

УДК 631.5

## **Содержание тяжелых металлов *Pb, Ni, Zn, Cu, Mn, Zr, Cr, Co* и *Sn* в почвах Центральной зоны Республики Беларусь**

Позняк С.С.

Международный государственный экологический университет имени А.Д. Сахарова

*Исследования по изучению содержания тяжелых металлов в почвах Центральной зоны Республики Беларусь позволили получить новые данные о содержании в них валовых форм *Pb, Ni, Zn, Cu, Mn, Zr, Cr, Co* и *Sn*. Экспериментально установлено, что пространственные изменения содержания валовых форм тяжелых металлов более значительные, чем временные. По результатам исследований определена загрязненность почв тяжелыми металлами в радиусе 10 км вокруг города Жодино.*

Ключевые слова: тяжелые металлы, валовое содержание, почвенный покров, степень загрязнения, ПДК, региональный фон

Состояние окружающей природной среды является важнейшим фактором, определяющим жизнедеятельность человека и общества. Высокие концентрации многих химических элементов и соединений, обусловленные техногенными процессами, обнаружены в настоящее время во всех природных средах: атмосфере, воде, почве, растениях. Техногенное влияние на территории Республики Беларусь имеет свои характерные особенности ввиду того, что для многих почвообразующих пород страны отмечается выщелачивание большинства исследуемых элементов, что можно рассматривать как тенденцию ухудшения эколого-геохимической обстановки в результате дефицита ряда важных для живых организмов химических элементов, иногда токсических [1].

Прямым источником накопления в почвах тяжелых металлов являются горные породы, на продуктах которых сформировался почвенный покров. В осадочных горных породах в зависимости от их генезиса и гранулометрического состава содержание ТМ колеблется в широком диапазоне, при этом тонкодисперсные глинистые сланцы более обогащены тяжелыми металлами, чем песчаники [2]. В горных породах тяжелые металлы обычно приурочены к определенной группе минералов [3]. При выветривании коренных горных пород ТМ в значительной части сохраняются в рыхлых образованиях, изменив форму и место присутствия. Поэтому главными носителями тяжелых металлов становятся вторичные минералы, гидроксиды и оксиды полуторных элементов, а формами присутствия – водорастворимая, обменная, окклюдирующая  $R_2O_2$ , в кристаллической решетке вторичных минералов (изоморфное замещение) и в их межплоскостном пространстве, в первичных минералах. По этой причине почвообразующие породы

разного гранулометрического состава содержат заметно различающиеся количества тяжелых металлов: небольшое – песчаные и супесчаные, значительное – суглинистые и глинистые [4].

При почвообразовании происходит некоторое перемещение тяжелых металлов в профиле почвы. Наблюдается биогенная аккумуляция ряда физиологически важных для растительности элементов – Mn, Zn, отчасти Cu. В почвах с элювиально-иллювиальным профилем (дерново-подзолистые, серые лесные, солоды, солонца и др.) элювиальный горизонт обедняется тяжелыми металлами, тогда как иллювиальный обогащается. Нередко фиксируются небольшие аккумуляции ТМ в верхней части карбонатного горизонта, где в депонировании ТМ принимают участие глинные минералы и гумусовое вещество [5]. В илистых частицах содержание тяжелых металлов в 2–4 раза больше, чем в почвенной массе в целом [6]. Такое обогащение рассматривается как результат процесса почвообразования, поскольку по количеству многих ТМ ил, выделенный из материнской породы, почти не отличается от ила из гумусового горизонта почв, которые сформировались на этой породе. Иными словами, аккумуляция ТМ в тонкой гранулометрической фракции произошла раньше, чем началось современное почвообразование. Гумус по отношению к ТМ обладает высокой депонирующей способностью: помимо обменного поглощения гумусовые кислоты могут образовывать с ТМ комплексные органоминеральные соединения, которые становятся малоподвижными. Высокое содержание ТМ в гумусе отмечается во многих работах [7].

К основным носителям тяжелых металлов в незагрязненных почвах следует отнести оксиды железа, в которых может сосредотачиваться, например, цинка до 25 % от общего содержания металла в почве [8].

