

УДК 630: 425.114

С.В. Залесов¹, Р.Н. Лаишевцев¹, Е.В. Колтунов²
(¹Уральский государственный лесотехнический университет;
²Ботанический сад УрО РАН)

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ХВОЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЛЕСОПАРКАХ ЕКАТЕРИНБУРГА

Изучены содержание тяжелых металлов в почве и хвое сосны обыкновенной в г. Екатеринбурге на примере Юго-Западного лесопарка и лесопарка им. Лесоводов России, уровень антропогенной трансформации фитоценозов по стадиям, состояние древостоев и степень пораженности сосны стволовой и корневой гнилью.

Высокий уровень техногенного загрязнения городской среды в Екатеринбурге обусловлен большой концентрацией промышленных предприятий и быстрым ростом автопарка. Совершенно очевидно, что это отрицательно отражается и на состоянии насаждений городских лесопарков и условиях роста древостоев. Учитывая достаточно высокий уровень загрязнения пригородных лесов в целом (Шилова, 1991), особенно важно определение конкретных количественных параметров загрязнения почв и хвои сосны в отдельных лесопарках и их возможного вклада в снижение устойчивости древостоев и ухудшение их состояния.

Отбор почвенных и растительных (хвоя, листья, трава) образцов для анализа степени загрязнения лесопарков техногенными элементами проводился общепринятыми методами на разном расстоянии от источников техногенного загрязнения (автодорог). Для количественного анализа содержания тяжелых металлов в хвое использовался метод сушки образцов, последующего сжигания их и озоления, экстракции определяемых элементов в растворе соляной кислоты и определения содержания элементов методом атомно-адсорбционной спектроскопии. Для экстракции подвижных форм металлов из проб почв использовали аммонийно-ацетатный буфер.

Лесопатологическое обследование основывалось как на закладке постоянных и временных пробных площадей, так и на проведении маршрутных обследований. Закладка пробных площадей проводилась общепринятыми методами. Пораженность корневой и стволовой гнилью изучалась только на основе прямого определения заболевания по кернам древесины, извлеченным с помощью возрастного бурава. Для оценки пораженности корней гнилью использовался метод взятия кернов буравом из корневых лап. Как правило, анализировались 2-3 корневые лапы на разном расстоянии от ствола.

Как показали результаты исследования, в почвах Юго-Западного лесопарка содержание железа вблизи дороги на улице Амундсена составило 188 мг/кг, тогда как содержание этого элемента на удалении более 100 м от автомобильной дороги составило 152 мг/кг (табл. 1). Различия в загрязнении статистически недостоверны. Кроме того, следует отметить, что из каждого обследованного лесопарка в разных точках отбиралось не менее 10 образцов из верхнего почвенного горизонта. Поскольку различия между образцами были статистически недостоверны, последние были объединены в один средний образец, за исключением образцов, отобранных непосредственно вблизи автомобильной дороги на улице Амундсена. Учитывая отсутствие норм ПДК для железа, мы вынуждены были в качестве контрольного значения использовать данные о содержании этого элемента в почве сосняков из Каменск-Уральского района (87 км от г. Екатеринбурга). Сравнительный анализ показал, что в различных образцах содержание железа также отличалось в 5 раз, но их абсолютные значения были намного ниже, от 8 до 38 мг/кг. Следовательно, концентрация железа в почве городских лесопарков в среднем в 20 раз выше таковой в почве сосняка за пределами импактной зоны.

Как показали материалы исследований, в почвах лесопарка им. Лесоводов России содержание железа в 5 раз выше, чем в почвах Юго-Западного лесопарка. Так, в почвах 77 квартала его среднее содержание составляло 844 мг/кг, тогда как в почвах 78 квартала было ниже и составляло 496 мг/кг (см. табл. 1). Эта концентрация выше контрольной в 100 раз, что однозначно свидетельствует о превышении фоновой концентрации железа в почвах лесопарка им. Лесоводов России. Мы предполагаем, что загрязнение обусловлено близким соседством лесопарка с промышленными предприятиями.

В почвах обследованных лесопарков также очень велико содержание подвижных форм марганца. Так, в образцах, взятых вблизи автомобильной дороги, его концентрация составляла в среднем 1124 мг/кг, что в 8 раз превышает ПДК.

