

УДК [504.53+504.73].05: 633.877.3(470.54)(045)

*О.В. Толкач*

## **МОНИТОРИНГ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ПРОФИЛЮ ПОЧВ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ г. ПЕРВОУРАЛЬСКА (СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) ИОНОВ МЕДИ, СВИНЦА И ЦИНКА В ЗОНЕ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ<sup>1</sup>**

Представлены результаты 10-летнего мониторинга аккумуляции тяжелых металлов в зоне эмиссии техногенного загрязнения г. Первоуральска Свердловской области. Исследование проведено по градиентам загрязнения в сосновых насаждениях лесопарковой и зеленой зон города с целью изучения аккумуляции ионов меди, свинца, цинка в почвенных профилях дерново-слабоподзолистых почв. Установлено, что основная масса металлов накапливается в подстилке и в незначительном количестве мигрирует вниз по профилю. Загрязнение почвы подвижными формами ионов свинца и цинка за период наблюдений возросло в 2–4 раза. Исследование отношения подвижных форм меди к ее валовому содержанию в почве показало, что на фоне значительного увеличения валовых форм меди до 263 % доля подвижных форм составляет только 5–17 %. Выявлена достоверная корреляция кислотности почвы в диапазоне pH 3,97–5,71 с подвижными формами ионов меди и цинка. Полученные данные свидетельствуют о выведении из миграционного потока и депонировании лесными почвами поллютантов 1 и 2 классов опасности, что способствует замедлению загрязнения территории.

*Ключевые слова:* почва, поллютанты, медь, свинец, цинк, подвижные формы, валовые формы, г. Первоуральск.

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-3-303-311

Уральский регион насыщен крупными градопромышленными агломерациями, зоны влияния которых взаимно перекрываются, что способствует более сильному воздействию техногенных процессов на среду. Одно из свойств леса – способность к консервации поллютантов является наиболее значимой альтернативой отрицательному воздействию на природу [1–3]. Оно позволяет вывести часть поллютантов из вертикальных и горизонтальных миграционных потоков и депонировать их в лесных биогеоценозах. Для разных географических условий распределение миграционного потока поллютантов весьма специфично. В процессе консервации поллютантов большое значение имеют все компоненты лесного насаждения как цельная система биофильтра. В первую очередь лесной полог, выступая как механический фильтр, задерживает и выводит из атмосферы аэрозольные и пылеватые частицы [4–6]. Кроме механической фильтрации как в древесном ярусе, так и в остальных компонентах насаждений, в зонах загрязнения происходит накопление поллютантов в растениях и уменьшение их миграционного потока. При механической фильтрации и при аккумуляции поллютантов растениями (за исключением древесины) в конечном итоге они поступают в почву, и таким образом в наибольшей степени там накапливаются. Максимальная концентрация поллютантов отмечается в верхних слоях почвы (лесной подстилке и гумусовом горизонте) мощностью 0–5, 0–15 см [7; 8].

Основную экологическую роль в регулировании миграционных потоков поллютантов в лесных экосистемах играет почва, а доминирующими загрязнителями на биосферном уровне являются тяжелые металлы [9–12], которые, по мнению ряда ученых [13–15], представляют большую опасность в сравнении с другими ингредиентами промышленных выбросов, учитывая их распространенность и токсичность. Повышенная сорбционная способность, буферность, способность к самоочищению наблюдаются в почвах богатых органикой [16–19]. Аккумулирующие способности почвы находятся в динамике, и с увеличением длительности техногенной нагрузки снижается способность системы к консервации поллютантов. В этих условиях на первый план выступает задача мониторинга динамики поллютанто-депонирующей роли лесов.

Цель исследования оценить процесс накопления в почвенном профиле дерново-слабоподзолистой почвы ионов меди, цинка, свинца в зоне техногенного воздействия промышленных предприятий г. Первоуральска.

<sup>1</sup> Исследование выполнено в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН. Номер государственной регистрации: АААА-А17-117072810009-8.

### Объект и методы исследований

Исследования проведены в сосновых насаждениях на территории лесопарковых и зеленых зон г. Первоуральска Свердловской области (подзона южной тайги Средний Урал). Для наблюдения за динамикой содержания поллютантов в почвенных профилях на исследуемой территории были заложены постоянные пробные площади (ППП) с учетом градиента загрязнения. При подборе ППП была использована карта загрязнения подвижными формами меди в гумусовом слое почвы. Почвы ППП – дерново-слабоподзолистые, слабощебнистые, горно-лесные суглинистые на элювии горных пород. Глубина почвенного профиля (горизонты А – С) составляет 65–116 см. Характеристика древостоев ППП приведена в табл. 1. Тип леса – ельник-сосняк ягодниковый.