Многочисленными работами по изучению содержания тяжелых металлов в совокупности основных почв разных регионов было доказано, что пределы содержания тяжелых металлов, установленные различными исследованиями, существенно отличаются друг от друга в разы. Многими исследователями по этому поводу справедливо отмечается, что для некоторых тяжелых металлов верхний предел биологически благоприятного валового содержания лишь ненамного превосходит фоновое. *«Скорее всего, у этих данных нет достаточного физиологического обоснования. Получить же его трудно, поскольку в растения из почвы поступает отнюдь не адекватное валовому содержанию количество тяжелых металлов, а реакции живых организмов на одни и те же концентрации тяжелого металла в почве в зависимости от сопутствующих условий заметно различаются. Накопленный материал убеждает в том, что за усредненными величинами скрывается большое разнообразие конкретных ситуаций. Следует с осторожностью относиться к использованию оценочных средних валовых содержаний тяжелых металлов, глобальных или рассчитанных для больших территорий, в качестве фоновых при нормировании местного загрязнения»* [9, с. 12].

Техногенная нагрузка на территории республики распространяется весьма неравномерно, поскольку существуют значительные различия в ингредиентах–

загрязнителях урбанизированных и сельскохозяйственных территорий. Если первые загрязнены, в основном, тяжёлыми металлами, окислами азота, серы, углерода и т.п., то среди загрязнителей сельскохозяйственных территорий в первую очередь необходимо назвать нитраты, нитриты, пестициды, фосфаты и тяжёлые металлы.

Выявление и ареалов загрязнений тяжёлыми металлами природной среды в разрезе конкретного региона требует специальных трудоёмких и продолжительных исследований, поэтому для укрупнённой характеристики состояния окружающей среды нами применена методика косвенной оценки посредством выявления удельной техногенной нагрузки на примере города Жодино, на территории которого осуществляют производственно-хозяйственную деятельность более 230 субъектов хозяйствования, среди которых РУПП «БелАЗ», РУП «КЗТШ», ОАО «Світанак» и др.

**В настоящее время по степени опасности, темпам и объемам техногенного поступления одно из первых мест среди загрязнителей занимают тяжёлые металлы, опережая пестициды, двуокись углерода, серы, промышленные и бытовые отходы. Для урбанизированных зон и их пригородов основная масса поллютантов находится в атмосферных выпадениях, в которых концентрируются типичные элементы промышленных выбросов (W, Cd, Hg, Pb, Zn, Sn и др.). Значительное количество загрязнителей поступает также с промышленно-бытовыми сбросами, при этом ареной развития техно-геохимических аномалий являются не только водные артерии, дренирующие города, но и поймы рек [10].**

Нормативной базой для оценки состояния загрязнения почв по содержанию тяжёлых металлов в почве служили нормативы региональных фонов, кларки, ПДК (ОДК), перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь.

Оценка суммарной степени загрязнения почв проводилась с использованием общепринятых шкал (табл. 1).

Таблица 1 - Градация почв по степени загрязнения

		Степень загрязнения почв	
Элементом-загрязнителем		Суммарное Zc	
уровень фона (кларка)	незагрязненные	< 4	очень слабая
превышение фона более 50%	условно загрязненные	4–8	слабая
превышение фона более 50%, но не выше ПДК (ОДК)	слабо загрязненные	16–32	допустимая
превышение ПДК (ОДК) не более, чем в 2 раза	средне загрязненные	32–64	умеренно опасная
превышение ПДК (ОДК) более, чем в 2 раза	сильно загрязненные	64–128	опасная
превышение ПДК (ОДК) более, чем в 4 раза	чрезвычайно загрязненные	> 128	чрезвычайно опасная

Отбор почвенных проб проводился в соответствии с методикой крупномасштабного агрохимического и радиологического исследования почв сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь [11].

Проведенными исследованиями установлено, что между элементарными участками наблюдаются различия по фоновому содержанию тяжелых металлов в почвах, по некоторым элементам весьма существенные. Содержание Pb в условно загрязненных почвах составляло в среднем 11,54–24,82 мг/кг, Cd – 1,17–3,53 мг/кг, Cr – 12,21–43,05 мг/кг, Ni – 1,61–4,9 мг/кг (табл. 2).

