

УДК 631.412

**Н. В. Михальчук¹, М. М. Дашкевич², Е. А. Брыль²,
О. А. Галуц², С. Н. Михальчук³**

¹канд. биол. наук, доц.,

директор Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси

²науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси

³мл. науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси

e-mail: info@paei.by

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОГОРОДНЫХ ПОЧВАХ ЖИЛОЙ УСАДЕБНОЙ ЗАСТРОЙКИ Г. БРЕСТА

Показано, что приоритетными элементами – загрязнителями огородных почв жилой усадебной застройки г. Бреста являются цинк и свинец. В 86,7 % исследованных проб зафиксированы уровни содержания цинка выше значений ПДК (55 мг/кг); при этом в 50 % проб уровни ПДК превышены в два и более раза. Концентрация свинца в 13,3 % образцов превышает ПДК (32 мг/кг); еще столько же проб демонстрируют значения 0,8–0,9 ПДК.

**MIKHALCHUK N. V., DASHKEVICH M. M., BRYL A. A., GALUTS O. A., MIKHALCHUK S. N.
HEAVY METALS CONTENT IN GARDEN SOILS OF RESIDENTIAL ESTATE BUILDINGS IN BREST**

The article contains information indicating that zinc and lead are the priority pollutants of garden soils of residential estate buildings in Brest. In 86,7 % of samples, zinc levels were higher than the permissible concentration (55 mg/kg); at the same time, in 50 % of the samples, the permissible concentration levels are exceeded by two or more times. The lead concentration in 13,3 % of the samples exceeds the permissible concentration (32 mg/kg); the same number of samples show values of 0,8–0,9 permissible concentration.

Введение

В крупных городах с развитой промышленностью и разветвленной транспортной инфраструктурой существует опасность загрязнения окружающей среды различными продуктами техногенеза. К числу приоритетных загрязнителей городских почв относятся тяжелые металлы (ТМ). Попадая в почвы, они интенсивно аккумулируются в верхнем, наиболее плодородном гумусовом горизонте. ТМ сравнительно легко накапливаются в почвах, но трудно и медленно из нее удаляются – период их полувыведения составляет от десятков и сотен лет (для цинка) до нескольких тысяч лет (для свинца). Загрязненные ТМ почвы становятся вторичным источником загрязнения сопредельных сред: приземного слоя атмосферы, растительности, природных вод. Накапливаясь в корнеобитаемом слое почвы, ТМ в течение длительного времени сохраняют способность усваиваться корневыми системами растений и включаться в процессы миграции по трофическим цепям, оказывая в конечном итоге негативное влияние на здоровье населения [1]. Согласно [2], с растительной пищей в человеческий организм попадает основное количество ТМ (75–85 %).

По мнению В. Б. Ильина [3], техногенное загрязнение городских земель ТМ особенно велико, а массовое проживание людей в этих условиях делает проблему весьма актуальной. Ситуация усугубляется тем, что на территории городов существует сельское хозяйство, ориентированное на выращивание овощей, плодовых и ягодных культур. Растительная продукция на огородных почвах жилой усадебной застройки (ЖУЗ) г. Бреста выращивается, как правило, для личного потребления, используется в течение многих лет, поэтому вероятность постепенного накопления ТМ в организме местных жителей представляется весьма высокой.

Сведения об особенностях накопления ТМ в почвах ЖУЗ г. Бреста являются весьма ограниченными, что обусловило актуальность, цель и задачи исследований.

Их результаты могут стать основой для прогнозирования состояния городской среды г. Бреста, оценки существующих и потенциальных рисков для населения, оптимизации использования природно-ресурсного потенциала города и прилегающих территорий в целях обеспечения их устойчивого развития.

Методика и объекты исследования

В работе рассматриваются восемь элементов, которые всегда включаются в группу ТМ: цинк (Zn), медь (Cu), марганец (Mn), свинец (Pb), кадмий (Cd), никель (Ni), кобальт (Co), хром (Cr). Часть из них (Zn, Cu, Mn, Co) относятся к числу почвенных микроэлементов.

Учитывая, что большинство техногенных выбросов в городской среде накапливается на поверхности почвенного покрова [4], образцы почв отбирали из пахотного слоя (огородные почвы ЖУЗ) или горизонта А1 (условно целинные почвы) до глубины 10 см в пяти местах (методом конверта) и составляли смешанный образец. В качестве условно фоновых рассматривали дерново-подзолистые песчаные почвы территорий, удаленных на 35–40 км от крупных источников техногенных выбросов загрязняющих веществ.

Экспериментальные исследования почв проводили в условиях аккредитованных лабораторий Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси. Пробы почв анализировали на содержание ТМ методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборе SOLAAR MkII M6 Double Beam AAS с пламенным атомизатором.

