

Г. К. Галямова

Zn, Cu, Pb В ХВОЕ *PICEA OBOVATA* LEDEB. В УСЛОВИЯХ ГРАДИЕНТНОГО АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РИДДЕРСКОГО ЦИНКОВОГО ЗАВОДА

Рассмотрены особенности накопления цинка, свинца и меди хвоей *Picea obovata* Ledeb. в зависимости от расстояния до источника выбросов загрязняющих веществ. Дана характеристика особенностей накопления данных металлов разновозрастной хвоей ели в зависимости от сезона года.

Ключевые слова: хвоя, древесные растения, загрязнения, аккумуляция, тяжелые металлы (ТМ).

ВВЕДЕНИЕ

Биогеохимические исследования в настоящее время стали неотъемлемой частью техногенных измененных систем. П. В. Елпатьевский говорил о геотехнических системах как о природно-техногенных полигонах для исследований геохимических процессов, которые можно рассматривать как нецеленаправленные эксперименты, поставленные современным промышленным производством [1].

Ярким примером такого техногенного полигона является Риддерский цинковый завод. Риддерский цинковый завод АО «Казцинк» оказывает значительное влияние на экологическое состояние в Лениногорской впадине. Вынос в атмосферу пыли из отвалов Риддерского промышленного комплекса колеблется от 0,5–1,5 тыс. га, что в среднем составляет 113 тыс. т. Высокие пылевые нагрузки 1000 кг/км² в сутки и более соответствуют чрезвычайно опасной степени загрязнения атмосферы [2].

На основе химического состава ассимилирующих органов древесных растений может быть выявлен дефицит или токсичность элементов для растений и проведена диагностика состояния лесного фитоценоза [3, 4]. Несмотря на относительно малую долю хвои в массе отдельно взятого дерева (до 10 %), ее биохимическая роль как фотосинтезирующего органа, представляющего собой основной источник образования основных органических соединений, чрезвычайно велика. Благодаря высокочувствительному листовому аппарату хвоя способна накапливать большие количества ТМ, поступающих как с аэральным потоком, так и с корневым поглощением почвенных растворов, что делает ее важным звеном в биогеохимическом цикле металлов. В связи с этим была поставлена цель – оценить уровень накопления цинка, меди и свинца хвоей *Picea obovata* Ledeb. в условиях градиентного аэротехногенного загрязнения Риддерского цинкового завода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужила хвоя ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), произрастающая в зоне влияния Риддерского цинкового завода АО «Казцинк» (рис. 1). Географические координаты

завода района исследований: 50° 21' с. ш. и 83° 31' в. д.

