живых организмов, в том числе для растений [2]. Ряд тяжелых металлов характеризуется кумулятивным действием и токсические свойства накопленных металлов сохраняются в течение длительного времени [3]. В настоящее время создание экологически благоприятной среды в крупных промышленных центрах является одной из основных проблем. Лесные экосистемы поглощают поллютанты из воздуха, вовлекая их в биогеохимический круговорот, переводя тем самым техногенные загрязнения на другой качественный уровень, но, разумеется, не устраняя при этом их опасности [4]. Насаждения березы повислой,

тополя бальзамического, лиственницы Сукачева в условиях СПЦ вблизи промышленных предприятий выполняют функции эффективного фитофильтра и оказывают значительное положительное влияние на экологическую обстановку города.

Цель данной работы – проведение оценки жизненного состояния древесных растений, изучение особенностей накопления и транслокации металлов в листьях, ветвях, корнях березы, тополя, лиственницы в санитарно-защитных насаждениях Стерлитамакского промышленного центра (Предуралье).

Материал и методы исследований. Исследования проведены в санитарно-защитных насаждениях СПЦ. Город Стерлитамак характеризуется относительно высокой техногенной нагрузкой, свойственной территориями с развитой химической и нефтеперерабатывающей промышленностью. При этом выполнение

природоохранных мероприятий в последние годы определяет постепенное снижение объема валовых выбросов загрязнителей [5]. Климат района в целом относится к континентальному. Средняя годовая температура воздуха составляет 3,2°C, среднее годовое количество осадков – 498,9 мм. Преобладают ветры южного, юго-западного направлений. Почвообразующие породы – делювиальные и аллювиально-делювиальные отложения. В почвенном покрове преобладают типичные и выщелоченные черноземы [6].

В работе анализируются данные о количественном содержании металлов в надземных и подземных органах березы повислой, тополя бальзамического и лиственницы Сукачева в зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях СПЦ и в ЗУК. Исследования проводились в березовых, тополевых, лиственничных насаждениях в возрасте 55–60 лет (лесные культуры), произрастающих в сходных лесорастительных условиях и расположенных на различном удалении от промышленных предприятий г. Sterlitamak. Оценка относительного жизненного состояния (ОЖС) деревьев выполнена по методике В.А. Алексеева с изменениями для лиственных древесных растений [7]. Для установления среднего возраста использовались образцы древесины (керны), взятые с помощью возрастного бурава Haglof. При вязтии и обработке кернов руководствовались методическими рекомендациями Столярова и др., (1988) [8]. На постоянных пробных площадях керн высверливался у каждого 5-го дерева во время проведения перечета и описания. Для изучения содержания металлов в органах березы повислой, тополя бальзамического, лиственницы Сукачева производился отбор проб листьев (хвои), ветвей и корней с учетных деревьев. Образцы отбирали после пятидневного периода без осадков в виде дождя, отмывку листьев и ветвей не проводили. Образцы листьев и ветвей срезали, собирая из средней и нижней части кроны деревьев равномерно по окружности кроны со стороны источника загрязнения с помощью секатора на шесте. В лабораторных условиях растительные пробы высушивали до воздушно-сухого состояния и измельчали. С целью выявления степени загрязнения почв СПЦ почвенные образцы отобраны в непосредственной близости к источникам промышленного загрязнения. Подготовку почвенных и растительных проб к анализу осуществляли по общепринятым методам [9]. Образцы почвы отбирались на ППП по 10-сантиметровым

слоям до глубины 50 см. Следует отметить, что данные, полученные для образцов почвы с глубины 20–50 см, не представлены в таблицах, так как для этих образцов содержание металлов не превышало предельно допустимой концентрации (ПДК). В лабораторных условиях почвенные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, перетирали в фарфоровой ступке и просеивали через капроновое сито с размером ячеек 1 мм. Пробы анализировали на содержание Mn, Cd, Pb и Ni на атомно-абсорбционном спектрометре «ZEE nit-650» (Germany) [10]. В почвенных образцах определяли содержание валовых и подвижных форм металлов, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером с pH=4.8. Кроме того, в почвенных образцах определяли величину pH солевой вытяжки (KCl) потенциометрическим методом [11].