Таблица 2 – Фоновое содержание ТМ в условно загрязненных почвах, мг/кг

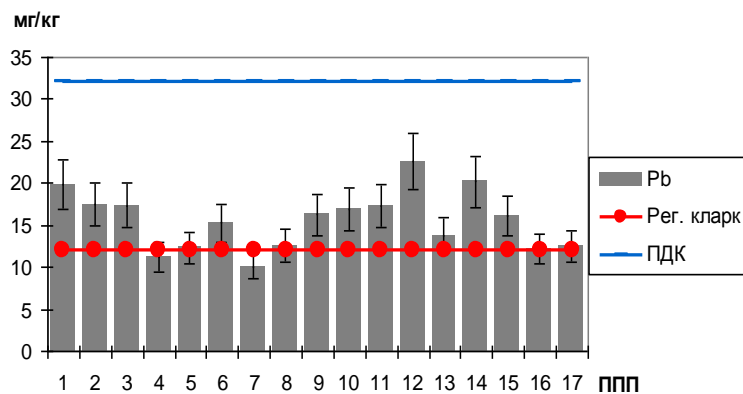
Элемент	ППП 1	ППП 2	ППП 3	ППП 4	ППП 5	ППП 6
Mn	771,61	572,93	653,36	613,45	772,55	834,39
Zr	98,77	137,52	91,59	117,97	70,17	86,86
Cr	33,43	12,21	27,14	30,56	43,05	35,24
Co	37,40	31,08	32,54	37,01	40,36	22,72
Zn	24,16	41,79	26,24	19,46	90,61	88,16
Pb	14,85	11,54	13,83	12,21	24,82	16,63
Sn	5,88	0,34	4,25	5,44	2,83	3,57
Cu	5,31	10,89	5,67	5,17	29,04	12,51
Ni	3,47	1,61	3,72	3,94	4,90	3,95

В результате исследований работы установлено, что в анализируемых почвах содержатся также такие малоизученные тяжелые металлы, как Zr (70,17–137,52 мг/кг) и Sn (0,34–5,88 мг/кг). При этом следует отметить, что величина содержания всех обнаруженных в почвенных пробах тяжелых металлов и микроэлементов, за исключением Sn на ППП 1 и 4, значительно ниже существующих ПДК/ОДК (концентрации Sn составляют соответственно 5,88 и 5,44 мг/кг, что выше установленного уровня ПДК/ОДК в 1,2–1,3 раза). Это может быть связано с тем, что на территории площадок в 1960-е гг. размещались механизированные участки и пункты хранения техники для проведения культуртехнических работ, лесо- и торфоразработок, которые внесли ощутимый вклад в загрязнение территории. Кроме того, при возвращении этих земель в хозяйственный оборот, в последующие годы на них вносили повышенные нормы оловосодержащих минеральных удобрений и пестицидов. Содержание Mn во всех почвенных пробах на условно загрязненных почвах превышало, а содержание Cr, Pb и Cu – находилось в границах региональных кларков.

**Более детальные исследования техногенного загрязнения почвенного покрова г. Жодино и прилегающих сельскохозяйственных угодий показали, что почвы по уровню содержания тяжелых металлов характеризуются крайней неоднородностью — от фонового до опасного.**

**Свинец.** Содержание в земной коре (кларк) составляет 10 мг/кг. Гигиенические нормативы для концентраций Pb следующие: ПДК рабочей зоны - 0,01 мг/м<sup>3</sup>, атмосферного воздуха - 0,003 мг/м<sup>3</sup>, воды водоисточников - 0,03 мг/л, почвы - 32 мг/кг [12]. Региональный кларк Pb составляет 12 мг/кг [13], среднее содержание в торфяной почве – 13 мг/кг [14].

Анализ содержания валового Pb в почвах отобранных образцов показал, что его концентрации повсеместно превышают фоновый уровень, или региональный кларк в радиусе 10 км от городской черты с отдельными локальными участками, где содержание элемента превышает критический уровень загрязнения (рис. 1).