Загрязнение марганцем не связано с автотранспортом, так как его содержание вблизи оживленной автомобильной дороги по ул. Амундсена практически мало отличается от такового в образцах, взятых вдали от дорог (см. табл. 1).

По содержанию меди в пробах почв обследованных лесопарков данные также значительно различаются. Так, в почвах Юго-Западного лесопарка вблизи автомобильной дороги содержание меди составило 9,6 мг/кг, а вдали от дорог, в глубине лесопарка - 12,6 мг/кг, что соответственно в 3,2 и 4,2 выше ПДК (см. табл. 1). Это несколько отличается от результатов, ранее приведенных И.И. Шиловой (1991) для почв лесопарков Урала, наши значения в среднем выше на 26%.

Таблица 1 - Содержание в почвах лесопарков подвижных форм тяжелых металлов и других химических элементов

Химический элемент	Единица измерения	Юго-Западный лесопарк		Парк им. Лесоводов Россия	
		20 м от дороги	100 м от дороги	Кв.77	Кв.78
Калий	мг/кг	196	164	204	280
	%	0,0196	0,0164	0,0204	0,028
	ммоль/100 г	0,501407	0,419545	0,521873	0,716296
Натрий	К ₂ O г/100 г	47,04	39,36	48,96	67,2
	мг/кг	60	80	60	80
	%	0,006	0,008	0,006	0,008
Магний	ммоль/100 г	0,260983	0,347977	0,260983	0,347977
	мг/кг	1140	2080	2120	2500
	%	0,114	0,208	0,212	0,25
Кальций	ммоль/100 г	4,691358	8,559671	8,72428	10,28807
	мг/кг	13600	16600	7600	20000
	%	1,36	1,66	0,76	2,0
Цинк	ммоль/100 г	33,93214	41,41717	18,96208	49,9002
	мг/кг	90	68	190	58
Свинец	%	0,009	0,0068	0,019	0,0058
	мг/кг	0	0	0	0
	%	0	0	0	0
Кадмий	мг/кг	1,2	1,8	3,0	1,4
	%	0,00012	0,00018	0,0003	0,00014
Кобальт	мг/кг	0	0	0	0
	%	0	0	0	0
Никель	мг/кг	2,0	4,8	9,8	5,0
	%	0,0002	0,00048	0,00098	0,0005
Медь	мг/кг	9,6	12,6	34,4	14
	%	0,00096	0,00126	0,00344	0,0014
Марганец	мг/кг	1124	1134	1898	864
	%	0,1124	0,1134	0,1898	0,0864
Железо	мг/кг	188	152	844	496
	%	0,0188	0,0152	0,0844	0,0496

В почвах лесопарка им. Лесоводов России содержание меди в верхних горизонтах почв заметно выше, чем в Юго-Западном лесопарке. Так, среднее содержание меди в почвах квартала 77 лесопарка им. Лесоводов России составило 34,4 мг/кг, что в 11,5 раз превышает ПДК для подвижных форм меди. Содержание меди в почвах квартала 78 в 2,7 раза ниже, чем в квартале 77, и составило 14 мг/кг (4,7 ПДК). Мы предполагаем, что различия в содержании меди также не связаны с загрязнением почв автотранспортом, а обусловлены только промышленным загрязнением почв и близостью ряда промышленных предприятий к кварталу 77 лесопарка им. Лесоводов России.

По содержанию никеля данные по лесопаркам различаются в 4-5 раз, но его абсолютное содержание во всех пробах незначительно. Так, в почве Юго-Западного парка вблизи автомобильной дороги содержание никеля составило в среднем 2 мг/кг, тогда как вдали от автодороги содержание никеля достигало 4,8 мг/кг, что незначительно превышало ПДК.

В почвах лесопарка им. Лесоводов России наблюдается та же тенденция, что и по другим металлам: содержание никеля в квартале 77 было в 2-5 раз выше, чем в Юго-Западном лесопарке, и составляло в среднем 9,8 мг/кг, что в 2,5 раз выше ПДК. Содержание никеля в почвах квартала 78 было почти вдвое меньше и составляло в среднем 5 мг/кг (1,3 ПДК). Сравнительный анализ контрольных и опытных проб показывает, что в относительно малозагрязненных экотопах, отдаленных от города, содержание никеля в почвах сосняков значительно ниже, на уровне 2 мг/кг. Содержание никеля в почвах Юго-Западного лесопарка значительно ниже приведенных И.И. Шиловой (1991) для лесопарков Урала.

