

СОДЕРЖАНИЕ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ ЛИСТВЕННИЦЫ СУКАЧЕВА (*LARIX SUKACZEWII* DYL.) В УСЛОВИЯХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (СТЕРЛИТАМАКСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЦЕНТР, ПРЕДУРАЛЬЕ)



450054, Республика
Башкортостан,
г. Уфа, пр. Октября,
69;
тел. 8 (3472) 35-62-47

Р.Х. ГИНИЯТУЛЛИН,
*кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,
Институт биологии УНЦ РАН*

Ключевые слова: *лиственница Сукачева, относительное
жизненное состояние, тяжёлые металлы, Стерлитамакский
промышленный центр.*

Основной источник поступления тяжёлых металлов в окружающую среду – техногенный, связанный с интенсивным развитием современной промышленности: металлургической, химической, энергетической [2]. Загрязнение воздуха происходит при сжигании угля и других горючих ископаемых, а также вызвано выбросами промышленных предприятий.

Цель и методика исследований
Цель работы – определение содержания металлов в надземных органах лиственницы Сукачева в условиях промышленного загрязнения.

Исследовательская территория входит в Уршакско-Бельский район Чермасанско-Ашкадарского округа южнолесостепной подзоны провинции Высокого Заволжья лесостепной зоны стра-

ны Русской равнины. Климат района характеризуется континентальностью и недостаточным увлажнением.

Преобладают ветра южного, юго-западного и северного направлений. Процент дней со штилями в среднем составляет 17-19 с максимумами в декабре – марте и августе. Средняя годовая скорость ветра составляет 3,2-4,3 м/с [3].

В районе исследований преобладают чернозёмы типичные (34,1%) и выщелоченные (26,7%).

Стерлитамакский промышленный центр отличается высоким уровнем загрязнения. Химические предприятия г. Стерлитамака сосредоточены в северной части города: АО «Сода», АО «Каустик», АО «Каучук» и Стерлитамакский

***Sukachev larch, relative vital
condition, heavy metals,
Sterlitamak industrial centre.***

нефтехимический завод (СНХЗ).

В выбросах АО «Сода» преобладают неорганические вещества, в выбросах АО «Каучук», СНХЗ – органические. В выбросах АО «Каустик» много как органических, так и неорганических веществ [1].

Исследования проводились в лиственных древостоях, расположенных на различном удалении от предприятий г. Стерлитамака, а также в зоне условного контроля, которая находится 30-35 км от источника загрязнения.

При исследовании насаждения для каждого экземпляра лиственницы Сукачева ПП оценивались густота кроны, наличие на стволе мёртвых сучьев, степень поражения хвои (хлорозы, некрозы и другие повреждения древостоев атмосферными загрязнениями). Для определения содержания металлов хвою и побеги отбирали в течение вегетационного периода (июнь – июль – август) с 10-15 деревьев из верхней, средней и нижней части кроны, обращённой к источнику загрязнения. Пробы почвы отбирали на тех же участках, что и пробы растений. Содержание металлов в листьях, побегах и почвах определялось методом атомно-абсорбционного анализа на приборе ААС-ZEENIT-650 ЭТА.

Результаты исследований

При обследовании насаждения были обнаружены признаки повреждения хвои лиственницы Сукачева в виде хлорозов и некрозов. В условиях загрязнения у некоторых деревьев идёт отмирание ветвей в верхней части кроны не обнаружено.

Изучение содержания металлов в хвое лиственницы в условиях промышленного загрязнения и в зоне условного контроля показало ряд особенностей (табл. 1, 2).

В течение вегетации содержание меди в хвое и побегах 1-2-3-го годов лиственницы Сукачева в условиях промышленного загрязнения заметно отличается от контрольных показателей. Сезонная динамика содержания Си в хвое лиственницы в условиях промышленного загрязнения наблюдается с увеличением концентрации от весны к осени, а в контрольных участках такая закономерность не проявляется. В зоне условного контроля в хвое концентрации Си в середине и конце вегетации практически одинаковые. В условиях загрязнения содержание в хвое Си увеличивается в течение всего вегетационного периода. Так, концентрация Си перед листопадом в 1,6-2 раза выше, чем в начале вегетации, в