Биологическое поглощение элементов растениями оценивали путем сопоставления содержания в золе растений с содержанием в почве по Б.Б. Пылинову, а расчеты коэффициентов биологического поглощения по формуле:

$$\text{КБП} = l/n,$$

где l – содержание химического элемента в золе растений, n – содержание этого же элемента в почве [12–14].

Оценка биогеохимической активности вида (БХА) выполнена расчетным способом и представлена в виде суммарной величины, полученной при сложении коэффициентов биологического поглощения отдельных элементов: $\text{БХА} = \sum \text{КБП}$ [15, 16].

Результаты и обсуждение. В зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях СПЦ относительное жизненное состояние древостоев березы характеризуется как «здоровое», ($L_n=80.75\%$), тополя «ослабленные» ($L_n=65\%$), лиственницы «ослабленные», ($L_n=71.5\%$). Общее ухудшения 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. Березовые, тополевые, лиственничные насаждения в ЗУК расположены на расстоянии 10–15 км от источников загрязнения СПЦ. Древостои березы повислой в ЗУК характеризуются как «здоровые» ($L_n = 85.25\%$) тополя бальзамического «здоровое» ($L_n=85.5\%$), лиственницы Сукачева «здоровое» ($L_n=86.25\%$).

Содержание валовых и подвижных форм металлов (мг/кг) в почвенном покрове под насаждениями березы повислой, тополя бальзамического, лиственницы Сукачева в условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля

Глубина, см	СПЦ				ЗУК			
	Mn	Cd	Pb	Ni	Mn	Cd	Pb	Ni
0–10 (20)	<u>1286±11</u> 84.3±6.5	<u>4.45±0.15</u> 2.59±0.7	<u>58.80±4.4</u> 7.6±0.6	<u>104.2±8.9</u> 7.1±0.5	430±7.0 90±7.5	<u>0.45±0.15</u> 0.2±0.01	<u>3.48±0.6</u> 2.4±0.3	<u>24.05±1.15</u> 2.75±0.45
Предельно допустимая концентрация (ПДК) в почве								
	<u>1500</u> 60	<u>2</u> 0.24	<u>30</u> 6.0	<u>85</u> 4.0	<u>1500</u> 60	<u>2</u> 0.24	<u>30</u> 6.0	<u>85</u> 4.0

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК; над чертой приведены данные по содержанию валовых форм, под чертой – подвижных форм ТМ в почве.

В условиях СПЦ металлы концентрируются в верхнем (0–10(20) см) слое почвы. Определено содержание валовых и подвижных форм Mn, Cd, Pb, Ni в почвах данного промышленного центра. Валовое содержание тяжелых металлов (ТМ) – один из основных санитарно-гигиенических показателей, характеризующий общую загрязненность почвы. Следует отметить, что по содержанию Mn, Cd, Pb, Ni в почвах под насаждениями березы, тополя, лиственницы в СПЦ и ЗУК наблюдаются различия и требуется дальнейшая оценка степени загрязнения почв данными ТМ. Техногенное загрязнение приводит к увеличению содержания валовых форм металлов в почвах: в условиях СПЦ превышение ПДК металлов отмечено для Cd, Pb, Ni (табл.1).

Самые высокие концентрации валовой формы металлов загрязнителей Cd, Pb и Ni были обнаружены в зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях СПЦ. Выявлено превышение ПДК в условиях СПЦ валовых форм Cd в 2.2 раза, Pb в 1.9 раза, Ni в 1.2 раза. Подвижность тяжелых металлов в почвах изменялась в зависимости от места отбора образцов. По среднему значению показателя содержания подвижной формы элемента в почвах под насаждениями березы, тополя, лиственницы в СПЦ металлы образуют следующую последовательность Mn> Pb> Ni> Cd. Для оценки степени загрязненности почв и возможного перехода металлов в растения применяют коэффициент подвижности ТМ. Обнаружена высокая подвижность Cd в почвах (средний суммарный коэффициент подвижности 58). При этом содержание загрязнителя первого класса опасности – подвижная форма Pb, – как правило, находится в ПДК. В промышленной зоне рН характеризу-