По содержанию кобальта получены только «следовые» значения, которые несопоставимы даже с кларковым уровнем (Виноградов, 1957; Вострокнутов, 1986) (см. табл. 1).

Содержание кадмия в почвах Юго-Западного лесопарка в пробе вблизи автомобильной дороги составляло в среднем 1,2 мг/кг, а в пробах, взятых вдали от автодороги, содержание этого металла - 1,8 мг/кг, что ниже ПДК. В почве лесопарка им. Лесоводов России, в квартале 77 содержание кадмия, как и других металлов, оказалось заметно выше - около 3 мг/кг (1 ПДК), тогда как в квартале 78 оно составило в среднем 1,4 мг/кг. Полученные показатели почти в 10 раз превысили приведенные ранее И.М. Шиловой (1991). Они также значительно выше полученных нами данных по содержанию кадмия в почвах контрольных сосняков за пределами города (0,4 мг/кг) и соответственно в 10-20 раз превышают кларковый уровень для кадмия.

По содержанию свинца получены только его «следовые» количества, которые совпадают с пределом чувствительности измерений этого

элемента. Соответственно содержание свинца во всех образцах, взятых в лесопарках, исключительно низкое. Таким образом, по крайней мере, свинцом почвы обследованных лесопарков совершенно не загрязнены.

Содержание цинка в почвах лесопарков чрезвычайно велико. Так, в одном образце почвы Юго-Западного лесопарка содержание цинка составило 90 мг/кг, что в 3,9 раз превышает ПДК. В другом образце (среднем из 9) содержание цинка 68 мг/кг, что в 3 раза выше ПДК. В почве лесопарка им. Лесоводов России в квартале 77 среднее содержание цинка достигло 190 мг/кг, что в 8,3 раза превышает ПДК. В почве квартала 78 содержание этого металла, как и других элементов, оказалось значительно ниже и составило 58 мг/кг (2,5 ПДК).

Таким образом, по всем основным металлам среднее содержание их в почве лесопарка им. Лесоводов России в квартале 77 выше, чем в квартале 78 этого лесопарка и Юго-Западном лесопарке. При этом по всем металлам (кроме кобальта и свинца) их содержание значительно превышает ПДК. Последнее свидетельствует о том, что почвы квартала 77 лесопарка им. Лесоводов России в наиболее значительной степени загрязнены тяжелыми металлами. Загрязненность квартала 78 этого лесопарка заметно ниже и почти совпадает с уровнем загрязнения Юго-Западного лесопарка.

Практически отсутствует сколько-нибудь заметная взаимосвязь между близостью автомобильной дороги и повышенным содержанием техногенных элементов в почве. Локальное загрязнение обследованных лесопарков выбросами автотранспорта вблизи автодорог не оказывает заметного влияния на повышение уровня загрязнения почв тяжелыми металлами уже на расстоянии более 20 м. Следовательно, на общее загрязнение почв лесопарков этот фактор также не оказывает существенного влияния. Все результаты исследований однозначно свидетельствуют о тесной взаимосвязи уровней загрязнения объектов с общим загрязнением среды аэрогенными выбросами промышленных предприятий.

Как показали результаты атомно-адсорбционного анализа проб хвои сосны (табл. 2), хром обнаружен в пробах только на уровне следовых количеств как в Юго-Западном лесопарке, так и в лесопарке им. Лесоводов России. Следовательно, загрязнение этим металлом в обследованных лесопарках полностью отсутствует.

Содержание железа в хвое сосны Юго-Западного лесопарка составило 456 мг/кг, тогда как в хвое сосны лесопарка им. Лесоводов России оно было в 2-3 раза ниже и составляло 145 мг/кг в квартале 77 и 185 мг/кг в квартале 78. Сравнение полученных результатов с содержанием железа в почвах этих лесопарков показывает, что оно приблизительно соответствует содержанию их в хвое.