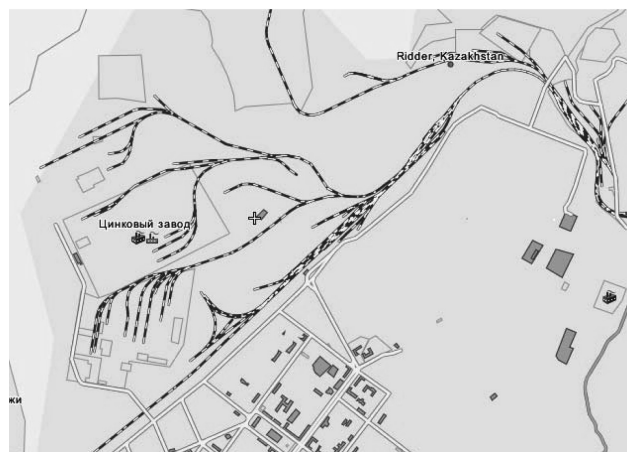


Рис. 1. Карта-схема расположения Риддерского цинкового завода

Была отобрана хвоя ели на 7 модельных площадках, расположенных в нарастающем удалении от завода на расстоянии 0,5; 1,0; 1,5; 3,0; 5,0 км по розе ветров (северо-восток и юго-запад). В качестве фона служила хвоя ели сибирской, отобранная на расстоянии 60 км в противоположную сторону от розы ветров. Отбор проб был произведен с елей 30–50-летнего возраста. Все деревья представительны для деревьев в точке наблюдения, то есть отбирали пробы только со здоровых живых растений, на которых не наблюдалось некротических тканей, механических повреждений, признаков болезней. Хвоя для изучения отбиралась из средней части кроны с разных сторон с пяти-семи модельных деревьев, что методически допустимо. Хвою разбирали по возрастным фракциям до 4-го года включительно, промывали дистиллированной водой для удаления элементов, осаждающихся на поверхности хвои. После сушки при комнатной температуре и озоления в муфельной печи при 450 °С пробы вскрывали разбавленной HCl (1 : 1) [5, 6]. Всего было отобрано 56 проб хвои ели.

Содержание химических элементов в хвое определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии в плазменном варианте атомизации на приборе ААС «Квант-2А».

Статистическая обработка полученных в ходе исследования данных проводилась по Плохинскому [7] с использованием программы Microsoft Excel.

При обработке данных использовали следующие статистические показатели: n – число проб; X – средняя арифметическая; \bar{x} – ошибка средней арифметической; V – коэффициент вариации; lim – пределы колебаний; r – коэффициент корреляции.

Для детального изучения выбраны свинец, цинк, медь, являющиеся ТМ и относящиеся к числу приоритетных загрязнителей Риддерского цинкового завода.

С одной стороны, медь, цинк участвуют во многих биологических процессах и в небольших количествах необходимы для функционирования растений, животных и человека. С другой стороны, повышенное содержание в тканях химических элементов может оказывать вредное воздействие на живой организм и приводит к серьезным заболеваниям. Свинец является известным токсикантом, канцерогеном и мутагеном.

Проведенный анализ позволяет судить о высокой аккумулялирующей способности исследуемого вида ели, что объясняется биологическими особенностями хвойных деревьев и активным влиянием техногенеза. Данный факт находит подтверждение в работах многих исследователей [8–10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что содержание (мг/кг) Zn в хвое ели с учетом различного направления от завода ва-

рьирует от 66,2 до 588,1; Pb – от 4,1 до 608; Cu – от 3,6 до 20 (табл. 1).

Коэффициент вариации (%) Zn в хвое *Picea obovata* Ledeb. составляет 41,3; Си – 51; Pb – 109,8.

По величине среднего содержания в хвое ели исследуемые ТМ располагаются в следующий убывающий ряд: Zn > Pb > Cu.

Среднее содержание цинка в хвое *Picea obovata* Ledeb. превышает фоновый уровень в 6,2 раза, свинца – в 38,8 раза, меди – в 2 раза.

Нами был проведен сравнительный анализ полученных экспериментальных данных с кларком растительности, предложенным В. В. Добровольским [11]. В хвое ели сибирской средняя концентрация цинка в 5,9 раза превышает кларк цинка в растительности континентов (50 мг/кг – по В. В. Добровольскому), свинца – в 54,3 раза (2,5 мг/кг), а содержание меди в хвое практически соответствует уровню концентраций в растительности континентов.

Результаты исследования показали, что содержание цинка, свинца остается высоким в радиусе 5,0 км от завода и соответствует токсичному уровню (мг/кг): цинка – 150–400, свинца – 30–300 [12]. Концентрация цинка в хвое превышает фоновый уровень на расстоянии 1,0 км в 5,9–9,4 раза, а на расстоянии 5,0 км – в 5,8–6,2 раза; свинца в 7,4–143,2 и 3–17,9 раза соответственно (табл. 2, 3).