ется близкой к нейтральной (рН водн. 6.5–6.7). В результате низкой степени подвижности ТМ, особенно по Mn, Pb Ni (средний суммарный коэффициент подвижности 6.5–13), в почвах под насаждениями березы, тополя, лиственницы в зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях промышленного центра, суммарное загрязнение подвижными формами ТМ относительно невелико, между тем как по валовому содержанию почвы являются загрязненными. Анализ определения содержания подвижных форм, Cd, Pb и Ni в ЗУК (рН водн. 6–6.4) показал, что оно не превышает уровень ПДК. рН гумусового горизонта в зоне условного контроля менялась по сравнению СПЦ не более чем на 0.3 ед. Наименьшая степень подвижности Ni (средний суммарный коэффициент подвижности 11) также отмечена в зоне условного контроля. Более низкая концентрация подвижной формы элементов в почвах под насаждениями березы, тополя, лиственницы в ЗУК уменьшается в следующем порядке: Mn> Ni> Pb> Cd. Определяли содержание ТМ в растительных образцах в зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях СПЦ и в ЗУК для того, чтобы найти взаимосвязь состояния почвы и растений. Результаты наших исследований показывают дифференциацию интенсивности накопления различных элементов березой, тополем и лиственницей (табл. 2)

Наибольшее количество (Cd 1.7 мг/кг, Pb 22 мг/кг, Ni 39 мг/кг) накапливается в листьях тополя в зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях СПЦ, а также в ветвях Cd 1.2 мг/кг, Pb 26.4 мг/кг, Ni 28 мг/кг. В ЗУК содержание Cd в листьях тополя варьирует от 0.12 до 0.18 мг/кг, а для других видов в данных условиях составляет 0.07–0.34 мг/кг сухого веще-

ства. В условиях СПЦ содержание Pb в листьях (хвое) древесных пород варьирует от 12.4 до 17.2 мг/кг сухого вещества. Содержание Ni в листьях (хвое) березы повислой, тополя бальзамического, лиственнице Сукачева, произрастающих в разных зонах (СПЦ и ЗУК), варьировались от 6.7 до 39 мг/кг сухого вещества. В зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях СПЦ концентрация элемента была выше в 3–5.8 раза по сравнению с ЗУК. У всех древесных растений корни характеризовались накопительной способностью по отношению к тяжелым металлам (Pb, Ni, Cd). Обнаружена высокая степень накопления Mn, Pb, Ni, Cd корнями лиственницы, березы (табл. 2). По способности корней накапливать тяжелые металлы в условиях СПЦ можно составить следующий ряд: лиственница Сукачева > береза повислая > тополь бальзамический.

По интенсивности биологического поглощения все элементы делили на группы: 1 – элементы энергичного накопления (КБП = 10–100); 2 – сильного накопления (КБП = 1–10); 3 – слабого накопления и среднего захвата (КБП = 0.1–1); 4 – элементы слабого и очень слабого захвата (КБП = 0.001–0.1) (табл. 3) Подвижные формы Cd, Pb, Ni береза, тополь, лиственница извлекают из почвы в условиях СПЦ. По показателю КБП и согласно рядам биологического поглощения, Cd, Ni, Pb являют-

ся элементами «среднего захвата» по А.И. Перельману [14]. Значения коэффициента биологического поглощения Mn варьировали от 0.13 до 0.30 в корнях. Исключение составляет КБП Mn для лиственницы и тополя в условиях загрязнения СПЦ, где интенсивность поглощения Mn оказалась невысокой (КБП=0.13). Видимо, в условиях загрязнения избыток тяжелых металлов угнетает поступление Mn в растения. Наибольшим значением КБП характеризовались лиственница и тополь в ЗУК: в корнях растений значение варьировало от 0.60 до 0.78.