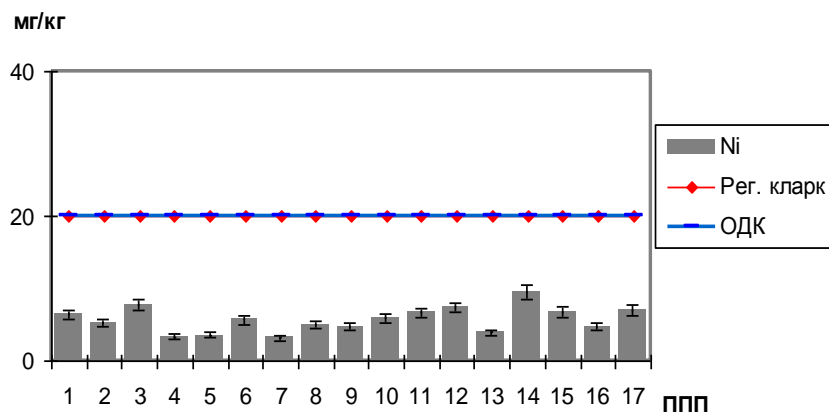


**Рисунок 1** Валовое содержание Pb в дерново-подзолистой почве

Значительная часть территории сельскохозяйственных угодий, прилегающих к г. Жодино, относится к слабозагрязненным почвам и характеризуется концентрациями более 16 мг/кг (т.е. 0,5 ПДК) элемента. К этим участкам относятся угодья, представленные дерново-подзолистыми почвами, на которых расположены ППП 1, 2, 3, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 19. К незагрязненной почве с содержанием Pb на уровне фонового значения можно отнести образцы, отобранные на ППП 4, 5, 7, 8, 16, 17.

**Никель.** В почвах Республики Беларусь в среднем содержится 20,0 мг/кг Ni [13], среднее содержание Ni в торфяной почве составляет 4 мг/кг [14]. Гигиенические нормативы для концентраций Ni следующие: ПДК рабочей зоны - 0,005 мг/м<sup>3</sup>, атмосферного воздуха - 0,002 мг/м<sup>3</sup>, воды водоисточников - 0,1 мг/л, ОДК для песчаной и супесчаной почвы - 20 мг/кг [12].

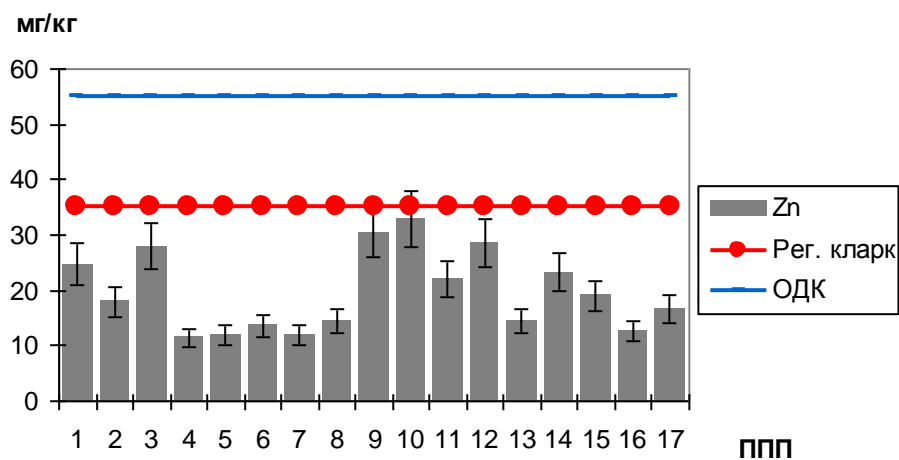
Анализ данных по содержанию Ni в дерново-подзолистых почвах показал, что его содержание во всех пробах почвы значительно ниже регионального кларка (рис. 2).



**Рисунок 2** Валовое содержание Ni в дерново-подзолистой почве

**Цинк.** Среднее содержание Zn в почвах Беларуси составляет 35,0 мг/кг [13], среднее содержание Zn в торфяной почве составляет 87 мг/кг [14]. Гигиенические нормативы имеются как для цинковых соединений, так и для Zn. Так, для воздуха рабочей зоны ПДК для магнида цинка составляет 6,0 мг/м<sup>3</sup>, для оксида цинка - 0,5, для сульфата цинка - 5,0 мг/м<sup>3</sup>. В воде водоисточников для Zn ПДК составляет 1,0 мг/л, а для водоемов, используемых для рыбохозяйственных целей, этот показатель составляет 0,01 мг/л. В песчаных и супесчаных почвах ОДК для Zn составляет 55,0 мг/кг [12].

Анализ данных, полученных в результате проведенного лабораторного исследования отобранных образцов почв, свидетельствует, что содержание Zn во всех образцах почв ниже существующего ПДК, хотя в некоторых случаях количество валовых форм Zn в дерново-подзолистой почве (ППП 9, 10, 12) находится на уровне его фонового содержания (рис. 3).

