

ХИМИЯ

ПОЧВ

УДК [504J3.054:546.47+631.416.847](476-21)

ЦИНК В ПОЧВАХ ГОРОДОВ БЕЛОРУССИИ

© 2004 г. В. С. Хомич, Т. И. Кухарчик, С. В. Какарека

*Институт проблем использования природных ресурсов и экологии Национальной академии наук Белоруссии
220114. Минск, Староборисовский тракт, 10*

Поступила в редакцию 01.07.2002 г.

Обсуждаются результаты исследования загрязнения почв цинком ряда городов Белоруссии. Показано, что наиболее типичны для городов аномалии смешанного происхождения (атмо-вейстогенно-агрогенного), занимающие до 1/3 городской территории. Аномалии гидрогенного происхождения формируются в зонах воздействия химических производств, а также накопителей жидких и твердых отходов и отличаются высокой интенсивностью (с содержанием цинка до 10 г/кг). Рассматриваются особенности распределения цинка по почвенному профилю. Обсуждаются результаты исследования подвижных форм цинка и условия их накопления в растениеводческой продукции. На примере г. Светлогорска выполнена оценка экологического риска, связанного с потреблением овощей, выращенных на загрязненных почвах.

ВВЕДЕНИЕ

Цинк является высокоподвижным биофильным и технофильным элементом широкого диапазона действия на живые организмы [6], что определяет актуальность изучения его поведения в различных средах, в том числе и в городских почвах. В этой связи представилось необходимым обобщить накопленную информацию о содержании, распределении и формах нахождения цинка в почвах городов Белоруссии с целью выявления источников поступления данного элемента, характеристики оценки опасности поступления цинка в организм человека с растениеводческой продукцией, выращенной на загрязненных почвах.

Фактической основой работы явились результаты детальных почвенно-геохимических исследований, выполненных на территориях городов Минск, Гомель, Пинск и Светлогорск, в зонах влияния предприятий по производству хрустального стекла (гг. Борисов и Березовка) и ряда полигонов для складирования отходов производства и потребления; привлекались также опубликованные материалы других исследователей.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ

Картографирование и анализ пространственной структуры загрязнения почвенного покрова проводились на основании результатов ландшафтно-геохимической съемки городских территорий. Использовалась сеть с шагом 500 м. В районах интенсивных техногенных нагрузок (на промплощадках, в зонах влияния очистных сооружений и свалок) сеть сгущалась. Как правило, отбирался смешанный образец почв (почвогрунтов) с глубины 0-10 см.

Содержание цинка в почвах определялось с использованием атомно-абсорбционного и эмиссионного спектрального методов. Для оценки форм нахождения металла в почвах использовались ацетатно-аммонийная (подвижные формы цинка - водорастворимая и обменная) и слабая солянокислая (1 М HCl) вытяжки (потенциально подвижные формы).

Для каждого из исследованных городов построены карты полей распределения концентраций цинка, позволяющие определить пространственные особенности накопления элемента. Как известно, при исследовании городов выявление аномалий является одной из ключевых проблем. Среди наиболее распространенных и простых вариантов ее решения - использование в качестве критерия аномальности определенной величины превышения фоновых концентраций как для конкретных проб, так и для выборочных средних. В соответствии с рекомендациями [18], в качестве критерия аномальности принято превышение фона в 1.5 раза.

Второй использованный метод выделения педогеохимических аномалий цинка основан на анализе параметров распределения выборки. При этом подходе аномальным считалось содержание цинка, достоверно превышающее фоновое с учетом его фоновой вариации. В соответствии с [1], выделялись аномалии цинка для одной и девяти коррелирующихся точек по формулам соответственно $C_a = x + 3s$ и $C_a = x + s$ (при нормальном распределении цинка в фоновой выборке), где C_a - аномальная концентрация, x - среднее фоновое содержание, s - среднее квадратичное отклонение фоновых содержаний. Точки с аномальными концентрациями объединялись в аномалии по внешнему контуру минимально аномальной кон-

центрации с учетом числа точек и их обеспеченности; при этом в состав аномалии попадала и некоторая часть точек с фоновыми концентрациями, что обусловлено неоднородностью полей загрязнения. Данный подход использован при исследовании полей распределения цинка в почвах г. Гомеля.

Для оценки опасности загрязнения почв цинком использовались ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) для валовых форм (100 мг/кг) и предельно допустимые концентрации (ПДК) для подвижных, извлекаемых аммонийно-ацетатной вытяжкой (23 мг/кг) [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фон. По обобщенным данным [12], в подзолистых почвах европейской территории бывшего СССР среднее содержание цинка составляет 60 мг/кг, в бореальных таежно-лесных почвах Западной Европы - 50 мг/кг. Средние содержания цинка в поверхностных слоях почв различных стран мира, по данным Кабата-Пендиаса и Пендиаса [7], изменяются в пределах 17-125 мг/кг. По данным регионального мониторинга лесных почв Литвы [2], среднее содержание цинка в минеральных почвах составляет 24 мг/кг (пределы 4-51 мг/кг), в торфяных - 48 мг/кг (пределы 21-106 мг/кг).