Широкие вариации отклонения средних значений для вышеперечисленных металлов свидетель-

Таблица 1

Содержание цинка, меди и свинца в хвое *Picea obovata* Ledeb. вблизи Риддерского цинкового завода

Металл	lim	$X \pm \bar{x}$	σ , мг/кг	V , %	Фон	Содержание в растительности континентов, мг/кг [11]
Zn	66,2–588,1	296,6 ± 17	122,6	41,3	47,7	50,0
Pb	4,1–608	135,7 ± 20,7	149	109,8	3,5	2,5
Cu	3,6–20	8,9 ± 0,6	4,5	51	4,3	10,0

Примечание. X – среднее арифметическое; \bar{x} – ошибка среднего арифметического; σ – стандартное отклонение; V – коэффициент вариации; lim – пределы колебаний.

Таблица 2

Содержание цинка, меди и свинца в хвое *Picea obovata* Ledeb., отобранных в северо-восточном (СВ) ($n = 12$) и юго-западном (ЮЗ) направлении ($n = 16$) от Риддерского цинкового завода (летний период)

Металл	0,5 км – СВ	1,0 км – СВ	1,5 км – СВ	0,5 км – ЮЗ	1,0 км – ЮЗ	3,0 км – ЮЗ	5,0 км – ЮЗ
Zn	270 ± 32 (24) 191,6–333,1	281,2 ± 53 (38) 204,4–440,5	387,7 ± 69 (36) 244,1–576	321,1 ± 70 (44) 201,5–518,1	408,6 ± 71 (35) 244,2–588,1	118,3 ± 9,3 (15) 91,9–132,1	296,3 ± 41 (28) 197,7–385,1
Pb	28,8 ± 3,2 (22) 21–35,1	25,9 ± 7,5 (58) 15–48	273,5 ± 60 (44) 116–405	95 ± 27 (57) 40–150	66,6 ± 15,7 (47) 20,1–89	34,5 ± 3,9 (23) 23–40	10,7 ± 4,2 (79,1) 4,1–23,1
Cu	6,6 ± 0,7 (22) 4,8–8,4	8,2 ± 0,6 (15,4) 7–9,9	16 ± 2,2 (28) 10–20	11,6 ± 1,3 (23) 8,9–14,1	7,5 ± 0,7 (19,4) 5,7–9,1	4,1 ± 0,1 (2,5) 3,9–4,1	4,1 ± 0,2 (7,8) 3,7–4,3

Примечание. В данной таблице и в табл. 3, 4 в числителе – среднее арифметическое и его ошибка, мг/кг; в скобках – коэффициент вариации, %; в знаменателе – пределы колебаний, мг/кг.

Таблица 3

Содержание цинка, меди и свинца в хвое *Picea obovata* Ledeb., отобранных в северо-восточном (СВ) ($n = 8$) и юго-западном (ЮЗ) направлениях ($n = 16$) от Риддерского цинкового завода (зимний период)

Металл	0,5 – СВ	1,5 – СВ	0,5 – ЮЗ	1,0 – ЮЗ	3,0 – ЮЗ	5,0 – ЮЗ
Zn	$372,5 \pm 12$ (6,6) 337–393	$334,2 \pm 35,9$ (22) 240–409,5	$206,6 \pm 14,3$ (14) 178,6–238,1	$448,4 \pm 25$ (11) 411,5–523	$133,3 \pm 32$ (48) 66,2–211,7	$278,2 \pm 12$ (8,9) 256–313
Pb	$95,5 \pm 6,5$ (13,6) 82–111	$341,9 \pm 8,3$ (4,8) 321–361	$150 \pm 30,2$ (40) 64–201	$501,2 \pm 37$ (15) 436,8–608	$77,6 \pm 11,7$ (30) 48–105,3	$62,6 \pm 9,4$ (30) 44–81,5
Cu	$7,9 \pm 0,6$ (15,6) 6,7–9,6	$15,4 \pm 0,4$ (5,5) 14,2–16,2	$8,03 \pm 0,35$ (8,7) 7–8,5	$15,6 \pm 0,6$ (8) 14,6–17,4	$4 \pm 0,2$ (7,7) 3,6–4,2	$6,3 \pm 0,1$ (3,4) 6,2–6,6

ствуют о высоком уровне приспособленности ели к загрязнению и наличию не изученных еще механизмов блокировки токсического действия поглощенных металлов в зависимости от влияния других факторов среды, питательного режима или защитных механизмов самого растения (барьерные функции, избирательный перенос и переотложение, выведение металлов из зон роста).