Согласно данным табл. 3, по величине КБП Mn относится к группе элементов «среднего захвата». В ЗУК в соответствии с величиной КБП Cd, Ni, Pb относятся к группе слабого накопления. На основе анализа результатов КБП тяжелых металлов березой повислой, тополем бальзамическим, лиственницей Сукачевой следует отметить, что в зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях СПЦ снижалась интенсивность поглощения надземными и подземными органами березы повислой, тополя бальзамического, лиственницы Сукачева Mn, Cd, Pb, Ni из почвы. Полученные результаты согласуются с данными Н.А. Бородина, Е.А. Стариковой и др. с увеличением техногенной нагрузки уменьшается поглощение хвоей сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) тяжелых металлов из почвы в урбозкосистеме [17, 18].

Т а б л и ц а 2

Накопление ТМ в различных тканях растений

Вид, место произрастания анализируемых растений	Исследованная ткань	Содержание ТМ воздушно-сухой массы			
		Mn	Cd	Pb	Ni
Береза СПЦ	листья	235±8.15	0.20±0.02	6.7±0.74	19±1.32
	ветви	248±7.89.5	0.32±0.04	6.0±0.45	17.3±0.95
	корни	389±12	2.1±0.10	25±1.76	85±3.97
Береза ЗУК	листья	25±1.5	0.07±0.020	1.6±0.42	6.7±0.76
	ветви	22±2.5	0.11±0.026	1.2±0.40	7.8±0.96
	корни	58±2.5	0.7±0.012	9.2±0.94	12±1.24
Тополь СПЦ	листья	65±5.5	1.7±0.45	22±1.36	39±4.12
	ветви	32±3.19	1.2±0.42	26.4±1.45	28±2.45
	корни	107±6.32	2.9±0.52	38±2.78	67±3.56
Тополь ЗУК	листья	111±7.2	0.18±0.032	1.3±0.43	9±1.02
	ветви	73.2±4.6	0.22±0.036	2±0.64	11±1.34
	корни	265±6.8	0.9±0.055	4.9±0.78	27±2.56
Лиственница СПЦ	хвоя	64.6±5.3	1.16±0.54	17.2±2.34	22.5±1.32
	ветви	42.7±3.5	1.4±0.46	31.8±1.09	21.5±1.23
	корни	178±6.73	4.6±0.74	60±2.36	87±3.97
Лиственница ЗУК	хвоя	121±4.7	0.34±0.048	2.5±0.54	11.4±0.41
	ветви	90.7±5.2	1.01±0.40	3±0.67	10±0.45
	корни	345±12	1.8±0.64	4.1±0.76	29±1.45

Интенсивность биологического поглощения химических элементов растениями

Вид место произрастания анализируемых растений	Группы элементов (по Перельману)					
	Биологического накопления (КБП>1)			Биологического захвата (КБП<1)		
	Энергичного (10–100)	Сильного (5–10)	Слабого (1–5)	Среднего (0.1–1)	Слабого (0.01–0.1)	Очень слабого (<0.01)
Лиственница СПЦ	–	–	–	Cd (0.96) Ni (0.81) Pb (0.54) Mn (0.13)	–	–
Лиственница ЗУК	–	–	Cd (4) Pb (1.17) Ni (1.2)	Mn (0.78)	–	–
Тополь СПЦ	–	–	–	Cd (0.64) Pb (0.61) Ni (0.63) Mn (0.13)	–	–
Тополь ЗУК	–	–	Cd (2) Pb (1.4) Ni (1.12)	Mn (0.60)	–	–
Береза СПЦ	–	–	–	Ni (0.80) Cd (0.44) Pb (0.42) Mn (0.30)	–	–
Береза ЗУК	–	–	Pb (2.64) Cd (1.5)	Ni (0.49) Mn (0.13)	–	–

Т а б л и ц а 4

Коэффициент биогеохимической активности (БХА) древесных растений в условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля

Место произрастания анализируемых растений	Название растения	БХА		
		Листья	Ветви	Корни
СПЦ	Береза	0.50	0.51	1.96
ЗУК	Береза	0.92	0.95	4.76
СПЦ	Тополь	1.13	0.97	1.84
ЗУК	Тополь	1.39	1.92	5.12
СПЦ	Лиственница	0.79	1.07	2.44
ЗУК	Лиственница	2.01	3.72	7.15

