

УДК 594.382

АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ХВОЕЙ СОСНЫ В УРБОЭКОСИСТЕМЕ ГОРОДА БЛАГОВЕЩЕНСКА

© 2012 Н.А. Бородина

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

Поступила в редакцию 05.05.2012

Исследовано аэрогенное загрязнение хвои сосны (*Pinus silvestris*) тяжелыми металлами в урбоэкосистеме г. Благовещенска. Выявлены особенности накопления Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Co, Pb и Mn в хвое сосны в зависимости от степени техногенного загрязнения.

Ключевые слова: хвоя, сосна, тяжелые металлы, техногенное загрязнение

В последнее время экологические проблемы все больше привлекают внимание ученых и специалистов различных направлений, т.к. антропогенное загрязнение окружающей среды приобрело такие размеры, что стало угрожать здоровью человека и представлять серьезную опасность для будущих поколений. Особое место по остроте этих проблем занимают урбанизированные территории. Изучение техногенного загрязнения является одной из актуальных проблем в экологических исследованиях.

Для оценки состояния окружающей среды лучших индикаторов, чем лесные породы, не существует [8]. Хвойные растения имеют меньшую устойчивость к атмосферным загрязнителям по сравнению с лиственными. Из хвойных наиболее чувствительна к загрязнению воздуха сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*), которая чутко реагирует на изменения окружающей среды, обладает высокой газопоглощательной способностью и может быть использована как биоаккумулятор аэрогенных загрязнений [3, 6]. Продолжительность жизни хвои сосны на фоновых участках, по разным источникам, от 5 до 9 лет, в районах сильного загрязнения возраст хвои уменьшается до 2-3 лет [7]. Ассимиляционный аппарат хвойных удобен в качестве объекта исследования, т.к. подвергается многолетнему техногенному загрязнению. За это время в нем накапливается достаточное количество тяжелых металлов (ТМ), поступающих с техногенными потоками. Хвоя способна накапливать ТМ как из атмосферы, так и из почвы путем корневого поглощения.

Цель работы: исследование закономерностей накопления тяжелых металлов в хвое

сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*) в зависимости от степени техногенного загрязнения г. Благовещенска.

Благовещенск является малопромышленным городом с небольшим объемом производств. Основными загрязнителями атмосферного воздуха в г. Благовещенске являются стационарные источники промышленных предприятий, теплоэлектростанций и котельных предприятий коммунального хозяйства. Так, Благовещенская ТЭЦ выбрасывает в среднем 18,8 тысяч тонн загрязняющих веществ в год. Несмотря на то, что ТЭЦ расположена на окраине города, выбросы ее в направлении господствующих ветров с северо-запада на юго-восток (по розе ветров) направлены на жилые кварталы города и оказывают значительное влияние на экологическую обстановку. Другим источником загрязнения является автотранспорт. В Приамурье на долю автотранспорта приходится 59,9% от общей массы загрязняющих веществ, т.е. больше, чем на все остальные виды деятельности человека [1].

Методы исследования. Сбор материала (хвоя сосны) проводили с июля по октябрь 2009 г. с 35 пробных площадок в г. Благовещенске. В качестве фона была выбрана территория заповедного урочища Мухинка, расположенная в 38 км северо-восточнее г. Благовещенска, которая не подвергается техногенным и пылевым нагрузкам города. Урочище Мухинка представляет собой смешанный лес с преобладанием сосны. Образцы хвои отбирались в промежутках между дождями. Собранные образцы взвешивали, хорошо промывали дистиллированной водой. Смывы фильтровали через предварительно взвешенные обеззоленные фильтры. Фильтры высушивали, взвешивали и отбирали навеску нерастворимой части аэрозольного материала, задерживаемого хвоей, для определения ТМ. Результаты анализов

Бородина Нина Александровна, инженер-исследователь аналитического центра. E-mail: Borodina53@yandex.ru

накопления ТМ в смывах хвои приведены к одному значению – мг/кг хвои, который рассчитывался по формуле: $C=(C_i V):m$, где C_i – содержание элемента, в смыве (мг/дм³); V – общий объем смыва (дм³); m – масса хвои (кг). Хвою озоляли до получения золы белого или серого цвета без обугленных частиц. Для определения ТМ в фильтрате, аликвотную часть фильтрата выпаривали в стеклоуглеродных стаканах до влажных солей.