Таблица 2 - Содержание тяжелых металлов в хвое сосны в лесопарках

Химический элемент	Единица измерения	Юго-Западный лесопарк. Квартал 100	Лесопарк им. Лесоводов России	
			Квартал 77	Квартал 78
Калий	мг/кг	4510	4010	5040
	%	0,451	0,401	0,504
	ммоль/100 г	11,53748	10,25838	12,89332
	K ₂ O мг/100 г	1082,4	962,4	1209,6
Натрий	мг/кг	320	170	260
	%	0,032	0,017	0,026
	ммоль/100 г	1,39191	0,739452	1,130926
Магний	мг/кг	3090	2700	1220
	%	0,309	0,27	0,122
	ммоль/100 г	12,71605	11,11111	5,020576
Кальций	мг/кг	860	1190	640
	%	0,086	0,119	0,064
	ммоль/100 г	21,45709	29,69062	15,96806
Цинк	мг/кг	71	43	35
	%	0,0071	0,0043	0,0035
Свинец	мг/кг	0	0	0
	%	0	0	0
Кадмий	мг/кг	0,7	0,8	1,2
	%	0,00007	0,00008	0,00012
Кобальт	мг/кг	0,9	0	0,1
	%	0,00009	0	0,00001
Никель	мг/кг	12,2	20,8	16,6
	%	0,00122	0,00208	0,00166
Медь	мг/кг	7,2	3,8	4,9
	%	0,00072	0,00038	0,00049
Марганец	мг/кг	1800	1600	1700
	%	0,18	0,16	0,17
Железо	мг/кг	456	145	185
	%	0,0456	0,0145	0,0185
Хром	мг/кг	0	0	0
	%	0	0	0

Следовательно, никакого накопления железа в хвое сосны не происходит. Анализ литературных данных показывает, что высокое содержание железа в растениях отражает главным образом воздействие на растения промышленного загрязнения, а не загрязнения автотранспортом.

Следовательно, по этому параметру уровень промышленного загрязнения почвы и хвои в Юго-Западном лесопарке в несколько раз выше, чем в лесопарке им. Лесоводов России.

Содержание марганца в хвое сосны в Юго-Западном лесопарке составило 1800 мг/кг, что на 60 % выше, чем его содержание в почве (см. табл. 1 и 2). Таким образом, в хвое сосны происходит заметное накопление железа техногенного происхождения.

В хвое сосны в лесопарке им. Лесоводов России (квартал 77) среднее содержание марганца составило 1600 мг/кг, а в хвое сосны квартала 78 в этом же лесопарке – 1700 мг/кг. Сравнительный анализ полученных результатов с данными по почвам показывает, что в квартале 77 уровень накопления марганца такой же, как в Юго-Западном лесопарке, а в квартале 78 он существенно (на 97%) выше. Таким образом, уровень накопления марганца в хвое заметно варьирует, что, вероятно, обусловлено различными лесорастительными условиями. Очевидно, что уровень загрязнения хвои марганцем чрезвычайно высок. Последнее особенно важно, поскольку хвоя в виде опада постепенно трансформируется в подстилку, что значительно увеличит уровень содержания марганца в почвах лесопарков.

Анализ содержания меди в хвое сосны в обследованных лесопарках показал, что его содержание невелико и не достигает даже кларкового уровня для зоны тайги Урала (Глазовская, 1964). В хвое сосны Юго-Западного лесопарка содержание меди составило 7,2 мг/кг, а в хвое сосны лесопарка им. Лесоводов России в квартале 77 - 3,8 мг/кг и в квартале 78 - 4,9 мг/кг (см. табл. 2). Учитывая высокий уровень токсичности хрома, свинца и меди, полученные данные свидетельствуют о вполне благополучной обстановке в лесопарках для сосны.

По содержанию никеля обстановка в лесопарках менее благополучна. Так, в хвое сосны Юго-Западного лесопарка обнаружено 12,2 мг/кг никеля, а в хвое сосны лесопарка им. Лесоводов России в квартале 77 - 20,8 мг/кг и в квартале 78 - 16,6 мг/кг никеля. Эти показатели многократно (в 12- 20 раз) превышают кларковый уровень для зоны тайги Урала. Они в 3-5 раз превышают значения ПДК для продуктов питания. Содержание никеля в хвое сосны лесопарка им. Лесоводов России (кв. 77) значительно выше, чем в хвое сосны Юго-Западного лесопарка.