Таблица 1

#### Характеристика постоянных пробных площадей

№ ППП	ПДК* меди,	Состав	Высота, м	Диаметр, см	Класс возраста	Полнота	Класс бонитета
1	3	9С1Е+Б	25	26	V	0,8	I
2	3	9С1Е	23	28	V	0,8	I
3	10	7С1Е2Б	27	32	V	0,8	I
4	10	8С1Л1Е+Е+Л	28	38	VII	0,7	II
5	100	8С1П1Б+Е+Л	29	30	V	0.8	II
6	100	7С2Л1Е	26	36	VII	0.7	II

*Примечание:* \* – предельно допустимая концентрация (ПДК) в почве подвижных форм меди, извлекаемых из почвы ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8 соответствует 3 мг/кг почвы.<sup>2</sup>

Пробные площади закладывали в соответствии с теоретическими положениями лесной таксации и согласно ОСТ 56–69–83<sup>3</sup>. Типологическое описание пробных площадей сделано с учетом лесорастительного районирования Б.П. Колесникова [21], а также согласно методическим указаниям В.Н. Сукачева и С.В. Зонна [22].

Для характеристики почвы при мониторинге загрязнения и анализе соотношения подвижных и валовых форм основных поллютантов на каждой ППП закладывали почвенный разрез и проводили его морфологическое описание по генетическим горизонтам. Для химического анализа отбирали образцы из 15 прикопок и формировали смешанный почвенный образец. В образцах определяли актуальную и потенциальную кислотность. Определение содержания подвижных форм (медь, свинец, цинк), экстрагируемых ацетатно-аммонийным буферным раствором, и валовых форм меди в почвенных образцах проведено лабораторией Федерального государственного учреждения Государственный центр агрохимической службы «Свердловский» на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Спектр 5-4» согласно РД 52.18.289-90 и РД 52.18.685-2006<sup>4,5</sup>. Статистическая обработка материалов проведена в программе «Statistica10».

### Результаты и их обсуждение

Территория г. Первоуральска и его пригородных лесов достаточно долго и с разной интенсивностью подвергается загрязнению аэропромышленными выбросами, которые состоят из твердых и

<sup>2</sup> МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания (утв. Минздравом РФ 07.02.1999). М.: Минздрав РФ, 1999. 38 с.

<sup>3</sup> ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустойчивые. Метод закладки (утв. и введен в действие приказом Государственного комитета СССР по лесному хозяйству от 23 мая 1983 г., № 72). М.: Центральное бюро НТИ Гослесхоза СССР, 1983. 14 с.

<sup>4</sup> РД 52.18.289-90. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом (введен 01.06.1991). М.: Государственный комитет СССР по Гидрометеорологии, 1990. 36 с.

<sup>5</sup> РД 52.18.685-2006. Методические указания. Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. М.: Росгидромет, 2008. 33 с.

газообразных поллютантов. Приоритетный газообразный поллютант – сернистый ангидрид. Пылевые частицы содержат: 44,4 % меди, 32,4 % цинка, 12,1 % мышьяка, 10,1 % свинца (данные заводской лаборатории за 80-90-е гг.) [20].

Насаждения в этой зоне не имеют визуальных признаков деградации. Основным источником эмиссии поллютантов является СУМЗ, наряду с другими точечными источниками – заводами Первоуральска, из которых наиболее негативной репутацией у жителей города пользуется завод «Русский хром 1915».