4-5 раз выше, чем в зоне условного контроля. Также следует отметить, что в условиях промышленного загрязнения и в зоне условного контроля концентрация Си в хвое больше в нижней части кроны. Различия в содержании Си в побегах 1-2-3-го годов между контролем и техногенными условиями проявляются в течение всего вегетационного периода. Указанные выше различия становятся наиболее ярко выраженными с середины вегетации. В это время в побегах 1-2-3-го годов лиственницы Сукачева в условиях загрязнения содержится повышенное количество Си. Максимальное накопление Си происходит в побегах лиственницы 1-2-3-го годов в условиях загрязнения в конце вегетации. Содержание Си в них выше в 7-10 раз. Причём в побегах 1-2-го годов нижней части кроны его содержание в 2,3-2,5 раза выше, чем в побегах верхней части кроны. В зоне условного контроля содержание Си по высоте ствола неодинаково. Так, в побегах 1-2-3-го годов лиственницы Сукачева наибольшее содержание Си наблюдается в нижней части кроны. В зоне условного контроля содержание Си в побегах 1-2-3-го годов в верхней, средней, нижней частях кроны в период вегетации отвечало почти постоянному значению, проявляя лишь слабую тенденцию к увеличению.

Данные таблиц 3 и 4 показывают, что в почвах в условиях промышленного загрязнения и в зоне условного контроля высоким содержанием Си отличаются подстилки. Накопление Си в подстилке лесных почв отмечается многими исследователями.

В наших почвах накопление Си наблюдается в горизонтах А₁А₂. Содержание Си в почвах разных пробных площадей заметно колеблется. В условиях Стерлитамакского промышленного центра почвы пробной площади выделяются наибольшим содержанием Си (24 мг/кг), и наоборот, его меньше в почве пробной площади в зоне условного контроля (15,2 мг/кг).

В условиях Стерлитамакского промышленного центра содержание Zn в хвое лиственницы Сукачева изучаемых нами лиственничников колеблется в широких пределах – от 20 до 1300 мг/кг. Значительное воздействие на растения может оказывать и поступление металлов через листья. Поглощение кадмия и цинка листьями (особенно вблизи промышленных предприятий) может даже превышать их корневое поступление в растения [4]. В условиях Стерлитамакского промышленного центра сезонная динамика содержания Zn в хвое и побегах 1-2-3-го годов в верхней, нижней частях кроны характеризуются увеличением концентрации от весны к осени, а в зоне условного контроля такая закономерность не проявляется.

В зоне условного контроля содержание Zn до середины вегетационного периода возрастает, а к концу сезона снижается. Содержание Zn в побегах 1-2-3-

Таблица 1
Среднее содержание металлов (мг/кг воздушно-сухой массы) в органах лиственницы Сукачева в условиях Стерлитамакского промышленного центра

Образец	Часть кроны	Июнь				Июль				Август			
		Cu	Zn	Cd	Pb	Cu	Zn	Cd	Pb	Cu	Zn	Cd	Pb
Хвоя	верхняя	20	1530	2,1	8	29	1720	3,0	10	32	1815	3,4	11,2
	средняя	27	280	2,8	10	60	305	3,5	11,2	64	316	4,2	14,3
	нижняя	45	690	3,0	12	61	730	5,0	13,4	65	786	6,8	16,9
Побеги 1-го года	верхняя	25	1500	4,2	45	28	1660	5,8	52	35	1729	6,3	60
	средняя	40	2800	4,0	50	48	3298	5,7	68	65	3400	6,4	73
	нижняя	55	1000	5,8	60,2	65	1027	6,0	70	70	1075	7,8	76
Побеги 2-го года	верхняя	26	248	0,9	28,2	28	250	1,1	30	37	266	1,33	32
	средняя	50	480	0,33	29,8	59	500	1,2	31,2	66	545	1,55	36,7
	нижняя	60	870	0,50	30,4	62	920	1,9	33,4	72	999	2,1	38
Побеги 3-го года	верхняя	26	7280	1,0	25,5	27	1650	1,0	32	28	7750	1,3	39
	средняя	48	5400	1,2	38	50	5989	1,3	38	50	6030	1,6	42
	нижняя	46,7	780	1,6	39	50	8370	1,6	40	52	8980	1,9	49

Таблица 2
Среднее содержание металлов (мг/кг воздушно-сухой массы) в органах лиственницы Сукачева в зоне условного контроля