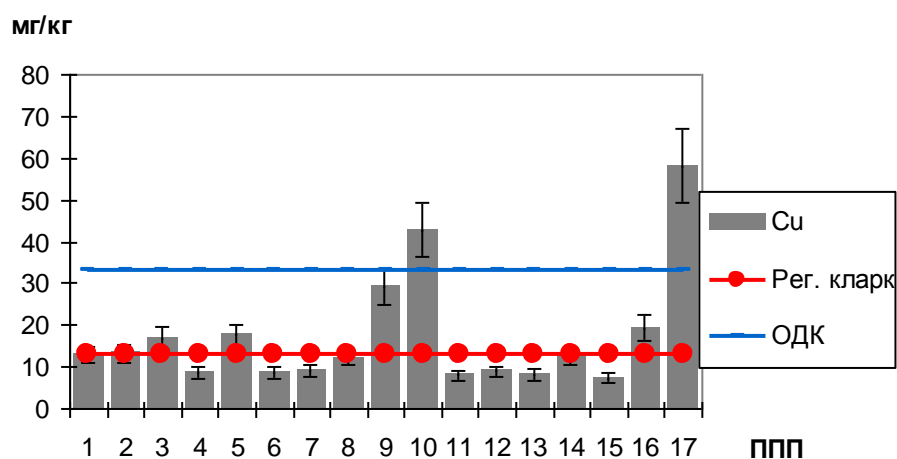


**Рисунок 3** Валовое содержание Zn в дерново-подзолистой почве

**Медь.** В почвах Беларуси содержание Cu составляет 13,0 мг/кг [13], среднее содержание Cu в торфяной почве составляет 5 мг/кг [14], ПДК в почве для меди составляет 55,0 мг/кг [12].

В результате эксперимента установлено, что на дерново-подзолистой почве (ППП 17) на окраине г. Жодино валовое содержание Cu в образцах почвы составляет 58,2 мг/кг, что выше уровня ПДК – степень загрязнения почвы классифицируется как средне загрязненная (рис. 4). Территория, на которой размещаются ППП 9 (в черте г. Жодино, напротив КЗТШ) и 10 (на расстоянии 1 км от КЗТШ в направлении г. Борисова), относится к слабо загрязненным почвам и характеризуется концентрациями более 29 мг/кг (т.е. 0,5 ПДК) элемента.

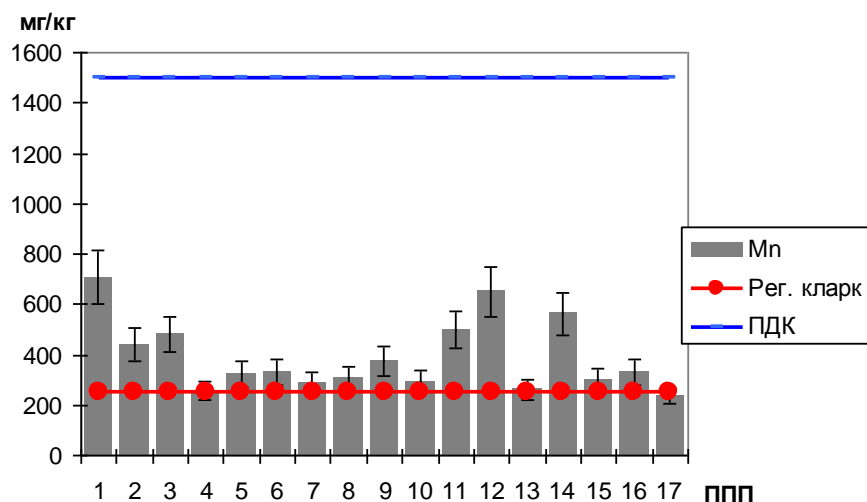
В четырех образцах на дерново-подзолистой почве (ППП 2, 3, 5 и 16) содержание Cu превышает региональный фон и колеблется от 13,2 мг/кг (ППП 2) до 19,4 мг/кг (ППП 16).



**Рисунок 4** Валовое содержание Cu в дерново-подзолистой почве

**Марганец.** Элемент широко распространен в природе и содержится как в земной коре, так и в воде морей, рек и в почве. Региональный кларк Mn составляет 247 мг/кг [13], среднее содержание Mn в торфяной почве составляет 363 мг/кг [14], ПДК валового Mn составляет 1500 мг/кг [12].

Детальное обследование сельскохозяйственных угодий, прилегающих к промышленным предприятиям г. Жодино, не выявило аномальных участков по Mn (рис. 5).