Региональный кларк цинка в почвах Белоруссии не определен. По данным мониторинга фонового глобального загрязнения почв, содержание цинка в почвах Белоруссии в 2000 г. составило 17.6 мг/кг [16]: Однако для цинка характерна значительная вариабельность концентраций в зависимости от гранулометрического состава почв и других факторов. Согласно [13], среднее валовое содержание цинка в дерново-подзолистых песчаных почвах составляет 18.4 мг/кг, в дерново-подзолистых на моренных суглинках - 46.6, на лёссовидных суглинках - 37.6, в дерново-подзолистых песчаных заболоченных - 27.1 мг/кг. По данным Васильевой и Тановицкой [3], почвы Национального парка "Браславские озера" с преобладанием суглинистых и алевритовых частиц содержат в среднем 28.7 мг/кг цинка; почвы Березинского биосферного заповедника, охотхозяйства "Телеханы" и Национального парка "Припятский", развитые на песчаных и супесчаных породах, содержат примерно в два раза меньше цинка (соответственно 14.3, 12.1 и 11.1 мг/кг).

Учитывая значительные региональные различия в содержании цинка в почвах Белоруссии, для оценки загрязненности городских почв нами рассчитывался местный фон для каждого из исследуемых городов. Для этого использовались значения концентраций элемента в почвах периферийных участков городов и пригородных зон, в

наименьшей степени подверженных химической трансформации [15, 20]. Согласно полученным расчетам, для г. Пинска фоновое содержание цинка определено в 20.0 мг/кг, Минска - 18.2, Гомеля - 12.0 (для песчаных разновидностей почв) и 18.3 (для почв на лёссовидных супесях), для Светлогорска - 76.1 мг/кг.

Источники загрязнения почв цинком. Спектр источников поступления цинка в окружающую среду городов Белоруссии достаточно широк. Выполненные нами исследования показали, что цинк в высоких концентрациях содержится в промышленных аэрозолях различных производств, характерных для Белоруссии, в летучей золе при сжигании топлива. Так, его содержание в пыли электросталеплавильного производства находится в пределах 96000-167000, стекольного - 129-13156, цементного - 202-13 608, чугунолитейного - 209-2330 мг/кг. Легучая зола при сжигании мазута содержит цинк в количестве 780-2930 мг/кг, торфа - 75-5370, дров - 506-960 мг/кг [4].

Значительные количества цинка поступают в окружающую среду городов с твердыми промышленными и бытовыми отходами. Высокое содержание цинка зафиксировано нами в шламах производства искусственных волокон (более 10000 мг/кг), нефтешламах (720 мг/кг) и лигнине (750 мг/кг). Повышено содержание цинка в золошлаковых отходах ТЭЦ - 200 мг/кг. В субстратах полигонов бытовых отходов среднее содержание цинка составляет около 2000 мг/кг, в компосте из ТБО - 605 мг/кг. Повышено по сравнению с почвой содержание цинка в смете с улиц (164 мг/кг) и осадке снеговой свалки (145 мг/кг) [21].

Источником загрязнения почв цинком являются осадки сточных вод очистных сооружений, используемые в качестве удобрений и содержащие около 3000 мг/кг цинка. Поступает цинк в почву также с минеральными и органическими удобрениями.

Цинк привносится в почву с отходами повседневной бытовой деятельности, включая золу из бытовых печей и кострищ. Это характерно прежде всего для районов индивидуальной застройки городов, где широко практикуется утилизация (захоронение) отходов в пределах собственных участков (в том числе оцинкованной посуды), сжигание отходов ландшафтной уборки территорий (опада, сухой травы, обрезки деревьев), в ряде случаев - бытовых отходов. Золу же используют как удобрение на обрабатываемых участках. В результате наших исследований установлено, что содержание цинка в остаточной золе после сжигания твердых видов топлива достигает 250-850 мг/кг, в золе кострищ после сжигания опада с примесью бытового мусора - 230-960 мг/кг. Следует отметить, что в бытовых печах сжигается

Таблица 1. Основные параметры содержания валового цинка в почвах городов, мг/кг

Показатель	Светлогорск*	Гомель**	Минск**	Пинск**
Количество проб	189	608	906	98
Среднее	197.7	49.7	35.0	46.0
Медиана	50	21.0	29.9	16
Максимум	>10000.0	7367	132.4	153.8
Стандартное отклонение	808.6	301.9	17.2	38.8
Коэффициент вариации	408.9	607.1	49.1	84.2
Встречаемость проб с превышением ОДК, %	20	9.2	0.2	20.5
<i>Ka</i> (коэффициент аномальности по отношению к местному фону)	2.8	3.7	1.9	2.3

* Эмиссионный спектральный метод.

** Атомно-абсорбционная спектрофотометрия.

также значительная часть бытовых отходов (бумага, загрязненная древесина, упаковочный материал, частично текстиль); во многих случаях именно этим и обусловлены высокие концентрации загрязняющих веществ, в том числе и цинка. Экстремально высокие концентрации цинка характерны для зольного остатка после сжигания в кострах автомобильных шин: 32000-52000 мг/кг.