Содержание ТМ в почве, золе хвои, твердом осадке с фильтров и растворимой части аэрозольного материала, задерживаемого хвоей, определяли после разложения их смесью концентрированных кислот: фтористоводородной, азотной и соляной с последующим растворением в горячем растворе 1 М соляной кислоты [4] методом атомно-абсорбционного анализа на спектрофотометре 1 класса «Хита-чи»-180-50. Свинец и кадмий – на ААС «Анализист 400».

Результаты и их обсуждение. В г. Благовещенске было выделено 5 зон в зависимости от степени техногенного загрязнения.

1. Промышленная или импактная зона (с повышенным техногенным воздействием), где оказывают влияние промышленные предприятия: район Спичфабрики, где расположены мелкие предприятия по деревообработке, Силикатный завод в Белогорье, Судостроительный завод, Мясокомбинат, з-д «Амурский металлост», ЖБИ, ТЭЦ, ЗАО «Асфальт», ж/д вокзал.

2. Дорожная зона – территории, прилегающие к улицам с интенсивным транспортным потоком: площадь Ленина, угол улицы Зейской и 50 лет Октября, АмГУ, Транспортное агентство.

3. Буферная зона – зона слабого техногенного воздействия: все точки Игнатьевского шоссе, Золототвала (1-3), сквер школы № 4, ДальГАУ (сосновый бор), Набережная р.Амур, Моховая падь (бывшее Танковое училище).

4. Рекреационная (или парковая) зона – территории, занимаемые парками, скверами, предназначенные для отдыха населения: Первомайский и Городской парки, сквер ЦЭВ.

5. Фоновая территория – Урочище Мухинка.

ТМ в смывах хвои. В ходе исследования было установлено, что массовая доля ТМ в растворимой части смывов с хвои составляет, в 10⁻³ мг/кг хвои, для Mn – 37-450; Zn – 26-380; Cu – 2,7-38; Cr <2,0-50; Ni <0,5-79; Co <0,5-18; Pb <0,5-47; Cd <0,5-3,8. Для Pb наибольшие концентрации отмечены в импактной и дорожной зонах (от 7,0 до 47,0 мкг/дм³), на фоновой территории – ниже предела обнаружения.

Максимальные содержания Ni – 79,0 мкг/дм³ и Cu – 38,0 мкг/дм³ выявлены в дорожной зоне, что превышает фоновые значения в 46 раз по Ni и в 9 раз по Cu. Для Zn превышение фоновых значений отмечено в дорожной зоне в 2-6 раз, в импактной – в 2-3,6 раз, в буферной – 1,2-2,3 раз.

Проведенный анализ на содержание ТМ в растворимой части аэрозольного материала, задерживаемого хвоей, показал, что по показателю химического загрязнения (Z_c) исследуемые районы города можно расположить в следующий ряд, по убывающей: промышленная зона > дорожная зона > буферная зона > рекреационная зона > фон (рис. 1). Наибольшее значение Z_c растворимой части аэрозольного материала, задерживаемого хвоей, отмечено в районе ЗАО «Асфальт» (Z_c – 144,44), Транспортного агентства (Z_c – 119,01), Судоремонтного завода (Z_c – 75,59), Белогорье, в 200 м от силикатного завода, (Z_c – 68,95). Минимальное загрязнение растворимой части аэрозольного материала, задерживаемого хвоей, отмечено в точках Игнатьевского шоссе (Z_c = 1,65) и Золототвала (3-3) (Z_c = 3,31).

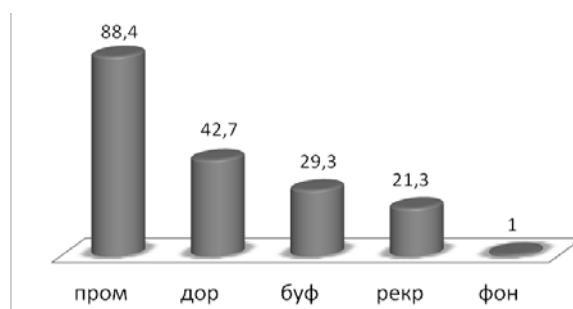


Рис. 1. Суммарный показатель химического загрязнения ТМ (Z_c) в растворимой части аэрозольного материала, задерживаемого хвоей, в разных зонах города

Наибольшее количество твердого осадка в смывах хвои (в % от общего количества смыва) отмечено в районе Транспортного агентства – 0,08%, ЗАО «Асфальт», Белогорье (200 м от силикатного завода) и угол ул. Зейской-50 лет Октября – по 0,04%. Содержание твердого осадка в смывах хвои на данных территориях в 4-8 раз выше, чем на фоновом участке (0,01%). Содержание ТМ в нерастворимой части составляет, в 10⁻³ мг/кг хвои, для Mn – 199-3376; Zn – 69-1532; Cu – 14-316; Cr – 0,4-271; Ni <1,0-279; Co <1,0-67; Pb – 1-409; Cd <1,0-12.