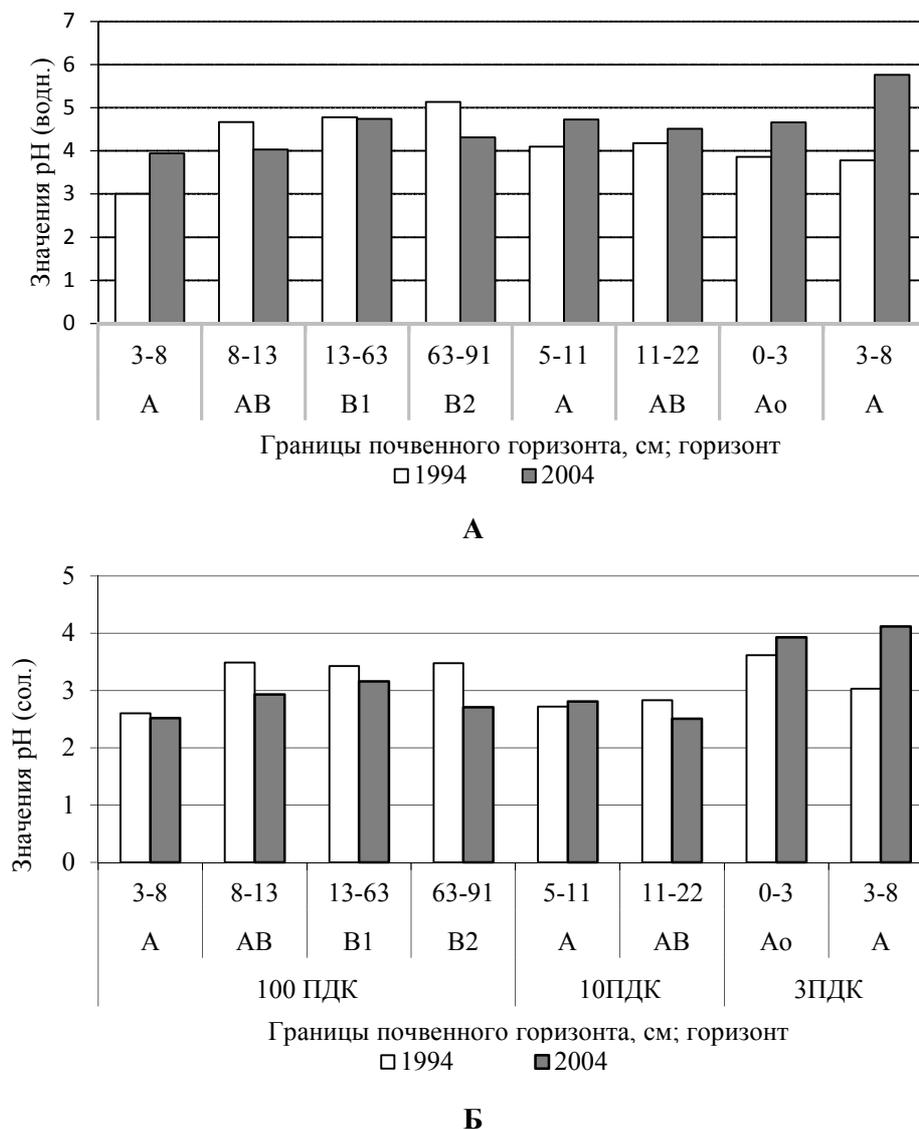


Рис. 1. Изменение водной (А) и солевой (Б) рН в дерново-слабоподзолистой слабощебнистой суглинистой почве под влиянием комплексного техногенного загрязнения г. Первоуральска

В зеленой зоне г. Первоуральска на ППП проводился мониторинг накопления приоритетных тяжелых металлов (медь, свинец, цинк) в почвенных профилях. Особое внимание уделено изучению временной динамики и соотношения накопления валовых и подвижных (обменных) форм меди как приоритетного загрязнителя в почвах лесных насаждений. О степени загрязнения почвы медью судили относительно предельно допустимых концентраций (ПДК). Содержание тяжелых металлов в валовой и подвижной формах определялось в основном в подстилке и горизонте А как основных депо поллютантов. В отдельных случаях анализ содержания тяжелых металлов был выполнен на всю глубину почвенного профиля по генетическим горизонтам. Параллельно учитывались актуальная и обменная кислотность почвы. Определение последней представляет интерес, т. к. в техногенной зоне г. Первоуральска в связи с выбросами окислов азота и двуокиси серы возможно выпадение «кислотных

дождей», вызывающих извлечение тяжелых металлов из почвенного поглощающего комплекса. По градиенту загрязнения рассматривалось влияние кислотности почвы на содержание подвижных форм элементов, их взаимная корреляция при распределении по профилю.

В результате сравнительного анализа кислотности почвы было отмечено, что с течением времени в поверхностных слоях почвы (гор. А, до 8 см) увеличивается значение рН (рис. 1). Основной причиной этого процесса может быть снижение объемов производства в 90-е гг. [20]. С увеличением глубины профиля на наиболее сильно загрязненном участке (100 ПДК–ППП 6) показатели рН почвы снижаются.

Известно, что кислотность почвы определяет содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве, и ее увеличение способствует мобилизации тяжелых металлов. Корреляция между этими показателями имеет обратно пропорциональную связь. Согласно данным табл. 2, достаточно тесная зависимость установлена между подвижными ионами меди с актуальной (-0,58) и обменной кислотностью (-0,55). Содержание ионов цинка в подвижной форме коррелирует только с актуальной кислотностью (-0,46), но эта зависимость менее тесная, чем у ионов меди. Содержание ионов свинца не зависит от динамики кислотности почвы в диапазоне рН 3,97–5,71. Кислотные осадки могут влиять только на обменные формы меди и не действуют в исследованном диапазоне кислотности на мобилизацию ионов цинка и свинца.

Между содержанием подвижных форм рассмотренных металлов отмечается достаточно тесная и достоверная корреляция со следующими значениями коэффициентов: медь – цинк 0,65, медь – свинец 0,54, цинк – свинец 0,90. Такая корреляционная зависимость могла возникнуть вследствие единого источника (сорбция тяжелых металлов на пылевых частицах) загрязнения и однотипного распределения тяжелых металлов по почвенному профилю. Причем складывается впечатление, что эмиссия цинка и свинца и их распределение в почве происходит более синтопно, чем меди. Возможно наличие их дополнительного источника поступления.