Содержание цинка в почвах городов Белоруссии. Опубликованные данные о содержании цинка в почвах городов Белоруссии довольно разрозненны и зачастую противоречивы. Так, по данным Центра радиационного контроля и мониторинга природной среды Департамента гидрометеорологии, среднее содержание цинка в почвах городов Белоруссии находится в пределах 14.5-64.6 мг/кг [16, 17]. При этом в почвах г. Минска среднее содержание цинка, по данным опробования 2000 г., составляет 52.1 мг/кг при диапазоне значений от 41.6 до 70 мг/кг. По оценкам же Лукашева и Окунь [9], среднее содержание цинка в почвах Минска составляет 226 мг/кг (максимальное - 3000); в почвах других городов находится на уровне 30-50 мг/кг. Очень высокие концентрации этого элемента в почвах Могилева (до 10 г/кг) выявлены сотрудниками Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (г. Москва) при эколого-геохимической съемке города, выполненной в 1990 г., тогда как по данным Лукашева и Окунь [9] максимальное содержание цинка составляет 500 мг/кг. Согласно экологическому бюллетеню за 2000 г. [17], диапазон концентрации цинка в почвах Могилева находится в пределах 1.2-44.5 мг/кг при среднем значении 26.6 мг/кг. Приводимые средние и другие статистические параметры содержания цинка базируются, как правило, на результатах анализа весьма ограниченного числа проб (например, 15-50 при мониторинго-

вых исследованиях). Это обстоятельство в сочетании с различиями в методах определения существенно затрудняет использование и сопоставление данных.

Нами на основании большого фактического материала определены основные статистические параметры распределения цинка в почвах ряда городов Белоруссии (табл. I). Установлено, что распределение цинка в выборке обычно подчиняется логнормальному распределению. Во всех изученных городах цинк является накапливающимся элементом (средний коэффициент аномальности находится в пределах 1.9-3.7), хотя уровень загрязнения почв существенно различается как в пределах города, так и между городами. Распределение цинка в почвах, так же, как и других технофильных элементов, существенно различается: коэффициент вариации находится в пределах от 49 до 607. Во многих случаях высока доля проб с превышением ОДК: например, в Светлогорске и Пинске каждая пятая проба загрязнена цинком выше установленных нормативов, в Гомеле - каждая десятая. Незначительное число проб с превышением ОДК для г. Минска объясняется достаточно интенсивным (на фоне других городов Белоруссии) ростом города и включением в городскую черту микрорайонно-новостроек, отличающихся сравнительно низкими концентрациями тяжелых металлов в почвах.

Пространственная структура загрязнения почв. Разнообразные источники поступления цинка в городскую среду обусловили формирование различных по генезису и структуре геохимических аномалий. С учетом разработок Ю.Е. Саета, Е.П. Сорокиной, В.А. Алексеенко, Н.С. Касимова, Н.Ф. Мырляна, Е.П. Янина и других исследователей все типы педогеохимических аномалий по генезису могут быть отнесены к атмосферным, гидrogenным, вейстогенным, био-



Рис. 1. Распределение цинка в почвах г. Гомеля: 1 – <10; 2 – 10–20; 3 – 20–40; 4 – 40–80; 5 – >80 мг/кг.

генным и агрогенным или иметь смешанное происхождение.

Как и следовало ожидать, пространственное распределение цинка в почвах городов Белоруссии характеризуется мозаичностью. При этом достаточно четко выделяются обширные ореолы повышенных концентраций, охватывающие центральную историческую часть города и зоны воздействия близ расположенных промышленных предприятий, занимающие до 1/3 городской территории (рис. 1). Данная закономерность проявляется в городах Минск, Гомель и Пинск, при этом обнаруживается сходство со структурой распределения свинца. Типична ситуация, когда соседствуют ореолы с контрастными значениями, либо внутри ореолов с высоким содержанием цинка обнаруживаются участки с фоновыми концентрациями. Согласно Кабата-Пендиасу и др. [5, 7], при производстве строительных работ и разрушении почвенного покрова в районе новостроек формируются отрицательные геохимические аномалии. Всего в Гомеле и Минске насчитывает-

ся около 10 выделов с содержанием цинка в 2 и более раз выше фонового, в Пинске – 5.

Достоверность формирования геохимических аномалий цинка подтверждается статистическим методом их выделения на примере г. Гомеля (рис. 2). Всего к аномальным относится более 25% отобранных проб. При этом аномальная концентрация для единичной пробы зафиксирована в 11% случаев, для двух – в 5.6%, для трех – в 11% случаев. Такой тип структуры аномалий имеет, как правило, смешанное атмосферно-вейстогенно-агрогенное происхождение и характерен для большинства городов Белоруссии.

Аномалии гидрогенного генезиса выявлены в Светлогорске, где расположено предприятие по производству химического волокна, использующее цинк в технологических процессах. Наиболее интенсивные аномалии (с содержанием цинка до 10000 мг/кг) приурочены к зонам влияния хранилищ жидких и твердых цинксодержащих отходов и пониженным элементам рельефа – области растекания загрязненных грунтовых вод. Отдельные небольшие по площади аномалии цинка сформир-