Химический состав нерастворимой части аэрозольного материала, задерживаемого хвоей, показал, что на всех исследуемых территориях города наблюдается превышение фоновых

значений ТМ: по Zn и Cu в дорожной зоне в 4-22 раза, в импактной зоне – в 2-8 раз, в буферной – в 1,5-6 раз; по Mn в дорожной зоне до 12 раз, в импактной – до 6 раз; по Cr в дорожной зоне в 3-16 раз, в промышленной – до 6 раз; по Co и Ni до 79 раз в дорожной зоне и до 20 раз – в импактной. По Pb отмечено превышение в импактной зоне в 13-120 раз, в дорожной – в 3-86 раз, в буферной – 3-50 раз. По суммарному показателю химического загрязнения (Z_c) ТМ исследуемые районы города располагаются следующим образом (рис. 2): дорожная зона > промышленная зона > буферная зона > рекреационная зона > фон.

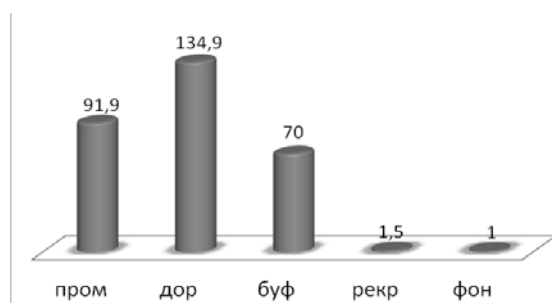


Рис. 2. Суммарный показатель химического загрязнения ТМ (Z_c) нерастворимой части аэрозольного материала, задерживаемого хвоей, в разных зонах города

По показателю химического загрязнения ТМ нерастворимой части аэрозольного материала, задерживаемого хвоей, исследуемые районы города можно расположить в следующей убывающей последовательности: Транспортное агентство ($Z_c = 206,7$), АМГУ ($Z_c = 197,3$), ЗАО «Асфальт» ($Z_c = 172,3$), ДальГАУ ($Z_c = 158,5$). Наименьшее загрязнение ТМ в нерастворимой части аэрозольного материала, задерживаемого хвоей, наблюдается в районе Игнатьевского шоссе ($Z_c = 1,08$) и Золототвала (3-3) ($Z_c = 1,24$). Соотношение ТМ в твердой и растворимой части смывов хвои указывает на то, что данные элементы присутствуют, в основном, в виде осадка на поверхности хвои (рис. 3). Доля Cu, Cr, Mn, Ni, выходящих в раствор, составляет в среднем 15% от общего их количества в смывах хвои, а доля Pb, переходящего в раствор, от 0,5 до 10%. Можно предположить, что водорастворимые формы ТМ поглощаются тканями хвоинок, поэтому процент выхода их в раствор незначителен.

Доля Co и Cd, переходящих в раствор, достигает 60%. Вероятно, данные элементы после смывания их атмосферными осадками будут накапливаться в почвенном растворе в большем количестве, чем остальные ТМ. Несколько иной механизм накопления Zn в растворимой части смывов. На загрязненных

территориях (дорожная зона) в раствор переходит от 4% (угол ул. Зейской-50 лет Октября) до 20% (Транспортное агентство). На фоновых и буферных зонах – около 50%.

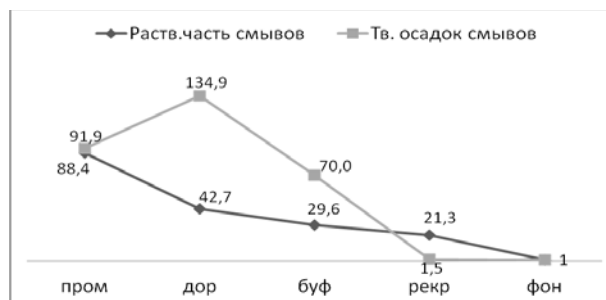


Рис. 3. Суммарный показатель химического загрязнения ТМ (Z_c) в разных зонах города в растворимой и нерастворимой части аэрозольного материала, задерживаемого хвоей