Таблица 2

**Коэффициенты корреляции между кислотностью почвы и содержанием подвижных форм тяжелых металлов**

Элемент	рН		n
	Водная	Солевая	
Медь	-0,58	-0,55	28
Цинк	-0,46	-0,25*	23
Свинец	-0,02*	-0,35*	15

*Примечание:* \* – корреляция не достоверная.

Скопление основной массы исследуемых тяжелых металлов в подстилке является признаком техногенного загрязнения. Из анализа долевого распределения в почвенном профиле тяжелых металлов следует, что активной миграции подвижных форм металлов вниз по профилю не наблюдается. Наиболее статичными в этом плане являются ионы свинца. В лесной подстилке их содержится от 68 до 100 %. Возможно, в горизонте А этот элемент депонируется в более прочно сорбированных формах. Ионы цинка (подвижные формы) мигрируют до глубины 50–90 см, где их можно обнаружить в количестве от 1,75 до 17,5 мг/кг почвы. Однако в основном цинк накапливается в лесной подстилке (47–86 %). Так же в подстилке отмечается высокое содержание ионов подвижных форм меди, где их доля составляет 65–84 % от суммарного количества, обнаруженного в почвенном профиле. Содержание меди в горизонте А, как правило, уменьшается в два и более раз по сравнению с лесной подстилкой, хотя иногда содержание элемента в этом горизонте и лесной подстилке различается незначительно (ППП 3/94 различия составляют 13 %). На глубине 40–50 см отмечено содержание ионов меди до 59 мг/кг, а на глубине 51–90 см – 0,95–3 мг/кг.

Поскольку медь является основным загрязнителем территории, поэтому представляет интерес установить степень подвижности ее обменных форм и сорбционную способность почв, как отношение подвижных форм ионов меди к ее валовому содержанию, выраженному в процентах. Это позволит выявить насыщенность почвы ионами меди, вовлекаемой в миграционные потоки, в том числе поступающие в гидрологическую сеть. При обращении к рис. 2 видно, что наибольшее доленое участие подвижных форм 30–35 % от валовых обнаружено в лесной подстилке сильнозагрязненной

ППП 6. Нижележащий горизонт так же содержит значительную долю подвижных ионов меди относительно валовых – 23 %. Возможно, аккумулярующие свойства почвы на этом участке уже достигли или достигают предела насыщения. Ситуация достаточно неблагоприятная, поскольку ППП 6 находится рядом с водозаборным водоемом.

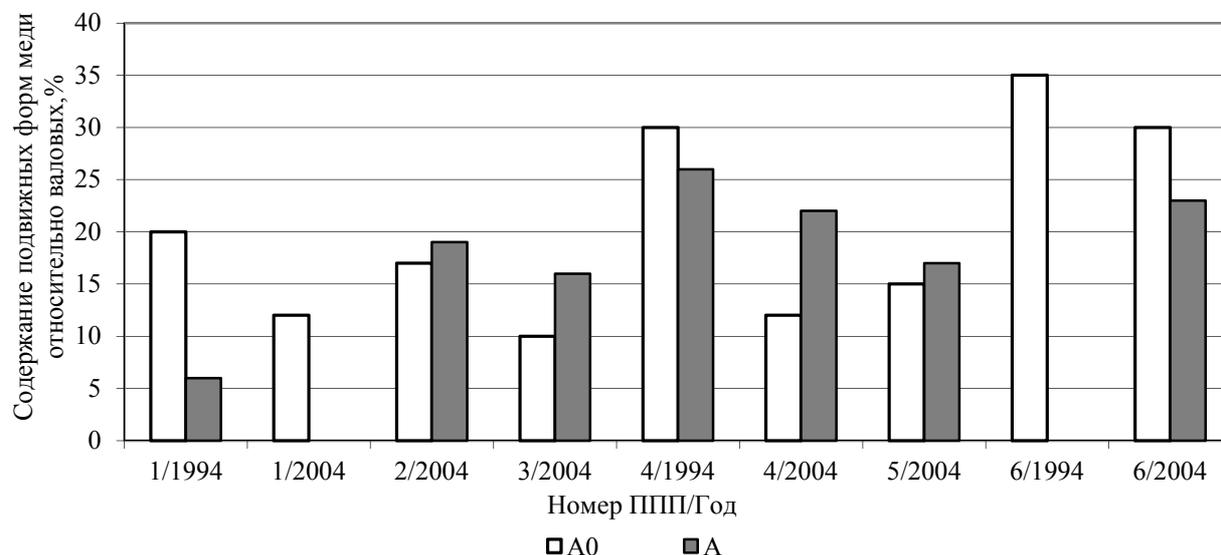


Рис. 2. Содержание подвижных форм ионов меди относительно валовых в горизонтах A<sub>0</sub> и A в дерново-слабоподзолистой слабощепнистой суглинистой почве, %