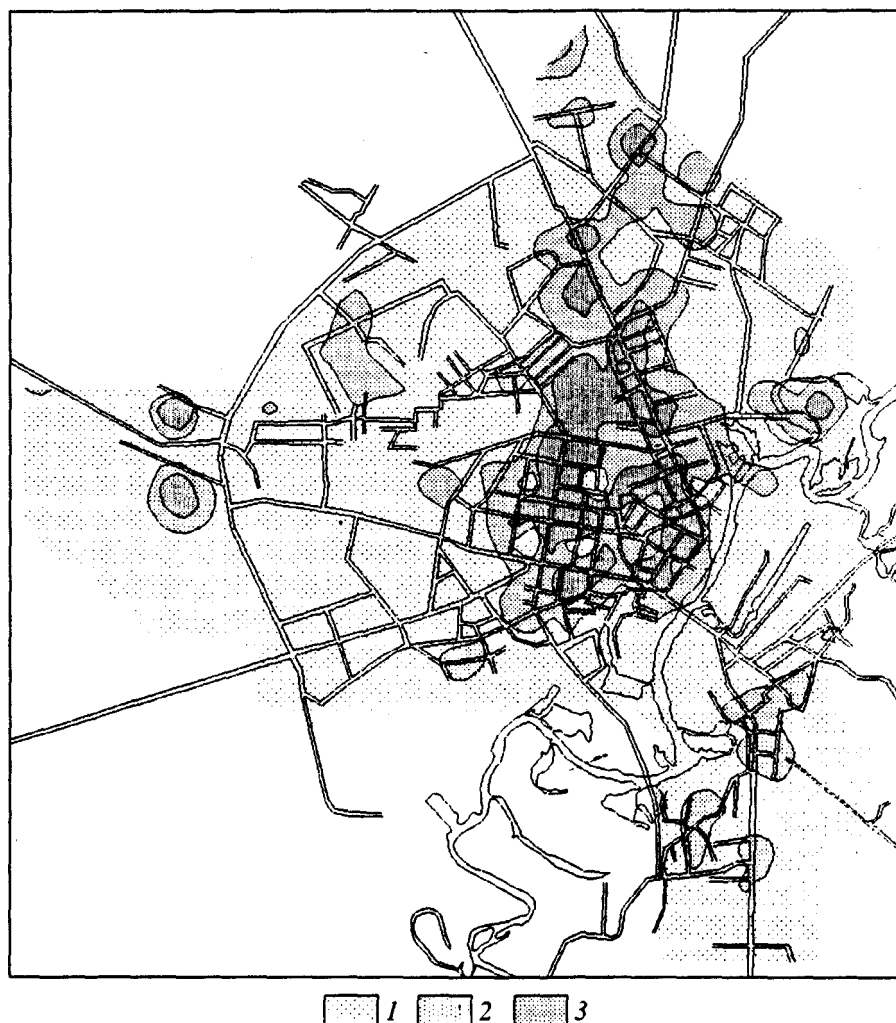


Рис 2. Распределение аномалий цинка в почвенном покрове г. Гомеля. Концентрации цинка: / - ниже аномальных; 2 - аномальные для двух-деяти коррелирующихся проб; 3 - аномальные для единичной пробы.

ровались в почвах жилой застройки города. Среди вероятных источников поступления цинка - автотранспорт и бытовое загрязнение.

Аномалии цинка атмотехногенного происхождения для городов Белоруссии, пожалуй, нетипичны, поскольку отсутствуют крупные ^миттеры цинка (за исключением Белорусского металлургического завода). Тем не менее исследования, выполненные в зонах влияния предприятий по производству хрустального стекла (г. Березовка и Борисов), показали высокий уровень загрязнения почв не только свинцом, но и цинком. Это весьма определенно указывает на поступление металлов с аэрозольными выбросами. Из общего количества почвенных проб (30), отобранных вблизи стеклозавода "Неман" (г. Березовка) в течение 1997-1998 гг., в 43% зафиксированы концентрации цинка более 100 мг/кг. Максимальное содержание составило 500 мг/кг. Содержание цинка в почвах в

зоне влияния аналогичного производства в г. Борисове находится в пределах 45-300 мг/кг.

Связь содержания цинка с функциональным использованием территории. Территориальная структура полей распределения цинка анализировалась путем расчленения общей выборки на ряд частных по определенному априорно существенному фактору с последующим анализом значимости различий. В качестве такого фактора рассматривался вид использования территории — один из основных факторов техногенно обусловленных различий в накоплении и миграции элементов и формировании аномалий.

Для городов Минск, Гомель и Светлогорск нами выделены следующие функциональные типы земель: промышленные, сельскохозяйственные, селитебные (многоэтажная жилая застройка), агроселитебные (жилая застройка сельского типа), рекреационные, saniрующие (территории очист-

Таблица 2. Содержание валового цинка в почвах территорий различного функционального назначения

Функциональная зона	Светлогорск			Гомель			Минск		
	<i>n</i>	мг/кг	<i>Ka</i>	<i>n</i>	мг/кг	<i>Ka</i>	<i>n</i>	мг/кг	<i>Ka</i>
Селитебная	10	117.0	1.5	133	46.2	3.0	308	39.7	2.2
Агроселитебная	18	90.7	1.2	129	108.6	7.1	115	41.0	2.2
Промышленная	15	275.3	3.6	88	36.0	2.4	70	41.5	2.3
Сельскохозяйственная	39	240.1	3.2	91	14.8	0.9	184	23.0	1.3
Рекреационная (зеленая)	81	80.9	1.1	105	26.5	1.7	156	30.4	1.7
Дачная	11	183.4	2.4	-	-	-	-	-	-
Транспортная	3	56.7	0.7	-	-	-	14	50.4	2.8
Санирующая	6	291.6	3.8	18	165.7	10.9	-	-	-
Неупорядоченного использования	6	1784.6	23.4	45	27.5	1.8	59	37.1	2.0

Примечание: Прочерк - определение не проводили.

ных сооружений), дачные, транспортные, ландшафты неупорядоченного использования (земли без определенного функционального назначения - пустыри, неудобья и пр.).

Полученные данные указывают, что во всех городах четко выявляются различия в содержании цинка по функциональным зонам (табл. 2). Наиболее высокие уровни накопления в почвах ландшафтов неупорядоченного использования и санирующих.

Аномально высокая концентрация цинка в почвах агроселитебных ландшафтов г. Гомеля - это результат совокупного воздействия источников в данной зоне и, прежде всего, бытового загрязнения, поскольку в Гомеле высока доля индивидуальной застройки в старообжитых районах города.