Содержание кобальта в хвое сосны Юго-Западного лесопарка очень низкое - 0,9 мг/кг. В хвое сосны из лесопарка им. Лесоводов России (кв. 77) оно еще ниже. Кобальт обнаружен только в следовых количествах. В хвое сосны (кв. 78) выявлено 0,1 мг/кг этого элемента. Это количество исключительно мало и не достигает даже кларкового уровня в зоне тайги Урала. Тем не менее, содержание кобальта в хвое сосны Юго-Западного лесопарка в 9 и более раз выше, чем в хвое сосны лесопарка им. Лесоводов

России. В целом кобальта в хвое сосны накапливается значительно больше, чем в почвах, где выявлены лишь его следы.

По содержанию кадмия в образцах хвои сосны получены следующие результаты: в Юго-Западном лесопарке среднее содержание его составляло 0,7 мг/кг, а в хвое сосны лесопарка им. Лесоводов России в кв. 77 - 0,8 мг/кг и в квартале 78 - 1,2 мг/кг. Соответственно в первом образце его количество вдвое превышает кларковое содержание, во втором - в 4 раза и в последнем в 6 раз. Сравнение со значениями ПДК по этому элементу в пищевых продуктах выявило его превышение в 7-12 раз. Наиболее высокое содержание кадмия отмечено в квартале 78 лесопарка им. Лесоводов России, где оно на 71 % превышает содержание этого элемента в хвое сосны Юго-Западного лесопарка. В целом содержание кадмия в хвое сосны высокое вследствие сильного техногенного загрязнения городской среды.

Содержание свинца в пробах хвои во всех образцах обнаружено на уровне следовых количеств. Это вполне соответствует результатам, полученным по содержанию его в почве этих лесопарков.

Содержание цинка в образцах хвои сосны Юго-Западного лесопарка составило 71 мг/кг, а в хвое сосны лесопарка Лесоводов России в кв. 77 - 43 мг/кг и в квартале 78 - 35 мг/кг. Соответственно в первом образце его количество в 2,3 раза, во втором - в 2,1 раза и в последнем в 1,5 раза превышало кларковое содержание. При сравнении с ПДК по этому элементу в пищевых продуктах в образце хвои сосны Юго-Западного лесопарка выявляется его превышение в 1,4 раза, а в остальных - ниже ПДК.

Таким образом, уровень техногенного загрязнения обследованных лесопарков достаточно высок, причем загрязнение почв лесопарка им. Лесоводов России выше, чем Юго-Западного лесопарка. Это обусловлено близостью ряда промышленных объектов к территории лесопарка им. Лесоводов России. Но и уровни загрязнения разных кварталов одного лесопарка также различаются. Поэтому необходимо детальное исследование всей территории лесопарков для получения объективной картины территориального распределения загрязнений.

На общее загрязнение почв в обследованных парках основное влияние оказывает загрязнение, вызываемое атмосферными выбросами промышленных предприятий и автотранспортом, а не локальное загрязнение, вызываемое автотранспортом вблизи автодорог.

Лесопатологическое обследование лесопарков выявило широкое (от 30 до 77,5%) распространение у сосны корневых и ствольных гнилей, более детальные сведения о которых изложены в следующей нашей статье сборника. Здесь можно отметить, что мы не обнаружили тесной взаимосвязи уровня заболеваемости сосны корневыми и ствольными гнилями с уровнем техногенного загрязнения разных кварталов

лесопарков, хотя длительное и интенсивное техногенное воздействие, несомненно, способствовало ослаблению и снижению их устойчивости. Но степень вклада этого фактора была незначительной. Заметно выше была взаимосвязь уровня пораженности сосны гнилями с ее возрастом.

Библиографический список

Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 237 с.

Вострокнутов Г.А. К методике обработки данных поисковой геохимии // Научно-методические основы и результаты геохимических поисков рудных месторождений на Урале. Свердловск, 1986. С. 50-60.

Глазовская М.А. О биологическом круговороте элементов в различных ландшафтных зонах (на примере Урала) // Физика, химия, биология и минералогия почв СССР: Докл. VIII Междунар. конгресса почвоведов. М., 1964. С. 148-157.

Шилова И.И. Содержание химических элементов техногенного загрязнения в растениях на территории крупного индустриального города на Урале // Динамика лесных фитоценозов и экология насекомых-вредителей в условиях антропогенного воздействия. Свердловск, 1991. С. 31-50.