Со сменой концентрации и расстояния меняется и коэффициент варьирования V . Так, V меди в летний период уменьшается в 2,8 раза, цинка – в 1,6 раза (юго-запад) по мере удаления от завода, а у свинца наблюдается резкий скачок V на расстоянии 1,0; 5,0 км (табл. 2, рис. 2).

В зимний период V меди в 1,8 раза, свинца в 1,33 раза уменьшается по мере уменьшения их со-

держания в хвое и соответственно удаления от завода, а у цинка наблюдается подъем V на расстоянии 3,0 км (табл. 3, рис. 2).

Такой характер варьирования указанных элементов обуславливается процессами конвенции воздушных потоков.

Для деревьев на расстоянии 0,5–5,0 км от завода характерно закономерное увеличение концентраций цинка, свинца и меди с возрастом хвои ели. Как показали результаты исследований, концентрация Zn, Pb, Cu максимально накапливается в летний период в хвое 3–4 года, минимально – 1 и 2 года. Так, содержание цинка, свинца в хвое текущего года вблизи завода превышает фоновые значения в 1,5–13 раз, а в хвое четвертого года – в 2,2–31,8 раза.

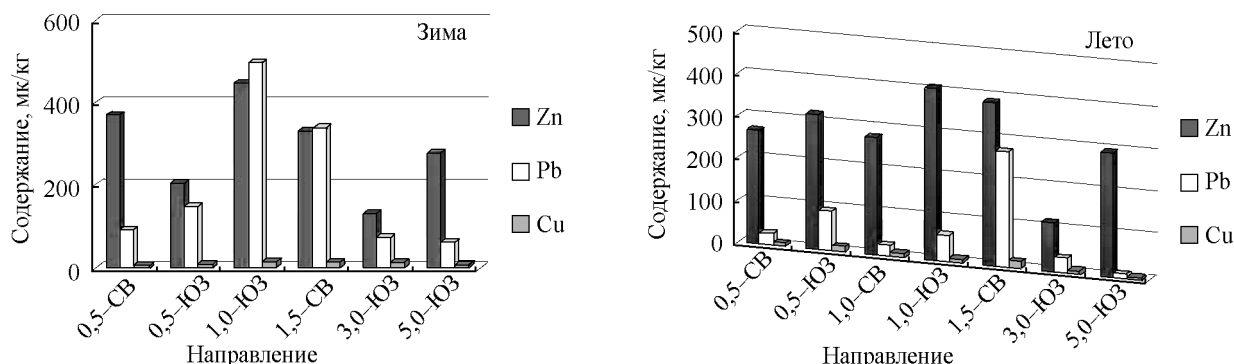


Рис. 2. Содержание цинка, свинца, меди в хвое *Picea Obovata* Ledeb. в зависимости от направления от Риддерского цинкового завода в зимний и летний периоды

Таблица 4

Содержание цинка, свинца и меди в хвое *Picea obovata* Ledeb. в зависимости от возраста и сезона года