На основе значений КБП для количественного выражения общей способности растений к концентрированию ТМ в зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях СПЦ и в ЗУК рассчитывали биогеохимическую активность растительного вида (БХА): БХА представляет суммарную величину, получающуюся при сложении коэффициентов биологического поглощения отдельных микроэлементов. БХА выражает активность растений к накоплению микроэлементов. Она рассчитывается как сумма коэффициентов биологического поглощения микроэлементов в золе растения. $BXA = \sum KBP \text{ элементов}$ [15]. Кроме того, суммарный показатель позволяет обнаружить повышенное (пониженное) накопление элементов каким-либо растением, которое часто проявляется при изучении КБП отдельных элементов. На основе данных по КБП рассчитана БХА тополя, березы,

лиственницы в зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях СПЦ (табл. 4). Кроме того, проведено сравнение биогеохимической активности древесных видов в ЗУК.

Надземная (листья, ветви) и подземная (корни) часть лиственницы Сукачева в зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях СПЦ и в ЗУК характеризуется наибольшей биогеохимической активностью в поглощении $Mn > Pb > Ni > Cd$ среди изучаемых древесных растений. В табл. 4 показано, что наибольшая биогеохимическая активность корней у лиственницы Сукачева в условиях СПЦ и ЗУК. Содержание тяжелых металлов у лиственницы в условиях СПЦ характеризуется следующим рядом: $Cd (0.96) > Ni (0.81) > Pb (0.54) > Mn (0.13)$; БХА 2.44. Для ЗУК был построен такой ряд: $Cd (4) > Pb (1.17) > Ni (1.2) > Mn (0.78)$; БХА 7.15. Наибольшей биогеохимической ак-

тивностью корней также отличается тополь бальзамический. КБП, БХА тополя, произрастающего на территории СПЦ, характеризуется следующим рядом: $Pb (0.64) > Cd (0.61) > Ni (0.49) > Mn (0.13)$; БХА 1.84. В ЗУК для тополя ряд биологического поглощения имеет следующий вид: $Cd (2) > Pb (1.4) > Ni (1.12) > Mn (0.60)$; БХА 5.12. Показатель БХА зависит в основном от формы нахождения элемента в почве и от физиологических характеристик вида. Наименьшая биогеохимическая активность березы зафиксирована в СПЦ. Для березы в условиях загрязнения СПЦ ряд КБП имеет следующий вид: $Ni (0.80) > Cd (0.44) > Pb (0.42) > Mn (0.30)$; БХА 1.96. Для березы в ЗУК рассчитанный коэффициент БХА имеет следующие значения: $Ni (0.49) > Pb (2.64) > Cd (1.5) > Mn (0.13)$; БХА 4.76.

Результаты наших исследований показывают дифференциацию интенсивности накопления различных элементов изучаемыми видами древесных растений. У всех древесных растений корни характеризовались накопительной способностью по отношению к металлам. В зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях СПЦ по способности корней накапливать тяжелых металлов можно составить следующий ряд: *лиственница Сукачева* > *береза повислая* > *тополь бальзамический*. А в ЗУК – следующая последовательность: *лиственница Сукачева* > *тополь бальзамический* > *береза повислая*. Показано, что наибольшая биогеохимическая активность характерна для *лиственницы* в ЗУК (БХА 7.15), *тополя* (БХА 5.12), *березы* (БХА 4.76) и более низкие показатели – в условиях СПЦ с выраженной техногенной нагрузкой, БХА которых составил соответственно 2.44, 1.84 и 1.96, и согласуется с результатами других исследователей. Как отмечает Л.В. Копылова [19], более низкие показатели БХА на загрязненных участках, возможно, связаны с защитными механизмами растений к накоплению ТМ, которые формировались длительное время при развитии видов на почвах с повышенным содержанием ТМ.