Образец	Часть кроны	Июнь				Июль				Август			
		Cu	Zn	Cd	Pb	Cu	Zn	Cd	Pb	Cu	Zn	Cd	Pb
Хвоя	верхняя	6	38	0,1	2,0	8	46,2	0,2	2,2	8	46,2	0,2	2,8
	средняя	10	37	0,2	3,2	12	45	0,3	3,6	12,1	45	0,5	3,9
	нижняя	11	37,9	0,4	4,8	14,2	48	0,5	3,8	14,3	48	0,7	4
Побеги 1-го года	верхняя	4,1	45	0,75	3,0	3,2	44	0,78	3,2	5,2	44	0,80	3,4
	средняя	4,2	42,2	0,86	3,9	3,0	40	0,90	3,9	6,7	40	1	4
	нижняя	4,3	40,5	0,92	4,2	3,3	38	0,97	4,8	6,8	38	1,2	5,8
Побеги 2-го года	верхняя	4,3	38	0,88	4,2	2,8	36	0,90	4,9	5,9	36	1,3	4,2
	средняя	4,4	36,2	0,93	4,5	2,7	32	0,97	4,8	6,1	32	1,2	4,6
	нижняя	4,5	35,1	0,97	4,9	2,6	34	1	5,2	7,3	34	1,3	5
Побеги 3-го года	верхняя	8,5	42	1,2	6,2	2,9	38	1,8	6,8	8,9	38	2	2
	средняя	9,2	40	1,4	8,8	2,8	39,2	1,9	9	10,5	39,2	2,1	3,2
	нижняя	10,3	38	2	9,2	2,9	34	2,2	10	12,2	34	2,4	4,5

Таблица 3
Валовое содержание металлов (мг/кг воздушно-сухой массы) в подстилке и почвах в условиях Стерлитамакского промышленного центра

Образец	Горизонт	Глубина	Cu	Zn	Cd	Pb
Подстилка	A ₀	0-3	48	2870	9,8	50
	A ₁	6-25	24	680	10	30
Почва – чернозём выщелоченный	A ₁	25-35	16	620	8	24
	AB	35-70	12	590	6	18

го годов в зоне условного контроля не остаётся постоянным на протяжении вегетационного периода. В зоне условного контроля характерно постепенное снижение содержания Zn к середине вегетации, а затем – увеличение. Аналогичные закономерности наблюдаются в побегах 1-2-3-го годов в верхней, средней, нижней частях кроны. Следует отметить, что среднее содержание Zn в зоне условного контроля по высоте ствола неодинаково. Наибольшее содержание Zn отмечается в хвое и побегах верхней части кроны.

В условиях Стерлитамакского промышленного центра содержание Zn в хвое и побегах лиственницы в период вегетации отвечало постоянному увеличению. В условиях Стерлитамакского промышленного центра максимальная концентрация цинка выявлена в побегах 3-го года в нижней части кроны (8980 мг/кг).

Довольно высока она в хвое в верхней части кроны лиственницы Сукачева (1815,5 мг/кг). Различия между контролем в условиях Стерлитамакского промышленного центра проявляются в течение всего вегетационного периода. Установлено (табл. 1), что в начале вегетации в хвое верхней части кроны среднее содержание Zn составляет 1530 мг/кг, в средней части – 280 мг/кг, в нижней части кроны – 690 мг/кг, а в конце вегетации в хвое верхней, средней, нижней частей кроны увеличилось в 1,2-1,3 раза. Среднее содержание Zn в условиях Стерлитамакского промышленного центра в хвое верхней части кроны в 40 раз, средней части кроны – в 7,5 раза, нижней части кроны – в 18,5 раза выше, чем в зоне условного контроля. Аналогичные закономерности получены при исследовании побегов 1-2-3-го годов лиственницы Сукачева в условиях СПЦ. В течение вегетации содержание Zn в побегах 1-2-3-го годов в условиях загрязнения значительно отличается от контрольных показателей. Заметное увеличение содержания Zn характерно для побегов 1-го и 3-го годов.

В условиях Стерлитамакского промышленного центра в побегах 1-го года содержание Zn превышает содержание в зоне условного контроля в 173 раза, а в побегах 3-го года – в 206 раз. Содержание Zn в почвах и подстилках пробной площади сильно колеблется. В условиях СПЦ в подстилке пробной площади отмечается высокое содержание Zn (2870 мг/кг), и наоборот, его мало в подстилке пробной площади в зоне условного контроля (40 мг/кг). Содержание Zn в почвах в зоне условного контроля незначительно (Zn – 28 мг/кг) (табл. 2). Наибольшее его количество накапливается в почвах в условиях СПЦ (Zn 680

мг/кг). Интерпретация данных по сезонной динамике элементного состава хвои и побегов лиственницы Сукачева в зоне СПЦ осложняется тем, что избыточными техногенными элементами являются не только токсичные Pb и Cd, но и некоторые биометаллы Zn, Cu. Различия между контрольными и техногенными условиями проявляются в течение всего вегетационного периода.

В условиях Стерлитамакского промышленного центра содержание в хвое и побегах 1-2-3-го годов токсичных металлов увеличивается в течение всего вегетационного периода. Так, концентрация Pb в хвое перед листопадом в 1,5 раза выше, чем в молодой хвое, в конце вегетации в побегах 1-2-3-го годов Pb в 1,2-1,4 раза выше, чем в начале вегетации, Cd – в 1,5 раза, в побегах – в 2-2,5 раза (табл. 1).