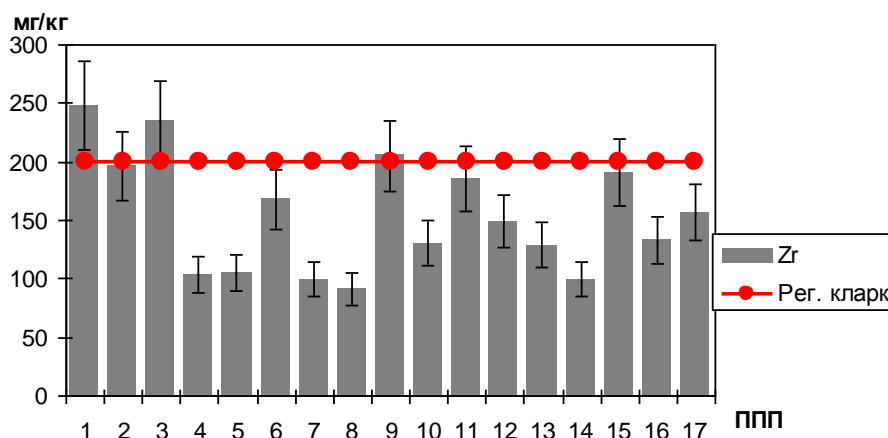


**Рисунок 5** Валовое содержание Mn в дерново-подзолистой почве

Следует, однако, отметить, что содержание Mn в дерново-подзолистой почве на расстоянии около 13 км в западном направлении (ППП 1) и на расстоянии 1,5 км от ГРЭС в направлении на юго-восток (ППП 12) от города Жодино составило 650,3-708,1 мг/кг (около 0,5 ПДК). Во всех остальных местах отбора почвенных образцов валовое содержание Mn находится ниже или на уровне регионального фона.

**Цирконий.** Региональный кларк Zr составляет 200 мг/кг [4], среднее содержание Zr в торфяной почве составляет 158 мг/кг [5]. Относится к 3 классу опасности, ПДК в воздухе рабочей зоны составляет 4-6 мг/м<sup>3</sup>.

Детальное обследование сельскохозяйственных угодий, прилегающих к промышленным предприятиям г. Жодино, выявило некоторые участки с превышением регионального фона по содержанию Zr как на дерново-подзолистых, так и на торфяных почвах (рис. 6). В целом, обследованные почвы характеризуется по степени загрязненности Zr как благополучные.



**Рисунок 6** Валовое содержание Zr в дерново-подзолистой почве



**Хром.** Региональный кларк составляет 36 мг/кг [13], среднее содержание Cr в торфяной почве составляет 5 мг/кг [14], ПДК в почве – 100 мг/кг [12], ПДК в атмосферном воздухе 0,0015 мг/м<sup>3</sup>, ПДК в воде водоисточников – 0,005 мг/л.

В результате исследований установлено, что в большинстве образцов почвы на дерново-подзолистой почве содержание Cr не превышает региональный фон и только на ППП 8 его содержание несколько выше регионального фона (рис. 7).

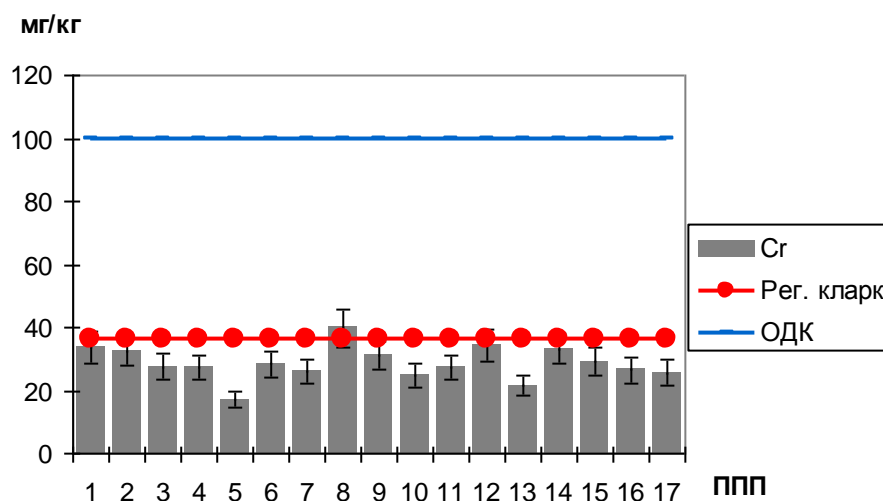


Рисунок 7 Валовое содержание Cr в дерново-подзолистой почве

**Кобальт.** Среднее содержание его в почвах составляет 0,1-13,0 мг/кг. Элемент Co относится ко 2 классу опасности, гигиенические нормативы составляют: в атмосферном воздухе - ПДК 0,001 мг/м<sup>3</sup>, в воде водоисточников – ПДК 0,1 мг/л. ПДК в почве составляет 20 мг/кг [12], а региональный фон – 6 мг/кг [13], среднее содержание Co в торфяной почве составляет 3 мг/кг [14].