Закключение. Таким образом, в результате проведенных нами исследований установлено, что в условиях СПЦ жизненное состояние древостоев березы характеризуется как «здоровое», тополя «ослабленные», *лиственницы* «ослабленные». По полученным результатам было обнаружено, что почвенные образцы содержали

неодинаковое количество тяжелых металлов. Самые высокие концентрации валовой формы металлов загрязнителей Cd, Pb и Ni были обнаружены в зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях СПЦ. Выявлено превышение ПДК в условиях СПЦ валовых форм Cd в 2.3 раза, Pb – в 1.9 раза, Ni – в 1.2 раза. У всех исследуемых древесных растений корни характеризовались накопительной способностью по отношению к тяжелым металлам (Pb, Ni, Cd). Выполненные биогеохимические исследования показали, что древесные растения в условиях СПЦ испытывают техногенное воздействие. Активность поглощения элементов у березы повислой, тополя бальзамического, *лиственницы Сукачева* меняется в зависимости от условий местообитания – наибольшая БХА характерна для *лиственницы* в условиях ЗУК. При увеличении содержания тяжелых металлов в условиях СПЦ в почвах у древесных растений интенсивность поглощения снижалась. Коэффициенты биологического поглощения ТМ были <1 в подземных (корнях) и надземных органах (листьях, ветвях) древесных растений в зоне наибольшей концентрации токсикантов в условиях СПЦ, что указывает на слабую интенсивность их поглощения. В условиях СПЦ по показателю КБП и согласно рядам биологического поглощения Cd, Ni, Pb, являются элементами «среднего захвата». Снижение показателя БХА березы, тополя, *лиственницы* на участках с техногенной нагрузкой вероятно связано с реализацией защитных механизмов растений к накоплению металлов. Наибольшей биогеохимической активностью в поглощении Pb, Ni, Cd у изучаемых древесных растений отличаются корни *лиственницы Сукачева* – коэффициент БХА составил соответственно 2.44 и 7.15 в условиях СПЦ и ЗУК.

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

Литература

1. Вергунов А.А. Учет санитарно-гигиенических и микроклиматических факторов городской среды // Архитектурная композиция садов и парков. 1980. С. 29–38.

2. Foy C.D., Chaney R.L., White M.C. The physiology of metal toxicity in lands // *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 1978. № 29. P. 511–566.
3. Ягодин Б.А., Виноградова С.Б., Говорина В.В. Кадмий в системе почва-удобрения – растения – животные организмы и человек // *Агрохимия*. 1989. № 5. С. 118–130.
4. Лебедев И.В., Толкач О.В., Шупик Т.К. Средостабилизирующая роль лесов Урала в условиях техногенного загрязнения атмосферы // *Леса Башкортостана: современное состояние и перспективы: материалы научно-практической конференции*. Уфа, 1997. 263 с.
5. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2022 году». Уфа, 2023. 318 с.
6. Атлас Республики Башкортостан / под ред. И.М. Япарова. Уфа: Китап, 2005. 420 с.
7. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / под ред. В.А. Алексеева. Л.: Наука, 1990. 200 с.
8. Использование кернов в лесоводственных исследованиях: Метод. Рекомендации / Ленингр. НИИ лесн. хоз-ва; [сост. Д.П. Столяров и др.]. Л.: ЛенНИИЛХ, 1988. 43 с.
9. Методика количественного химического анализа. Определение As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb, Sb, Tl (кислотно-растворимые формы) в почвах и данных отложениях атомно-абсорбционным методом. СПб., 2005. 12 с.
10. Hill S.J., Fisher A.S. Atomic Absorption, Methods and Instrumentation. *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry*. 3rd ed. Lindon J.C, editor-in-chief. UK, London: Elsevier Publ.; 2017. P. 37–43. DOI: 10.1016/B978-0-12-803224-4.00099-6
11. ГОСТ 26423–85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. М.: Изд-во Стандартиформ, 2011. 6 с.
12. Авдощенко В.Г., Климова А.В. Содержание тяжелых металлов в растениях города Петропавловска-Камчатского (Камчатский край) в 2017–2018 гг. // *Вестник Камчатского государственного технического университета*. 2020. № 54. С. 48–64. DOI: 10.17217/2079-0333-2020-54-48-64
13. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2016. 300 с.
14. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 610 с.
15. Айвазян А.Д. Геохимические особенности флоры ландшафтов юго-западного Алтая. М.: Изд-во МГУ. 1974. 155 с.
16. Енчилик П.Р., Асеева Е.Н., Семенов И.Н. Биологическое поглощение и биогеохимическая подвижность микроэлементов в лесных ландшафтах Центрально-лесного государственного природного биосферного заповедника // *Проблемы региональной экологии. Биологические науки*. 2018. № 4. С. 93–98. DOI: 10.24411/1728-323X-2018-14093.
17. Бородин Н.А. Аккумуляция тяжелых металлов хвоей сосны в урбоэкосистеме города Благовещенска // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14. № 1 (8). С. 1958–1962.
18. Старикова Е.А., Воскресенская О.Л., Алябьева Е.А. Аккумуляция тяжелых металлов в почве и надземных вегетативных органах *Juniperus sabina* L. в условиях г. Йошкар-Олы // *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал*. 2023. № 2(46). С. 129–139. URL: http://vestospu.ru/archive/2023/articles/9_46_2023.pdf. DOI: 10.32516/2303-9922.2023.46.9
19. Копылова Л.В. Оценка уровня загрязнения почв тяжелыми металлами и интенсивность поглощения их древесными растениями // *Ученые записки ЗабГГПУ. Естественные науки*. 2012. №1(42). С. 69–74.