Долевое соотношение подвижных и валовых форм ионов меди в горизонте A, по-видимому, связано с аккумуляционной емкостью лесной подстилки. При высокой депонирующей емкости лесной подстилки, когда содержание подвижных форм меди от валового составляет 20 % и больше, в нижележащий горизонт поступает меньше подвижных (обменных) форм ионов меди. И наоборот, при низкой депонирующей способности лесной подстилки увеличивается поступление, и доля обменных форм в горизонте A. Разницей pH горизонтов это явление не объясняется. Возможно, происходящее связано с разной скоростью миграции ионов из горизонта в горизонт, или разной адсорбционной способностью почвы при высоких и низких концентрациях ионов меди.

В целом почва на ППП сильно загрязнена ионами меди. Содержание их валовых форм составляет от 438 до 4940 мг/кг. По сравнению с кларком этого металла для почвообразующих пород и минеральных горизонтов почв Урала (70 мг/кг) [23] наблюдается его превышение в исследуемых почвах в 6–71 раз. Согласно МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка...»<sup>1</sup> «предельно допустимая концентрация (ПДК) химического вещества в почве, представляющая собой комплексный показатель безвредного для человека содержания химических веществ в почве», составляет для подвижных форм меди 3 мг/кг, валовых – 50 мг/кг. ПДК миграционного водного показателя вредности характеризует способность перехода вещества из почвы в гидрологическую сеть и составляет 72 мг/кг. Установлено, что загрязнение почвы превышает ПДК по валовому содержанию от 6 до 90 раз, в 18–335 раз для подвижных форм ионов меди и достигает 14 ПДК миграционного водного. Таким образом, наиболее загрязненные почвы ППП могут стать источником вторичного загрязнения ионами меди в случае уничтожения лесной растительности. В то же время, учитывая водоохранные свойства леса и преобладание там внутрипочвенного стока, объем миграционного потока ионов меди должен быть значительно ниже потенциального.

Несмотря на превышения ПДК по ионам меди, адсорбционная способность лесных почв, судя по 10-летней динамике загрязнения, еще не исчерпана. Если за 10-летний период валовое содержание ионов меди в почве увеличилось от 1 до 263 %, то содержание подвижных форм только на 5–17 %, а на ППП 4 даже уменьшилось на 39 %. Загрязнение подвижными формами ионов свинца и цинка так же достаточно велико и составляет в лесной подстилке от 1 до 13 ПДК по свинцу и от 5 до 15 ПДК по цинку. Следует отметить, что ПДК для свинца (30 мг/кг) разработана только для валовых форм. Поэтому расчет превышения ПДК для валового содержания элемента использованный для подвижных

форм естественно снижает действительный уровень загрязнения почвы, который достаточно высок, а на ППП 6 наблюдается даже превышение. ПДК миграционного водного показателя (260 мг/кг для валовых форм) в 1,5 раза. То есть при вырубке древостоя на участке или пожаре возможно вторичное загрязнение. Кроме того, считается, что «...в почвах свинец быстро переходит в связанное малоподвижное состояние. Наибольшую опасность представляет пылевая фаза почвы, из которой свинец преимущественно попадает в организм человека, оказывая негативное воздействие» [24]. Под пологом древостоя благодаря отсутствию ветра, защиты почвы опадом, структуре лесной подстилки пылеобразования не происходит, и это свойство насаждений так же позволяет сократить миграционный поток тяжелых металлов. Только благодаря особенностям гидрологического и ветрового режима покрытых лесной растительностью территорий исследованные поллютанты, относящиеся к 1 и 2 классам опасности, выводятся из миграционного потока, что способствует оздоровлению территории.

Данные десятилетней динамики подвижных форм ионов свинца и цинка по ППП 1 и ППП 6, свидетельствуют, что произошло увеличение содержания в лесной подстилке подвижных форм ионов свинца в 2,6–4,1 раза, ионов цинка в 2,0–2,3 раза. Таким образом, скорость загрязнения подвижными формами этих металлов значительно выше, чем ионами меди.

## Выводы

1. В сосновых насаждениях лесопарковой и зеленой зон г. Первоуральска Свердловской области на постоянных пробных площадях проведен мониторинг накопления приоритетных тяжелых металлов (медь, свинец, цинк) в почвенных профилях дерново-слабоподзолистых слабощепнистых суглинистых почв сосновых насаждений.

2. Значительное содержание в лесной подстилке подвижных форм ионов меди, свинца, цинка указывает на их техногенное происхождение, а превышение ПДК в 5-15 раз ионов свинца и цинка, в 34-36 раз ионов меди – на высокое загрязнение почв.