В результате исследований установлено, что во всех образцах дерново-подзолистой почвы содержание Co превышает не только региональный фон, но и критические уровни загрязнения (рис. 8). При этом, на ППП 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 14, 15, 17 степень загрязнения характеризуется как сильно загрязненная (превышение ПДК более, чем в 2 раза), а на ППП 9, 12 – степень загрязнения характеризуется как чрезвычайно загрязненная (превышение ПДК более, чем в 4 раза).

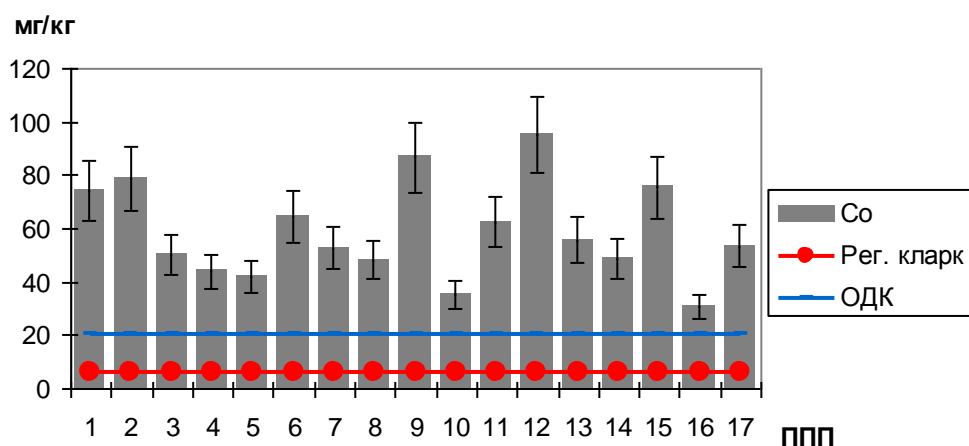


Рисунок 8 Валовое содержание Co в дерново-подзолистой почве

**Олово.** Гигиенические нормативы для атмосферного воздуха составляют  $0,5 \text{ мг/м}^3$ , для водоисточников – не установлен. ПДК Sn в почвах составляет  $4,5 \text{ мг/кг}$ , региональный фон –  $1 \text{ мг/кг}$ , среднее содержание Sn в торфяной почве составляет  $3 \text{ мг/кг}$  [14].

Присутствие валовых форм Sn выявлено во всех пробах (рис. 9). При этом, в большинстве случаев содержание Sn превышало региональный фон более чем на 50%, но не выше ПДК, что соответствует классификации почв по степени загрязнения как слабо загрязненные. Степень загрязнения почв на ППП 16 классифицируется как средне загрязненная (превышение ПДК не более, чем в 2 раза).

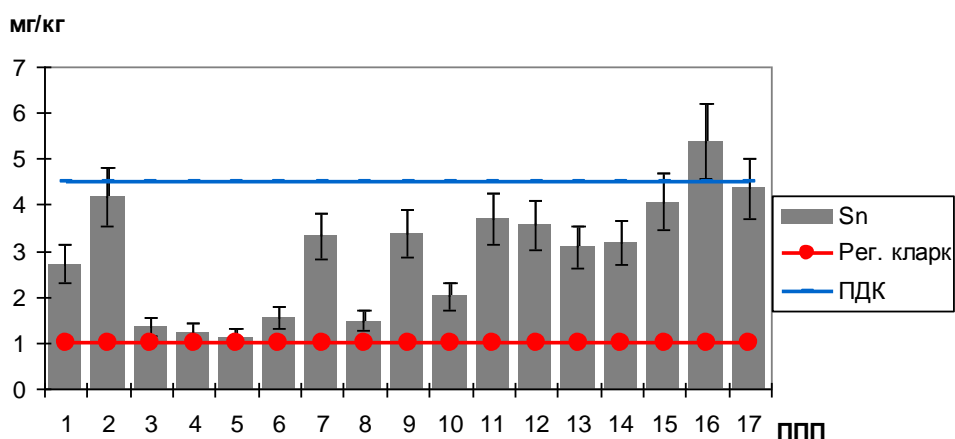


Рисунок 8 Валовое содержание Sn в дерново-подзолистой почве

Таким образом, проведенные нами исследования показали, что наиболее неблагоприятными в санитарно-гигиеническом отношении являются центр города, а также северо-западное направление, где в результате атмосферных выпадений и интенсивной сельскохозяйственной деятельности