Близкие уровни накопления цинка в почвах промышленных, сельскохозяйственных и дачных функциональных зон в Светлогорске являются следствием размещения полей овощной фабрики и дачных участков в санитарно-защитных зонах предприятий (в том числе ПО "Химволокно") и в зоне влияния шламохранилищ.

Попарная оценка достоверности различий выборочных средних (по *t*-критерию Стьюдента) и дисперсионный анализ на примере г. Минска позволили выявить влияние вида использования территории на накопление цинка. Установлено, что по накоплению цинка достоверно выделяются сельскохозяйственные, рекреационные (содержание ниже среднего) и транспортные (содержание выше среднего) ландшафты [20].

Распределение цинка по почвенному профилю. В ходе исследований установлено, что максимум аккумуляции цинка приурочен к наиболее гумусированным горизонтам

независимо от происхождения аномалий. При преимущественно атмотехногенном поступлении цинка загрязнение почв чаще всего ограничивается глубиной перегнойно-аккумулятивного горизонта - до 10-20 см. Максимальные значения в зонах интенсивных источников атмотехногенного воздействия (в данном случае производства хрустального стекла) приурочены к приповерхностному слою почвы (0-2 см), хотя эта закономерность не всегда проявляется, поскольку в условиях города часто осуществляется подсыпка почвогрунтов и обновления газонов (рис. 3).

Миграция цинка с инфильтратами и загрязненными грунтовыми водами обусловила высокую его концентрацию до глубины 30-35 см, а в отдельных случаях - до 1.0-1.5 м (рис. 4). Краткая характеристика разрезов: 1 - у шламохранилища,

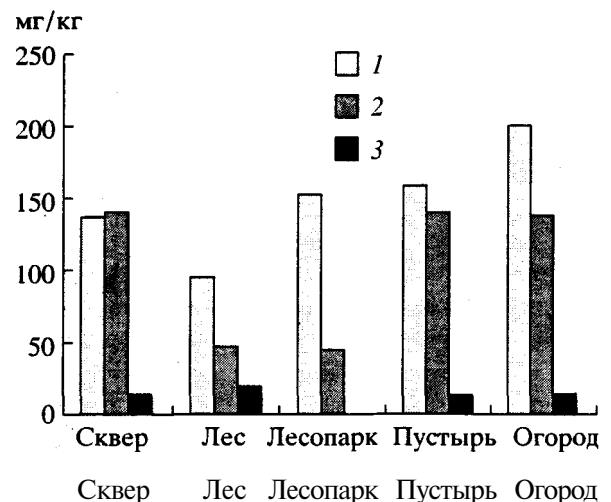


Рис. 3. Накопление цинка в поверхностных горизонтах почв в зоне влияния производств хрустального стекла. Глубина отбора проб: 1 - 0-2; 2 - 2-10; 3 - 40-60 см.

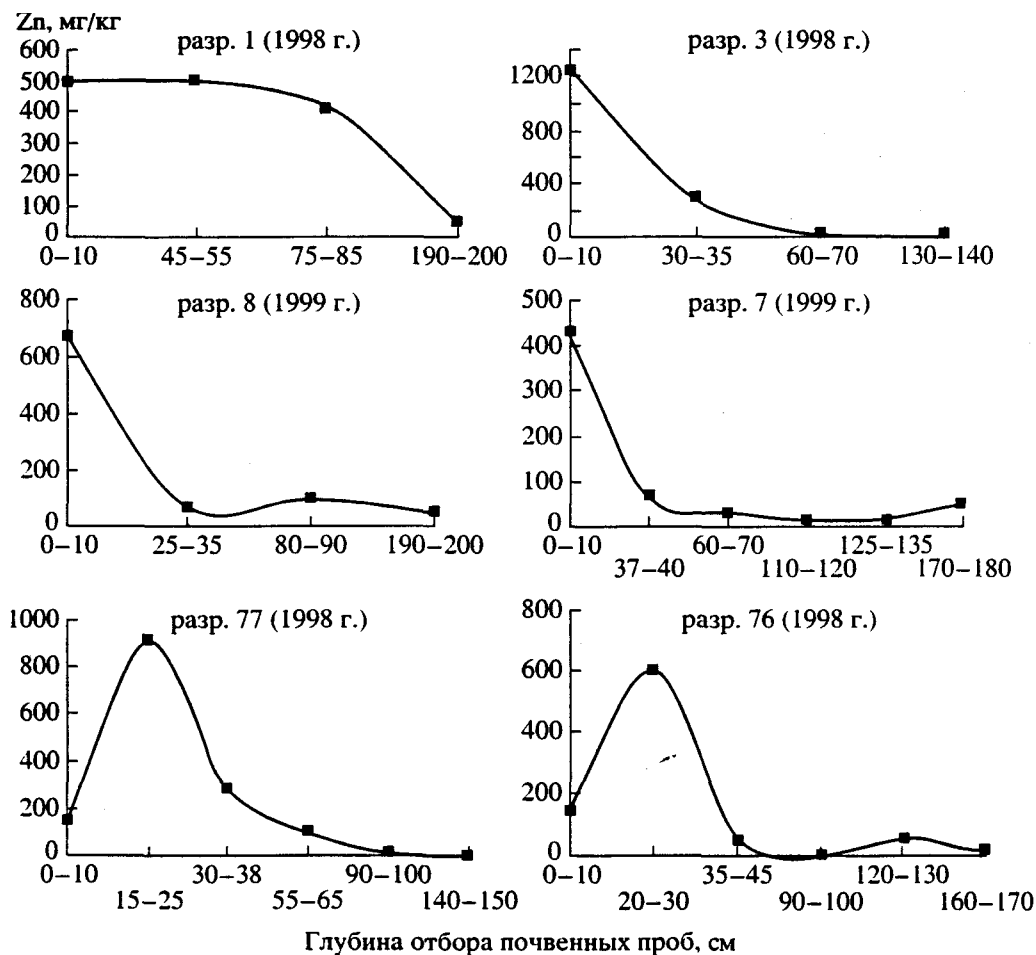


Рис. 4. Распределение цинка по почвенным разрезам.