3. Установлено, что за 10-летний период произошло накопление подвижных форм ионов меди и увеличение их содержания в почве на 5-17 %, что отстает от накопления валовых форм, увеличившись местами до 263 %. Процесс аккумуляции свидетельствует об адсорбции меди лесными почвами.

4. Массовая доля содержания в почве подвижных форм свинца и цинка, имеющих тесную корреляцию накопления в почвенных горизонтах, возросла за 10-летний период. Количество ионов свинца увеличилось в 2,6–4,1 раза, ионов цинка в 2,0–2,3 раза, что превосходит динамику содержания в почве ионов меди.

5. Влияние кислотности почвы на содержание подвижных форм тяжелых металлов выявлено только для ионов меди и цинка в диапазоне рН 3,97–5,71.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриева В.А., Нефедова Е.Г. Гидроэкологическая роль лесных насаждений в формировании режима водных ресурсов // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 3 (19). С. 22–33.
2. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высшая школа, 2002. 334 с.
3. Паулюкявичус Г.Б. Роль леса в экологической стабилизации ландшафтов. М.: Наука, 1989. 214 с.
4. Мартынюк А.А., Доронищева Е.В., Рыкова Т.В. Изменение химического состава природных осадков под пологом сосновых насаждений в условиях техногенного загрязнения среды // Лісовий журнал. 2011. № 1. С. 8–11.
5. Робакидзе Е.А., Торлопова Н.В., Бобкова К.С. Химический состав жидких атмосферных осадков в старовозрастных ельниках средней тайги // Геохимия. 2013. № 1. С. 72–83.
6. Шергина О.В., Михайлова Т.А., Калугина О.В. Изменение биогеохимических показателей в сосновых лесах при техногенном загрязнении // Сибирский лесной журнал. 2018. № 4. С. 29–38.
7. Щеглов А.И., Цветнова О.Б., Богатырев Л.Г. Роль лесных подстилок в миграции элементов- техногенных загрязнителей // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. Сборник научных трудов. Екатеринбург, 2005. Вып. 6. С. 248–268.
8. Kabata-Pendias A. Soil-plant transfer of trace elements in an environmental issue // Geoderma. 2004. № 122 (2-4). P. 143–149.
9. Водяницкий Ю.Н. Природные и техногенные соединения тяжелых металлов в почвах // Почвоведение. 2014. № 4. С. 420–432.
10. Водяницкий Ю.Н., Плеханова О.И. Биогеохимия тяжелых металлов в загрязненных переувлажненных почвах (аналитический обзор) // Почвоведение. 2014. № 3. С. 273–282.

11. Добровольский В.В. Роль органического вещества почв в миграции тяжелых металлов // Природа. 2004. № 7. С. 35–39.
12. Динамика лесных сообществ Северо–Запада России / Ярмишко В.Т., Баккал И.Ю., Борисова О.В., Горшков В.В., Катютин П.Н., Лянгузова И.В., Мазная Е.А., Старова Н.И., Ярмишко М.А. СПб.: Изд-во ВВМ, 2009. 276 с.
13. Головатый С.Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах. Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2002. 240 с.
14. Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П., Корнейкова М.В. Содержание и токсичность тяжелых металлов в почвах зоны воздействия газозвоздушных выбросов комбината «Печенганикель» // Почвоведение. 2014. № 5. С. 625–631.
15. Елгин П.С., Стягов Н.Н. Оценка уровня загрязнения поверхностных вод реки Исеть ионами тяжелых металлов и изучение их токсических свойств на биологические ресурсы экосистемы водоема // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России. Материалы XVII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. Екатеринбург, 2021. С. 399–402.
16. Ладонин Д.В., Пляскина О.В. Изучение механизмов поглощения Cu(II), Zn(II) и Pb(II) дерново-подзолистой почвой // Почвоведение. 2004. № 5. С. 537–545.
17. Цветков В.Ф., Цветков И.В. Промышленное загрязнение окружающей среды и лес. Архангельск: ИПЦ СА-ФУ, 2012. 312 с.
18. Minkina T.M., Motusova G.V., Mandzhieva S.S., Nazarenko O.G. Ecological resistance of the soil-plant system to contamination by heavy metals // J. of Geochemical Exploration. 2012. № 123. P. 33–40.
19. Wong J. W.C., Li. K.L., Zhou L.X., Selvam A. The Sorption of Cd and Zn by Different Soils in the Presence of Dissolved Organic Matter from Sludge // Geoderma. 2007. № 137. P. 310–317.
20. Юсупов И.А., Луганский Н.А., Залесов С.В. Состояние искусственных сосновых молодняков в условиях аэропромвыбросов. Екатеринбург: УГЛТА, 1999. С. 28.
21. Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск, 1973. 175 с.
22. Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 104 с.
23. 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.
24. Розанов В.А. Насущные проблемы нейротоксического влияния свинца на детей (международный опыт контроля и предупреждения неблагоприятного воздействия) // Метеорология, климатология и гидрология. 1999. № 37. С. 6–14.