В зоне условного контроля содержание Pb и Cd в побегах 1-го и 2-го года и в хвое лиственницы Сукачева в период вегетации отвечало почти постоянному значению, проявляя лишь слабую тенденцию к увеличению. Вместе с тем наблюдаются изменения содержания Pb в побегах 3-го года. Концентрация Pb в побегах 3-го года в начале вегетации существенно выше, чем в конце вегетации. В зоне условного контроля концентрация Pb от начала до конца вегетации постепенно уменьшается. В условиях загрязнения такая закономерность не проявляется.

Сравнительный анализ распределения металлов подземной части лиственницы Сукачева, исследованной в условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля, показал, что количество Pb и Cd больше концентрируется в хвое и побегах нижней части кроны. Содержание Cd в них превышает контрольный уровень в 9,7 раза и Pb – в 13,1 раза. В условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля по содержанию в почве металлы располагаются в следующий ряд: Zn>Pb>Cd. Наибольшим содержанием Pb и Cd отличаются подстилки. Содержание Pb в почвах разных пробных площадей сильно колеблется. В условиях Стерлитамакского промышленного центра на пробной площади отмечается высокое содержание Pb (30 кг/

мг), Cd (10 мг/кг), и наоборот, их очень мало в почве пробной площади в зоне условного контроля Pb (8,2 мг/кг), Cd (0,22 мг/кг). В почвах Cd и Pb концентрируются в приповерхностном слое почвы 0-10 (20) см. В горизонтах A₁, A₂ содержание Cd и Pb в несколько раз выше, чем в других. В почвах в зоне условного контроля (табл. 4) общая картина распределения Cd и Pb по горизонтам сходна с распределением в условиях СПЦ.

Загрязнение почв характеризуется различными показателями. В их числе – коэффициент аномальности: отношение содержания металла в верхнем слое загрязнённой почвы к фоновому его содержанию в том же слое. Загрязнённой почвой принято считать такую, в которой содержание токсичности элемента превышает фоновое в 2-3 раза [6]. В наших почвах содержание Cd и Pb в условиях СПЦ Cd – в 45 раз, Pb – в 3,6 раза превышает содержание в зоне условного контроля.

Выводы и рекомендации

Таким образом, промышленное загрязнение атмосферы металлами и их значительное содержание в почве приводят к накоплению дополнительного количества Cu, Zn, Cd, Pb в хвое и побегах 1-2-3-го годов лиственницы Сукачева.

Интерпретация данных по сезонной динамике элементного состава хвои и побегов лиственницы Сукачева в условиях СПЦ осложняется тем, что избыточными техногенными элементами являются не только токсичные Cd и Pb, но и биометаллы Cu, Zn. Различия между контролем и техногенными условиями проявляются в течение всего вегетационного периода. В условиях СПЦ значительное содержание металлов в хвое и побегах лиственницы Сукачева отражается на общем состоянии растений.

Таким образом, в условиях СПЦ хвоя и побеги лиственницы Сукачева интенсивно аккумулируют цинк, кадмий, свинец. Побеги служат в качестве депо для металлов, ограничивая их распространение в окружающую среду. Лиственница Сукачева наиболее эффективно выполняет средоочищающие функции в рассматриваемых экологических условиях. Лиственницу Сукачева можно применять при создании санитарно-защитных насаждений в СПЦ.

Таблица 4
Валовое содержание металлов (мг/кг воздушно-сухой массы) в подстилке и почвах в зоне условного контроля

Образец	Горизонт	Глубина	Cu	Zn	Cd	Pb
Подстилка	A ₀	0-3	19,9	40	0,22	9
	A ₁	6-25	15,2	28	0,11	8,2
Почва – чернозём выщелоченный	A ₁	25-35	12,3	26,2	0,10	7,8
	AB	35-70	8,2	16,0	0,2	54

Литература

1. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Башкортостан в 2005 г. Уфа, 2006. 301 с.
2. Ильин В. Б. Химические элементы в системе почва – растение. Новосибирск : Наука, 1991. 134 с.
3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1990. Сер. 3 : Многолетние данные. Ч. 1-6. Вып. 9 : Пермская, Свердловская, Челябинская, Курганская области, Башкирская АССР. 557 с.
4. Плеханова И. О., Обухов А. И. Цинк и кадмий в почвах и растениях городской среды // Цинк и кадмий в окружающей среде. М. : Наука, 1992. С. 144-159.