ландшафт элювиально-аккумулятивный, почвенный профиль нарушен, пустырь: 3 - в 250 м к западу от шламохранилища, ландшафт супераквальный, почва торфянисто-глеевая осушенная, дачные участки; 8 - в 15 м южнее шламохранилища, ландшафт элювиально-аккумулятивный, почва дерново-подзолистая с признаками временного избыточного увлажнения, придорожная полоса; 7 - в 350 м юго-западнее шламохранилища, ландшафт супераквальный, почва торфянисто-глеевая, заболоченный луг; 77 - у борта свалки ТПО, ландшафт супераквальный, почва торфянисто-глеевая с наносным горизонтом; 76 - в 250 м от свалки, ландшафт элювиально-аккумулятивный, почва торфянисто-глеевая осушенная, пашня. Например, вблизи шламохранилища содержание цинка в почвенном профиле практически одинаково до глубины 1 м и составляет 400-500 мг/кг (разр. 1). В данном случае одним из факторов равномерного распределения цинка является отсутствие перегнойно-аккумулятивного горизонта, снятого при строительстве шламохрани-

лищ, и однородность гранулометрического состава отложений.

С удалением от источников загрязнения типичными становятся кривые с резким уменьшением содержания цинка с глубиной (разр. 3, 7 и 8). Небольшие, так называемые "всплески" повышения концентраций цинка (до 50-100 мг/кг) обнаружены в пределах супераквального ландшафта вблизи уровня залегания грунтовых вод, что подтверждает гидрогенный генезис аномалии (разр. 7 и 8).

Выявлены случаи со смещением максимальных значений в нижележащие горизонты, связанные с погребением торфяного (перегнойного) горизонта. В частности, у борта отвала промышленных отходов торфяной горизонт оказался перекрытым мелкоземом, выносимым из тела отходов (разр. 77). Аналогичная ситуация с максимумом цинка на глубине 20-30 см связана с сохранением остаточного слоя торфа под пахотным горизонтом (разр. 76).

Формы нахождения цинка. В ходе исследований установлено, что содержание потен-

Таблица 3. Содержание потенциально подвижного (над чертой) и подвижного (под чертой) цинка в почвах городов Белоруссии

Показатель	Светлогорск	Березовка	Минск*	Борисов
Количество проб	$\frac{17}{35}$	$\frac{8}{11}$	$\frac{\text{Нет}}{42}$	$\frac{\text{Нет}}{5}$
Содержание, мг/кг (пределы)	$\frac{1.3-1522}{2.1-3515}$	$\frac{1.1-118.3}{1.5-149}$	$\frac{\text{Нет}}{7.9-3427}$	$\frac{\text{Нет}}{22.2-82.8}$
Доля подвижных форм, %	$\frac{3.8-76.1}{5.9-86.8}$	$\frac{1.2-46.8}{0.8-45.3}$	Не опр.	$\frac{\text{Нет}}{17.4-35.2}$

* Близ хранилищ твердых отходов и локальных очистных сооружений на территории промышленных отходов.

циально подвижного цинка (солянокислая вытяжка) и подвижного (аммонийно-ацетатная вытяжка) в почвах городов достаточно высоко: зафиксированные максимальные значения для почв Светлогорска составляют соответственно 1520 и 3515 мг/кг, Березовки – 118 и 149 мг/кг (табл. 3). Следует отметить, что приведенные значения получены для разных выборок проб и лишь подчеркивают многообразие сложившихся ситуаций в городах. Для совпадающих точек опробования содержание цинка в почве, извлекае-

мое солянокислой вытяжкой, выше, чем аммонийно-ацетатной (рис. 5). Экстремально высокие уровни подвижного цинка во всех исследованных городах обнаруживаются в непосредственной близости от источников воздействия: хранилищ отходов и очистных сооружений.

Согласно Методике крупномасштабного агрохимического и радиологического исследований почв [10], почвы характеризуются избытком цинка для растений при содержании кислоторастворимых форм выше 10 мг/кг для минеральных