**сформировалась геохимическая аномалия, имеющая радиус около 10 км. Такое пространственное расположение загрязненной территории объясняется также господством северо-западных ветров и дополнительным притоком тяжелых металлов от точечного источника загрязнения, расположенного западнее города (Смолевичская бройлерная птицефабрика).**

Результаты проведенных исследований фоновое содержание тяжелых металлов в конкретных местных условно загрязненных почвах подтвердили мнение, что повышенное содержание тяжелых металлов чаще всего свойственно более плодородным почвам (гумусовому горизонту) и объясняется следующим:

а) значительная часть тяжелых металлов, освобождающихся при разложении растительных остатков, депонируется в гумусе, сохраняя при этом мобильность;

б) в иллювиальном горизонте накапливаются мигрирующие из вышележащего слоя почвы тонкодисперсные частицы, насыщенность которых тяжелыми металлами всегда более высокая;

в) в профиле почвы на контакте с карбонатным горизонтом происходит резкое повышение рН среды, по этой причине мигрирующие с нисходящим током влаги металлосодержащие соединения могут выпадать в осадок и образовывать небольшие местные аккумуляции.

## **Список литературы**

1. Чертко Н.К. Геохимическая экология: Учеб. пособие. – Мн.: БГУ, 2002. – 79 с.
2. Бранулоу А.Х. Геохимия //– М.: Недра, 1984. – 463 с.
3. Frank R. Metals in agricultural soils of Ontario // Can. J. Soil Sci. – 1976. –Vol. 56, № 3. – P.181–196.
4. Лупинович И.С. Микроэлементы в почвах БССР и эффективность микроудобрений. – Минск: Изд-во БГУ, 1970. – 225 с.
5. Andersson A. The distribution of heavy metals and soil material as influenced by the ionic radius // Sved. J. Agr. Res. – 1977. –Vol. 7, № 2. – P. 79–83.
6. Ильин В.Б. К вопросу о разработке предельно допустимых концентраций тяжелых металлов в почвах // Агрехимия.– 1985.– № 10. – С. 94–101.
7. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в почвах Западной Сибири // Почвоведение. – 1987. – № 11. – С. 87–94.
8. Shuman L.M. Zinc, manganese and copper in soil fractions // Soil. Sci. – 1979. – Vol. 127, № 1. – P. 10–17.
9. Ильин В.Б., Тяжелые металлы в системе почва-растение // Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1991. – 151 с.
10. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 2006 г. / под ред. В.Ф. Логинова. – Минск: Минсктиппроект, 2007. – 366 с.
11. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992. – 61с.
12. Гигиеническая оценка почвы населенных мест: Инструкция 2.1.7.11-12-5-2004. Минск. 2004.- 39 с.

13. Петухова Н.Н., Кузнецов В.А. К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси// Доклады АН Беларуси.-1992.- Том 26. №5.- С.461-465.
14. Матвеев А.В., Бордон В.Е., Нечипоренко Л.А. Геохимические особенности покровных отложений на территории Белорусского Полесья. Литосфера.- 2007, №2 (27), с. 147-153.

## **Concentration of heavy metals (*Pb, Ni, Zn, Cu, Mn, Zr, Cr, Co* and *Sn*) in soils of the Central area of Belarus**

Pozniak S.S.

International Sakharov Environmental University

*Study of heavy metals concentration in soils of the Central area of Belarus allowed to get new data of *Pb, Ni, Zn, Cu, Mn, Zr, Cr, Co* and *Sn* bulk forms concentration. There was experimentally recorded that spatial variations of heavy metals bulk forms concentration were more significant as compared to time variations. In the course of the study there was evaluated soil contamination with heavy metals within 10 km radius around Zhodino city.*

**Key words:** heavy metals, bulk concentration, soil cover, level of contamination, maximum permissible concentration, regional background.