References

1. Vergunov A.A. Uchet sanitarno-gigienicheskikh i mikroklimaticheskikh faktorov gorodskoy sredy // *Arkhiturnaya kompozitsiya sadov i parkov*, 1980, pp. 29–38.
2. Foy C.D., Chaney R.L., White M.C. The physiology of metal toxicity in lands // *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 1978, no. 29, pp. 511–566.
3. Yagodin B.A., Vinogradova S.B., Govorina V.V. Kadmiy v sisteme pochva-udobreniya – rasteniya – zhivotnye organizmy i chelovek // *Agrokimiya*, 1989, № 5, pp. 118–130.
4. Lebedev I.V., Tolkach O.V., Shupik T.K. Sredostabiliziruyushchaya rol' lesov Urala v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya atmosfery // *Lesa Bashkortostana: sovremennoe sostoyanie i perspektivy: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ufa, 1997, 263 p.
5. Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii prirodnikh resursov i okruzhayushchey sredy Respubliki Bashkortostan v 2022 godu». Ufa, 2023, 318 p.
6. Atlas Respubliki Bashkortostan / pod red. I.M. Yaparova. Ufa: Kitap, 2005, 420 p.
7. Lesnye ekosistemy i atmosfernoe zagryaznenie / pod red. V.A. Alekseeva. Leningrad: Nauka, 1990, 200 p.
8. Ispol'zovanie kernov v lesovodstvennykh issledovaniyakh: Metod. Rekomendatsii / Leningr. NII lesn. khoz-va; [sost. D.P. Stolyarov i dr.]. Leningrad: LenNIILKh, 1988, 43 p.
9. Metodika kolichestvennogo khimicheskogo analiza. Opredelenie As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb, Sb, Tl (kislotno-rastvorimye formy) v pochvakh i dannyykh otlozheniyakh atomno-absorbtsionnym metodom. Saint Petersburg, 2005, 12 p.
10. Hill S.J., Fisher A.S. Atomic Absorption, Methods and Instrumentation. *Encyclopedia of*

Spectroscopy and Spectrometry. 3rd ed. Lindon J.C, editor-in-chief. UK, London: ElsevierPubl.; 2017, pp. 37–43. DOI: 10.1016/B978-0-12-803224-4.00099-6

11. GOST26423–85. Pochvy. Metody opredeleniya udel'noy elektricheskoy provodimosti, pH i plotnogo ostatka vodnoy vytyazhki. Moscow: Izd-vo Standartinform, 2011, 6 p.

12. Avdoshchenko V.G., Klimova A.V. Soderzhanie tyazhelykh metallov v rasteniyakh goroda Petropavlovsk-Kamchatskogo (Kamchatskiy kray) v 2017–2018 gg. // Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2020, no. 54, pp. 48–64. DOI: 10.17217/2079-0333-2020-54-48-64

13. Opekunova M.G. Bioindikatsiya zagryazneniy. Saint Petersburg: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2016. 300 p.