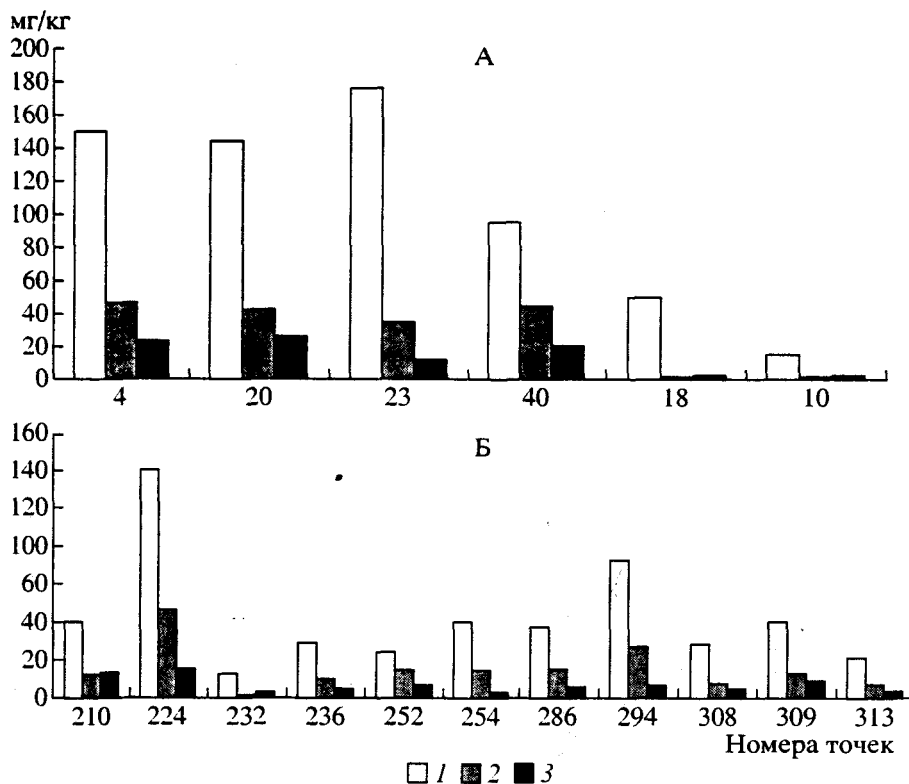


Рис. 5. Соотношение валового содержания цинка (1), потенциально подвижной (2) и подвижной форм (3) в городских почвах. Точки опробования в г. Березовка (А) характеризуют следующие угодья: 4, 20, 23 и 40 – огороды; 10 и 18 – лес; в г. Светлогорск (Б): 210, 224, 236, 252, 254, 286, 294, 308 и 309 – огороды; т. 232 – луг; т. 313 – пашню.

Таблица 4. Загрязнение овощей цинком, выращенных на приусадебных и дачных участках на территории г. Светлогорска и в зоне его влияния

Место отбора	Превышение ОДК валового (ПДК подвижного) цинка в почвах, кратность	Превышение ПДК цинка в овощах, кратность
Садово-огородное товарищество "Строитель"	12.5 (24.2)	Свекла, 3.5 Капуста, 15.6 Морковь, 4.0
Пос. Светоч, ул. Лазо (приусадебный участок)	1.0 (1.4)	Свекла, 3.5
Шатилки, ул. Социалистическая (приусадебный участок)	3.0 (1.7)	Свекла, 4.6 Капуста, 2.1
Огороды западнее ТЭЦ	1.0 (1.1)	Свекла, 1.2 Капуста, 1.3
Як. Слобода, ул. Школьная (приусадебный участок)	1.8 (0.6)	Свекла, 0.93
Садовый участок к зап. от ПО "Химволокно"	1.0 (0.9)	Капуста, 2.2

почв и 30 мг/кг - для торфяно-болотных. Если оценивать обеспеченность почв цинком указанных городов до почвы Светлогорска в 83% случаев содержат избыточное его количество, почвы Березовски - в 70%, что еще раз подтверждает выводы о накоплении цинка в почвах городов.

Известно, что наибольшую опасность с точки зрения доступности для растений представляют подвижные формы тяжелых металлов, извлекаемые аммонийно-ацетатной вытяжкой. Результаты изучения показали, что содержание подвижных форм цинка в почвах городов во многих случаях превышает ПДК: в Светлогорске в 36.6% проанализированных проб, в Березовке и Борисове (зоны воздействия хрустальных заводов) - в 60%. Установлено, что в почвах урбанизированных территорий на долю подвижного цинка приходится до 45-85% его валового содержания, тогда как в природных условиях эта величина не превышает 10% [8, 13]. В целом достаточно четко прослеживается увеличение концентраций подвижных форм при высоких валовых содержаниях металла. Однако, при относительно низких значениях валовых содержаний (до 100 мг/кг) доля подвижных его форм может различаться.

Опасность загрязнения почв цинком и оценка риска. Основным путем поступления цинка в организм человека является загрязненная сельскохозяйственная продукция. Как известно, в Белоруссии и других странах СНГ земли индивидуальной застройки, пустыри, а также пригородные зоны интенсивно используются для выращивания овощей и картофеля. На примере г. Светлогорска нами проанализировано содержание цинка в почвах приусадебных и садово-

огородных участков, его накопление в овощной продукции и оценен риск в связи с потреблением загрязненных овощей.

Анализ содержания цинка в почвах огородов города показал, что в 38% случаев превышены санитарно-гигиенические нормативы по данному элементу. Максимальное превышение составило 40 раз по валовому содержанию и 153 - по подвижной форме.

Высокое содержание цинка в почве обусловило его интенсивное накопление в растениеводческой продукции. Как показали исследования, средняя концентрация цинка в овощах составила 19.6 мг/кг, в то время как для Гомельской обл. в целом - 2.73 мг/г [19]. При этом высока доля проб с превышением ПДК для свеклы столовой - 60%, капусты - 56%, моркови - 20%. В табл. 4 показаны наиболее загрязненные пробы овощей, выращенных на приусадебных и дачных участках. Как и ожидалось, максимальное накопление цинка в овощной продукции зафиксировано в пробах из садово-огородного товарищества "Строитель", расположенного в пределах интенсивной педогеохимической аномалии цинка гидрогенного происхождения.