Отмечена также специфика накопления отдельных элементов в хвое. С возрастанием техногенной нагрузки уменьшается концентрация Mn. В зонах автотранспортного загрязнения содержание Mn в среднем (в мг /кг) – 132, в промышленной зоне – 142,4 на всех точках Игнатьевского шоссе от 285,3 до 494,2. Эти территории не подвержены антропогенному влиянию. Отношение Pb/Mn в хвое может является показателем устойчивости растений к техногенному загрязнению. На фоновой территории величина Pb/Mn – 0,002. В буферной зоне это отношение превышает фоновое значение в 1,5-5 раз. С увеличением техногенного загрязнения возрастает отношение Pb/Mn в хвое: в промышленной зоне в 8-19 раз, в дорожной – в 7-33 раза по сравнению с фоном. Максимальный показатель отмечен в районе Транспортного агентства – превышение фона в 33 раза.

Для установления степени влияния элементного состава почвы на химический состав хвои была проведена оценка корреляционной зависимости между содержанием ТМ в золе хвои и их валовым содержанием в почве (табл. 1).

Корреляционная зависимость между накоплением тяжелых металлов в золе хвои и их валовой концентрацией в почве практически отсутствует (табл. 1). Коэффициенты парной корреляции отрицательны для Pb, Cd и Mn, что является следствием в большей степени их атмосферного, а не корневого поступления. Для Cu, Zn, Ni и Co коэффициенты парной корреляции не достоверны и колеблются от 0,02 до 0,26. Для данных элементов возможно поглощение элементов из атмосферы и из почвы. С помощью корреляционного анализа обнаружена значимая прямая связь между концентрацией Cr ($r=0,62$) в хвое с его содержанием в верхнем

горизонте почв (табл. 1). Исходя из этих данных, можно предположить, что накопление Cr в хвое зависит от его содержания в почве. Максимальное его количество выявлено в

точках импактной и дорожной зон, подтверждая связь содержания хрома в хвое с антропогенными источниками [2].

Таблица 1. Корреляционная зависимость между содержанием ТМ в золе хвои и их валовым содержанием в почве

ТМ в почве	ТМ в хвое							
	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni	Co	Pb	Cd
Cu	0,04	-0,27	-0,44	0,29	0,08	-0,38	-0,36	-0,17
Zn	0,31	0,26	-0,25	0,61	-0,09	0,19	-0,01	-0,32
Mn	-0,08	-0,02	-0,26	0,32	-0,01	0,02	-0,20	-0,53
Cr	-0,26	-0,05	-0,56	0,62	-0,25	-0,01	-0,34	-0,77
Ni	-0,10	-0,07	-0,05	0,37	0,02	0,13	-0,20	-0,38
Co	0,03	-0,10	-0,04	0,34	0,14	0,22	-0,06	-0,33
Pb	-0,32	-0,18	-0,40	-0,08	-0,65	-0,42	-0,38	-0,43
Cd	0,20	0,95	-0,23	0,96	0,08	0,88	-0,98	-1,00

Примечание: жирным шрифтом отмечены достоверные коэффициенты корреляции, курсивом – коэффициенты парной корреляции

При техногенном загрязнении окружающей среды увеличивается в хвое и содержание Pb, который является очень токсичным для растений. Полученные результаты исследования накопления Pb в хвое показывают его присутствие практически на всех исследованных территориях, но большие его концентрации отмечены в хвое дорожной зоны, до 2,0 мг/кг (в пересчете на воздушно-сухую массу). По результатам корреляционного анализа можно

предположить, что накопление Pb в хвое является следствием атмосферного поступления этого элемента. Эти данные подтверждаются и другими авторами [2, 5].

Чтобы выявить влияние техногенной нагрузки на поглощение хвоей ТМ из почвы, был рассчитан коэффициент миграции, как отношение концентрации ТМ в хвое (в пересчете на воздушно-сухую массу) к концентрации ТМ в почве (табл. 2).