Элемент	Сезон года	Хвоя 1-го года	Хвоя 2-го года	Хвоя 3-го года	Хвоя 4-го года
Zn	Лето	$196,5 \pm 19,6$ (25,9) 91,9–244,2	$263,5 \pm 33,4$ (32,9) 119,4–370,4	$309,3 \pm 36,7$ (30,9) 132,1–431,8	$421,1 \pm 62,8$ (38,8) 129,9–588,1
	Зима	$297,2 \pm 41,4$ (33,4) 178,6–435,7	$268,5 \pm 41,1$ (36,8) 156,8–423,2	$311,3 \pm 60,9$ (47) 98,6–523	$305,2 \pm 56,4$ (44,3) 66,2–411,5
Pb	Лето	$34,2 \pm 14,5$ (110,1) 4,1–116	$71,5 \pm 35,9$ (130,5) 7,1–276	$88,8 \pm 38,9$ (113,9) 8,5–297	$111,2 \pm 52,5$ (122,8) 23,1–405
	Зима	$201,6 \pm 60$ (71,4) 81,5–436,8	$211,3 \pm 70$ (79,5) 76–484	$207,8 \pm 95,2$ (109,9) 49–608	$198,5 \pm 73,9$ (89,3) 44–476
Cu	Лето	$6,5 \pm 0,9$ (37,4) 3,9–10	$8,3 \pm 1,9$ (60,5) 3,7–18,5	$9,1 \pm 1,7$ (48,9) 4,1–15,6	$9,4 \pm 2,2$ (61,3) 4,1–20,0
	Зима	$9,4 \pm 1,8$ (46,2) 3,6–14,6	$9,5 \pm 2$ (49,8) 3,8–15,5	$9,7 \pm 2,3$ (55,9) 4,2–17,4	$9,6 \pm 2,1$ (53,8) 4,2–16,2

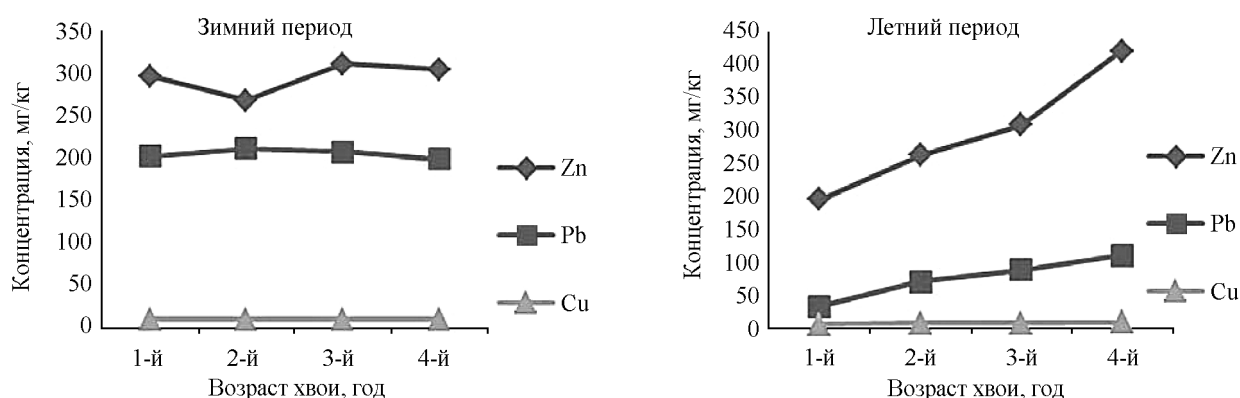


Рис. 3. Концентрация цинка, свинца и меди в хвое *Picea Obovata* Ledeb. в зависимости от возраста и сезона года

Установлено, что содержание Zn в хвое ели в летний период значительно выше, чем в зимний.

В зимний период содержание Pb в хвое ели выше, чем летом, а в концентрации Cu в хвое ели существенной разницы по сезонам года не наблюдается (табл. 4, рис. 3).

Возрастная динамика определяется различной активностью процессов метаболизма, зависящих от гидрометеорологических условий разных сезонов года, так и концентрациями меди, цинка и свинца в атмосфере [8–10].

С целью выявления коррелятивных связей между содержанием меди, цинка и свинца в хвое ели сибирской были рассчитаны соответствующие парные коэффициенты корреляции. Для указанных пар ТМ в хвое ели *Picea obovata* Ledeb. выявлена статистически значимая достоверно-положительная связь (высокая связь между свинца с медью $r = 0,9$, средняя – цинка со свинцом, медью $r = 0,6$).