Поступила в редакцию 07.07.2022

Толкач Ольга Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник  
Ботанический сад УрО РАН  
620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а  
E-mail: [tolkach\\_o\\_v@mail.ru](mailto:tolkach_o_v@mail.ru)

### ***O.V. Tolkach***

#### **MONITORING OF COPPER, LEAD AND ZINC IONS DISTRIBUTION ALONG THE SOIL PROFILE OF PINE PLANTATIONS IN THE CITY OF PERVOURALSK (SVERDLOVSK REGION) IN THE ZONE OF TECHNOGENIC IMPACT**

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-3-303-311

The results of 10-year monitoring of heavy metals accumulation in the emission zone of technogenic pollution of Pervouralsk, Sverdlovsk region, are presented. The study was conducted on the gradients of pollution in pine plantations of the forest park and green zones of the city in order to study the accumulation of copper, lead, zinc ions in the soil profiles of sod-weakly podzolic soils. It was found that the bulk of metals accumulates in the litter and migrates down the profile in a small amount. Soil contamination by mobile forms of lead and zinc ions increased 2–4 times during the observation period. The study of the ratio of mobile forms of copper to its gross content in the soil showed that against the background of a significant increase in gross forms of copper up to 263%, the proportion of mobile forms is only 5–17%. A reliable correlation of soil acidity in the pH range of 3.97–5.71 with mobile forms of copper and zinc ions was revealed. The data obtained indicate that pollutants of hazard classes 1 and 2 have been removed from the migration flow and deposited by forest soils, which contributes to slowing down the pollution of the territory.

*Keywords:* soil, pollutants, copper, lead, zinc, mobile forms, gross forms, Pervouralsk.