14. Perel'man A.I., Kasimov N.S. Geokhimiya landshafta. Moscow: Astreya-2000, 1999, 610 p.

15. Ayvazyan A.D. Geokhimicheskie osobennosti flory landshaftov yugo-zapadnogo Altaya. Moscow: Izd-vo MGU, 1974, 155 p.

16. Enchilik P.R., Aseeva E.N., Semenov I.N. Biologicheskoe pogloshchenie i biogeokhimicheskaya podvizhnost' mikroelementov v lesnykh landshaftakh

Tsentr'al'no-lesnogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika // Problemy regional'noy ekologii. Biologicheskie nauki, 2018, no. 4, pp. 93–98. DOI: 10.24411/1728-323X-2018-14093

17. Borodina N.A. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov khvoey sosny v urboekosisteme goroda Blagoveshchenska // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk, 2012, vol. 14, no. 1(8), pp. 1958–1962.

18. Starikova E.A., Voskresenskaya O.L., Alyabysheva E.A. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov v pochve i nadzemnykh vegetativnykh organakh Juniperus sabina L. v usloviyakh g. Yoshkar-Oly // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Elektronnyy nauchnyy zhurnal, 2023, no. 2(46), pp. 129–139. URL: http://vestospu.ru/archive/2023/articles/9_46_2023.pdf. DOI: 10.32516/2303-9922.2023.46.9

19. Kopylova L.V. Otsenka urovnya zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami i intensivnost' pogloshcheniya ikh drevesnymi rasteniyami // Uchenye zapiski ZabGGPU. Estestvennye nauki, 2012, no. 1(42), pp. 69–74.

BIOGEOCHEMICAL ACTIVITY OF WOODY SPECIES IN THE ABSORPTION OF MANGANESE, CADMIUM, LEAD, NICKEL IN THE ZONE OF THE HIGHEST CONCENTRATION OF TOXICANTS OF THE INDUSTRIAL CENTER AND IN THE ZONE OF CONDITIONAL CONTROL

© R.Kh. Giniyatullin

Ufa Institute of Biology – Separate Structural Subdivision of the Federal State Budgetary Scientific
Institution Ufa Federal Research Centre of the RAS,
69, prospect Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

The results of studies on the content of metals in the soil and aboveground, underground organs of woody plants in the zone of the highest concentration of toxicants in the conditions of the Sterlitamak Industrial Center (SIC) and in the zone of conditional control (ZCC) are presented. It was found that the soil samples contained unequal amounts of heavy metals. The content of heavy metals exceeded the maximum permissible concentration in the conditions of the Sterlitamak industrial center by no more than 2.3 times. The gross content of heavy metals decreased in the series: Pb > Ni > Cd. Based on the characteristics of the features of metal translocation, it is shown that the roots of birch, poplar, and larch are able to absorb a significant amount of metals from the soil. A high degree of accumulation of Mn, Ni, Cd, Pb by the roots of all studied plants was found. The biogeochemical activity of the hanging birch, balsamic poplar, Sukachev larch was studied in the conditions of the Sterlitamak industrial center and in the conditional control zone. In the conditions of the SIC, according to the indicator of the biological absorption coefficient and according to the series of biological absorption Cd, Ni, Pb are elements of "medium capture", the highest indicator of biogeochemical activity (IBA) was detected in woody plants growing in the zone of conditional control, and the smallest – in the zone of the highest concentration of toxicants in the conditions of the Sterlitamak industrial center. According to the results obtained, it was revealed that the highest biogeochemical activity is characteristic of larch in the ZCC (IBA 7.15) poplar (IBA 5.12) birch (IBA 4.76) and lower indicators in the conditions of the SIC with a pronounced anthropogenic load, the IBA of which was 2.44, 1.84 and 1.96, respectively.

Keywords: birch, poplar, larch, accumulation of metals, biogeochemical activity, Sterlitamak industrial center.