ВЫВОДЫ

1. Показано накопление ТМ хвоей ели *Picea obovata* Ledeb. в зависимости от расстояния от завода. На расстоянии до 5,0 км от завода наблюда-

ются повышенные концентрации цинка, свинца в хвое, что соответствует их токсичному уровню. Концентрация цинка превышает фоновый уровень на расстоянии 1,0 км в 5,9–9,4 раза, а на расстоянии 5,0 км – в 5,8–6,2 раза; свинца – в 7,4–143,2 и 3–17,9 раза соответственно.

2. Выявлена зависимость концентрации меди, цинка и свинца от возраста и сезона года хвои. Максимальное накопление данных металлов отмечено в старой хвое и минимальное содержание – в молодой хвое. Содержание цинка, свинца в хвое текущего года вблизи завода превышает фоновые значения в 1,5–13 раз, а в хвое четвертого года в – в 2,2–31,8 раза. Содержание Zn в хвое ели в летний период значительно выше, чем в зимний. В зимний период содержание Pb выше, чем летом, а концентрация Cu в хвое ели существенной разницы по сезонам года не наблюдается.

3. Элементный состав хвои ели *Picea Obovata* Ledeb. отражает атмосферное загрязнение окружающей среды медью, цинком и свинцом и может выступать в качестве индикатора современного аэротехногенного загрязнения Риддерского цинкового завода.

Список литературы

1. Елпатьевский П. В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М.: Наука, 1993. 253 с.
2. Демченко А. И., Соляник В. П., Тихоненко В. И. Отчет по теме «Оценка техногенного загрязнения территории Восточно-Казахстанской области промышленными предприятиями и транспортом», Усть-Каменогорск, 2000. С. 57–60.
3. Сухарева Т. А. Макро- и микроэлементы в хвое ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в условиях аэротехногенного загрязнения на Кольском полуострове // Кольский полуостров на пороге третьего тысячелетия: проблемы экологии. Апатиты: КНЦ РАН, 2003. С. 151–158.
4. Афанасьева Л. В. Влияние аэротехногенного загрязнения на накопление тяжелых металлов в хвое сосны обыкновенной в бассейне р. Селенги // Химия в интересах устойчивого развития. 2007. Т. 15, № 1. С. 25–31.
5. Программа и методика биогеоценологических исследований. М.: Наука, 1974. 400 с.
6. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеиздат, 1981. 108 с.
7. Плохинский Н. А. Биометрия. М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с.
8. Лукина Н. В., Никонов В. В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 1998. 316 с.

9. Лукина Н. В., Никонов В. В. Поглощение аэротехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова // Лесоведение. 1993. № 6. С. 34–4.
10. Михайлова Т. А., Бережная Н. С., Игнатьева О. В., Шергина О. В. Влияние промышленных выбросов на ассимиляционный аппарат и фотосинтез в сосновых насаждениях Восточной Сибири // Успехи современной биологии. 2006. Т. 126, № 2. С. 213–224.
11. Добровольский В. В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М., 1983. 272 с.
12. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: пер с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.

Галямова Г. К., эколог.

ТОО «Тулпар-Тальго».

Индустриальный парк, Астана, Республика Казахстан, 480000.

E-mail: galym.g@mail.ru

Материал поступил в редакцию 04.09.2012.

G. K. Galyamova

**Zn, Cu, Pb IN FIR-NEEDLES OF PICEA OBOVATA LEDEB IN THE GRADIENT AERO MAN-TRIGGERED
POLLUTION OF THE RIDDER ZINC PLANT**

The author describes peculiarities of metal accumulation in spruce needles depending on the distance to the source of pollutant emissions. The author defines characteristic features of the accumulation of metals, mixed-age conifers, depending on the season.

Key words: *needles, woody plants, pollution, accumulation of heavy metals.*

Tulpar-Talgo LLP.

Industrial Park, Astana, Respublika Kazakhstan, 480000.

E-mail: galym.g @ mail.ru