Таблица 2. Коэффициенты миграции: (min – max) ТМ – числитель, среднее значение – знаменатель

Зоны	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni	Co	Pb	Cd
импактная	<u>4,2-11,6</u> 6,7	<u>1,8-44,5</u> 19,0	<u>2,0-8,5</u> 5,1	<u>0,7-1,1</u> 0,9	<u>0,6-3,3</u> 1,5	<u>0,4-3,3</u> 1,8	<u>0,2-2,4</u> 1,3	<u><2,0-1,3</u> <1,8
дорожная	<u>1,8-6,5</u> 4,1	<u>11,7-24</u> 16,5	<u>2,3-12,2</u> 7,3	<u>0,2-1,8</u> 0,9	<u>0,8-3,7</u> 2,1	<u>0,7-2,2</u> 1,3	<u>0,2-1,6</u> 1,0	<u><2,0-4,0</u> <2,0
буферная	<u>2,7-7,1</u> 4,9	<u>5,2-14,9</u> 11,6	<u>5,3-13,2</u> 8,9	<u>0,2-1,1</u> 0,8	<u>0,6-3,7</u> 2,1	<u>1,5-2,8</u> 2,2	<u>0,4-4,4</u> 1,5	<u><2,0</u> <2,0
рекреационная	4,1	5,4	2,3	1,0	4,3	0,3	0,7	<2,0
фоновая	11,8	56,2	32,8	2,0	1,1	2,3	2,0	1,0

Исходя из данных табл. 2, можно сделать вывод, что с увеличением техногенной нагрузки уменьшается поглощение хвоей сосны ТМ из почвы. Особенно наглядно это прослеживается для Mn, Zn и Cu. Для Cr, Ni, Co, Pb и Cd прямая зависимость между концентрацией элементов в хвое и почве от уровня техногенного загрязнения явно не прослеживается в связи с невысоким уровнем загрязнения города данными элементами. Согласно

значениям коэффициентов миграции исследуемые ТМ образуют следующий ряд: Zn>Mn>Cu>Ni~Co>Pb>Cr>Cd (табл. 2). Проведенный анализ накопления ТМ в минеральном остатке хвои выявил, что содержание их зависит от уровня техногенной нагрузки и специфики хвои накапливать определенные элементы.

Выводы: в результате исследования смывов аэрозольного материала, задерживаемого хвоей, и минерального состава золы хвои установлено, что содержание ТМ коррелирует со степенью техногенного загрязнения. Под влиянием техногенного пресса изменяется элементный состав хвои, происходит накопление загрязнителей в ассимиляционных органах, снижается содержание биофильных элементов (Mn). Результаты исследования химического состава смывов и золы хвои показывают, что в г. Благовещенске можно выделить несколько локальных участков сильного загрязнения, относящихся к промышленной и дорожной зонам: район Транспортного агентства, Белогорье, ЗАО «Асфальт», угол улицы Зейская – 50 лет Октября.

Обобщая данные уровня загрязнения смывов и золы хвои на исследуемых территориях, можно отметить, что даже на удалении от источников загрязнения в атмосфере города содержатся загрязняющие вещества. Основными загрязнителями окружающей среды города являются выбросы предприятий теплоэнергетики и автотранспорта, которые в виде аэрозолей и пыли оседают в окружающей среде, в т.ч. и на ассимиляционном аппарате сосны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Доклад об охране окружающей среды и экологической ситуации в Амурской области за 2011 год. – Благовещенск, 2012. 118 с.
2. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. 439 с.
3. Кулагин, Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. – М.: Наука, 1974. 125 с.
4. Обухов, А.И. Атомно-абсорбционный анализ в почвенно-биологических исследованиях / А.И. Обухов, И.О. Плеханова. – М.: МГУ, 1991. 84 с.
5. Санина, Н.Б. Эколого-геохимическая обстановка окрестностей Усть-Илимской ТЭЦ (Иркутская обл.) / Н.Б. Санина, Ю.К. Ланкин, И.В. Матвеева // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2007. № 2. С. 124-136.
6. Черненко, Т.В. Методика комплексной оценки состояния лесных биогеоценозов в зоне влияния промышленных предприятий // Пограничные проблемы экологии. Сб. научных трудов. – Свердловск: УНЦ АН СССР. 1986. С. 116-127.
7. Ярмишко, В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. – СПб.: 1997. 210 с.
8. Hanich, B. Waldschaden erkennen. Fichte und Kiefer / B. Hanich, E. Kilz. – Stuttgart: 1990. 344 p.

ACCUMULATION OF HEAVY METALS BY PINE NEEDLES IN URBAN ECOSYSTEM OF BLAGOVESHCHENSK CITY

© 2012 N.A. Borodina

Institute of Geology and Nature Use FEB RAS, Blagoveshchensk

Aerogenic pollution of pine needles (*Pinus silvestris*) by heavy metals in urban ecosystem of Blagoveshchensk city is investigated. Features of accumulation of Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Co, Pb and Mn in pine needles depending on extent of technogenic pollution are revealed.

Key words: *needles, pine, heavy metals, technogenic pollution*