Риск воздействия загрязненных овощей оценивали с использованием понятия референтной дозы - величины потребления элемента, выше которой высока вероятность негативных последствий для здоровья людей. В качестве референтной дозы перорального воздействия (потребления) цинка принято значение 0.3 мг/кг массы тела в день, в качестве средней нормы потребления овощей - 4.3 г/кг массы тела в день [22]. Несмотря на

всю условность использования американских норм потребления в наших условиях, данный подход все же позволяет ориентировочно оценить опасность потребления сельскохозяйственной продукции, выращенной на загрязненных территориях.

При указанной средней норме потребления овощей и среднем содержании цинка в них - 19,6 мг/кг дозовая нагрузка цинка составит 0,08 мг/кг массы тела в день, что ниже референтной дозы. Однако на участках с сильно загрязненными почвами нагрузка по цинку значительно выше. Так, например, при потреблении овощей с территории садово-огородного товарищества "Строитель", содержащих в среднем 77,6 мг/кг цинка, нагрузка по элементу составит 0,33 мг/кг массы тела в день, что выше референтной дозы.

ВЫВОДЫ

Цинк является одним из приоритетных загрязнителей городских почв на территории Белоруссии. Он относится к накапливающимся элементам со средним выявленным коэффициентом аномальности от 1,9 до 3,7 при высокой вариабельности содержания. Наиболее типичны для городов площадные аномалии смешанного генезиса, занимающие до 1/3 городской территории. Вместе с тем, наиболее интенсивные, хотя и менее крупные по площади, аномалии цинка в почвах выявлены в зонах интенсивного техногенного воздействия накопителей цинкосодержащих шламов и связаны, прежде всего, с его поступлением в почвы с гидrogenными потоками или с отходами.

Опасность загрязнения городских почв цинком связана с высокой долей его подвижных форм и, как следствие, поглощением элемента растениями. Это подтверждено полученными данными о превышающих допустимые уровни накопления цинка в почвах и выращенных на них овощах. Данная проблема представляется актуальной и для других стран, в которых для выращивания сельхозпродукции используются загрязненные городские и пригородные территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.А.* Экологическая геохимия: Учебник. М.: Логос, 2000. 627 с.
2. *Вайчис М., Рагуотис А., Армолайтис К., Кубертвичене Л.* Валовое содержание тяжелых металлов в лесных почвах Литвы // Почвоведение. 1998. № 12. С. 1489-1494.
3. *Васильева Л.И., Тановицкая Н.И.* Техногенная составляющая тяжелых металлов в почвах Белоруссии // Лггасфера. 2001. № 2 (15). С. 137-142.
4. Выбросы тяжелых металлов: опыт оценки удельных показателей. Минск: Институт геологических наук НАН Белоруссии, 1998. 156 с.
5. Геохимия окружающей среды / Под ред. Ю.Е. Саета, Б.А. Ревича, Е.П. Янина и др. М.: Недра, 1990. 335 с.
6. *Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов: Справочник / Под ред. Э.К. Буренкова Кн. 4: Главные d-элементы. М.: Экология, 1995. 416 с.
7. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989. 439 с.
8. *Кадацкий В.Б., Васильева Л.И., Тановицкая Н.И., Головатый С.Е.* Распределение форм тяжелых металлов в естественных ландшафтах Белоруссии // Экология. 2001. № 1. С. 33-37
9. *Лукашев В.К., Окунь Л.В.* Загрязнение тяжелыми металлами окружающей среды г. Минска. Минск: Институт геологических наук АН Белоруссии, 1996. 80 с.
10. Методика крупномасштабного агрохимического и радиоэкологического исследования почв сельскохозяйственных угодий Республики Белоруссии. Минск, 1992. 44 с.
11. Перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Белоруссии. Т. 1. Минск. 1995. 206 с.
12. *Петрухин В.А., Бурцева Л.В., Лапенко Л.А., Чичева Т.Б., Виженский В.А., Комарденкова И.В.* Фоновое содержание микроэлементов в природных средах (по мировым данным) // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Вып. 5. Л., 1989. С. 4-27.
13. Почвы Белорусской ССР / Под ред. Т.Н. Кулаковской, П.П. Рогового и Н.И. Смеяна. Минск: Уражай, 1974. 328 с.
14. Природная среда Белоруссии / Под ред. В.Ф. Логинова. Минск: НООО "БИП-С", 2002. 424 с.
15. Светлогорск: экологический анализ города. Минск, 2002. 216 с.
16. Состояние природной среды Белоруссии. Экологический бюллетень 1992 г. / Под ред. В.Ф. Логинова. Мн., 1993. 123 с.
17. Состояние природной среды Белоруссии. Экологический бюллетень 2000 г. / Под ред. В.Ф. Логинова. Минск, 2001. 230 с.
18. Учет и оценка природных ресурсов и экологического состояния территорий различного функционального использования. Методические рекомендации. Сост.: А.А. Головин, И.А. Морозова, Н.Я. Трефилова, Н.Г. Гуляева. М.: ИМГРЭ, 1996. 88 с.
19. *Филонов В.П., Мурох В.И., Коломиец Н.Д., Зайцев В.А., Долгий А.С., Качан В.И.* Контроль безопасности продуктов питания в Республике Белоруссия // Вопросы питания. Т. 70. 2001. № 6. С. 19-23.