## REFERENCES

1. Dmitrieva V. A., Nefedova E.G. [Hydroecological role of forest in formation of regime of water resources], in *Lesotekhnicheskij zhurnal*, 2015, vol. 5, no. 3 (19), pp. 22–33 (in Russ.).
2. Orlov D.S., Sadovnikova L.K., Lozanovskaya I.N. *Ekologiya i okhrana biosfery pri khimicheskom zagryaznenii* [Ecology and protection of the biosphere in case of chemical pollution], Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2002, 334 p. (in Russ.).
3. Paulyukyavichus G.B. *Rol' lesa v ekologicheskoy stabilizatsii landshaftov* [The role of the forest in the ecological stabilization of landscapes], Moscow: Nauka Publ., 1989, 214 p. (in Russ.).
4. Martynyuk A.A., Doronicheva E.V., Rykova T.V. *Izmenenie khimicheskogo sostava prirodnykh osadkov pod pologom sosnovykh nasazhdeniy v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya sredy* [Changes in the chemical composition of natural sediments under the canopy of pine plantations under conditions of technogenic environmental pollution], in *Lisovij zhurnal*, 2011, no. 1, pp. 8–11 (in Russ.).
5. Robakidze E.A., Torlopova N.V., Bobkova K.S. [Chemical composition of wet precipitation in old-growth middle-taiga spruce stands], in *Geochemistry International*, 2013, vol. 51, no. 1, pp. 65–75 (in Russ.).
6. Shergina O. V., Mihajlova T. A., Kalugina O. V. [Change of biogeochemical indexes in pine forests under technogenic pollution], in *Sibirskiy lesnoy zhurnal*, 2018, no. 4, pp. 29–38 (in Russ.).
7. Shcheglov A.I., Tsvetnova O.B., Bogatyrev L.G. *Rol' lesnykh podstilok v migratsii elementov- tekhnogennykh zagryazniteley* [The role of forest litter in the migration of elements-technogenic pollutants], in *Sborn. nauch. tr. "Problemy radioekologii i pogranichnykh distsiplin"*, Ekaterinburg, 2005, vol. 6, pp. 248–268 (in Russ.).
8. Kabata-Pendias A. Soil-plant transfer of trace elements an environmental issue, in *Geoderma*, 2004, vol. 122 (2-4), pp. 143–149.
9. Vodyanitskii Y.N. [Natural and technogenic compounds of heavy metals in soils], in *Eurasian Soil Science*, 2014, vol. 47, no. 4, pp. 255–265 (in Russ.).
10. Vodyanitskii Y.N., Plekhanova I.O. [Biogeochemistry of heavy metals in contaminated excessively moistened soils (analytical review)], in *Eurasian Soil Science*, 2014, vol. 47, no. 3, pp. 153–161 (in Russ.).
11. Dobrovolskiy V.V. *Rol' organicheskogo veshchestva pochv v migratsii tyazhelykh metallov* [The role of soil organic matter in the migration of heavy metals], in *Priroda*, 2044, no. 7, pp. 35–39 (in Russ.).
12. Yarmishko V.T., Bakal I.Yu., Borisova O.V., Gorshkov V.V., Katyutin P.N., Lyanguzova I.V., Maznaya E.A., Starova N.I., Yarmishko M.A. *Dinamika lesnykh soobshchestv Severo-Zapada Rossii* [Dynamics of forest communities in the North-West of Russia], St. Petersburg: VVM Publ., 2009, 276 p. (in Russ.).
13. Golovatyy S.E. *Tyazhelye metally v agroekosistemakh* [Heavy metals in agroecosystems], Minsk: Int pochvovedeniya i agrokhimii, 2002, 240 p. (in Russ.).
14. Evdokimova G.A., Mozgova N.P., Korneikova M.V. [The content and toxicity of heavy metals in soils affected by aerial emissions from the Pechenganikel plant], in *Eurasian Soil Science*, 2014, vol. 47, no. 5, pp. 504–510 (in Russ.).
15. Elgin P.S., Styagov N.N. *Otsenka urovnya zagryazneniya poverkhnostnykh vod reki Iset' ionami tyazhelykh metallov i izuchenie ikh toksicheskikh svoystv na biologicheskie resursy ekosistemy vodoema* [Assessment of the level of pollution of the surface waters of the Iset River with heavy metal ions and the study of their toxic properties on the biological resources of the ecosystem of the reservoir], in *Mater. XVII Vseross. nauch.-tekhn. konf. "Nauchnoe tvorchestvo molodezhi - lesnomu kompleksu Rossii"*, Ekaterinburg, 2021, pp. 399–402 (in Russ.).
16. Ladonin D.V., Plyaskina O.V. [Mechanisms of Cu(II), Zn(II), Pb(II) sorption by soddy-podzolic soil], in *Eurasian Soil Science*, 2004, vol. 37, no. 5, pp. 460–468 (in Russ.).
17. Tsvetkov V.F., Tsvetkov I.V. *Promyshlennoe zagryaznenie okruzhayushchey sredy i les* [Industrial pollution and forest], Arkhangel'sk: IPC SAFU Publ., 2012, 312 p. (in Russ.).
18. Minkina T.M., Motusova G.V., Mandzheva S.S., Nazarenko O.G. Ecological resistance of the soil-plant system to contamination by heavy metals, in *Journal of Geochemical Exploration*, 2012, no. 123, pp. 33–40.
19. Wong J. W.C., Li. K.L., Zhou L.X., Selvam A. The Sorption of Cd and Zn by Different Soils in the Presence of Dissolved Organic Matter from Sludge, in *Geoderma*, 2007, no. 137, pp. 310–317.
20. Yusupov I.A., Luganskiy N.A., Zalesov S.V. *Sostoyaniye iskusstvennykh sosnovykh molodnyakov v usloviyakh aeropromybrosov* [Condition of artificial pine young growths in the conditions of air industrial emissions], Ekaterinburg: Ural. Gos. Lesotekhn. Akad., 1999, 28 p. (in Russ.).
21. Kolesnikov B.P., Zubareva R.S., Smolonogov E.P. *Lesorastitel'nye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoy oblasti* [Forest conditions and types of forests in the Sverdlovsk region], Sverdlovsk, 1973, 175 p. (in Russ.).
22. Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Guidelines for the study of forest types], Moscow: AN SSSR Publ., 1961, 104 p. (in Russ.).
23. Glazovskaya M.A. *O biologicheskoy tsikle elementov v razlichnykh landshaftnykh zonakh (na primere Urala)* [On the biological cycle of elements in various landscape zones (on the example of the Urals)], in *Dokl. K VIII Mezhdunar. Kongressu pochvovedov "Fizika, himiya, biologiya i mineralogiya pochv SSSR"*, Moscow, 1964, pp. 148–157 (in Russ.).

24. Rozanov V.A. *Nasushchnye problemy neyrotoksicheskogo vliyaniya svintsa na detey (mezhdunarodnyy opyt kontrolya i preduprezhdeniya neblagopriyatnogo vozdeystviya)* [Urgent problems of the neurotoxic effect of lead on children (international experience in the control and prevention of adverse effects)], in *Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya*, 1999, no. 37, pp. 6–14 (in Russ.).

Received 07.07.2022

Tolkach O.V., Doctor of Agricultural sciences, Leading Researcher  
Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences  
8 March st., 202a, Yekaterinburg, Russia, 620144  
E-mail: [tolkach\\_o\\_v@mail.ru](mailto:tolkach_o_v@mail.ru)