При расчетах коэффициента концентрации (Кс), представляющего собой отношение содержания элемента в исследуемом образце к его фоновому содержанию, использовали следующие значения концентрации ТМ в почвах юго-запада Беларуси (субрегиональный фон), мг/кг: Pb – 5,39; Cd – 0,09; Cu – 1,29; Zn – 7,43; Mn – 109,6; Ni – 0,66; Co – 0,45; Cr – 1,85.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что в возделываемых огородных почвах г. Бреста, расположенных в зонах повышенного риска загрязнения ТМ (прежде всего – вдоль оживленных автомагистралей), наблюдается большой разброс величин валового содержания большинства изученных элементов. Так, содержание свинца изменяется от 4,90 мг/кг почвы до 52,47 мг/кг, цинка – от 24,00 мг/кг до 360,37 мг/кг, меди – от 4,50 мг/кг до 41,36 мг/кг, марганца – от 58,20 мг/кг до 279,5 мг/кг.

Установлено, что в исследованных почвах наиболее высокие уровни накопления характерны для цинка: в 86,7 % проб зафиксированы уровни содержания элемента выше значений ПДК (55 мг/кг). Показательно, что в 50 % проб уровни ПДК превышены в два и более раза. В отдельных случаях в огородных почвах концентрация элемента превышает 6,5 ПДК, достигая значений 360,0 мг/кг (улица Суворова, 49). Усредненное содержание элемента составляет 126,95 мг/кг. Во всех образцах, отобранных на необрабатываемых почвах городских усадеб, содержание цинка выше ПДК; в отдельных случаях оно достигает 8,2 ПДК, или 453,7 мг/кг (район железнодорожного вокзала, улица Кижеватова, 44/1). Усредненное содержание элемента в условно целинных почвах составляет 135,06 мг/кг. Максимальные концентрации элемента в обрабатываемых почвах выше минимальных значений (24,0 мг/кг) в 15 раз; для необрабатываемых почв эта разница составляет 8,2 раза. В целом для обеих категорий почв Кс для цинка составляет 17–18 единиц (таблица). Содержание цинка в обрабатываемых почвах ЖУЗ в 4,5 раза выше в сравнении с фоновыми значениями для огородных почв; для невозделываемых почв – больше в 4,8 раза. Помимо автотранспортных эмиссий, обогащение огородных почв цинком связано также с многолетним удобрением их золой и применением компостов, изготовленных из местных компонентов. Учитывая, что цинк является высокопо-

движным биофильным и технофильным элементом широкого диапазона действия на живые организмы, актуальность дальнейшего изучения его поведения в почвах городских ландшафтов не вызывает сомнений.

Таблица. – Содержание ТМ в фоновых почвах и в огородных почвах жилой усадебной застройки г. Бреста

Показатель		мг/кг							
		Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Mn	Co	Cr
Субрегиональный фон		5,39	0,09	1,29	7,40	0,66	109,60	0,45	1,85
Огородные почвы фоновых территорий		7,10	0,13	5,34	28,04	2,80	121,71	1,73	2,46
1*	Среднее содержание	19,70	0,18	16,41	126,95	3,90	146,98	1,88	4,90
	Максимальное содержание	52,47	0,33	41,36	360,37	8,67	279,50	2,66	8,41
	Минимальное содержание	4,90	0,07	4,50	24,00	1,10	58,20	0,67	0,60
	Коэффициент концентрации	3,65	1,97	12,72	17,16	5,91	1,34	4,17	2,65
2	Среднее содержание	55,09	0,24	12,65	135,06	3,66	141,21	1,82	4,49
		(33,51)**							
	Максимальное содержание	292,46	0,90	36,90	453,67	8,61	227,60	3,50	7,51
	Минимальное содержание	6,07	0,09	7,19	55,66	2,10	83,70	0,92	1,03
	Коэффициент концентрации	10,22	2,69	9,81	18,25	5,54	1,29	4,04	2,43
		(6,22)							
ПДК		32	0,5	33	55	20	1500	8	100

Примечание – * 1 – обрабатываемые огородные почвы, 2 – необрабатываемые почвы ЖУЗ, ** () – без учета случая-артефакта

Вторым по значимости элементом-загрязнителем как по уровням накопления, особенно в сравнении с фоновыми почвами, так и по своей опасности (1 класс, ПДК – 32,0 мг/кг) является свинец. Так, усредненное содержание элемента в огородных почвах составляет 19,70 мг/кг (0,6 ПДК), в условно целинных – 55,09 мг/кг (1,7 ПДК) или без учета случая артефакта (292,5 мг/кг по ул. Речицкой, 62/1) – 33,51 мг/кг (около 1,0 ПДК), что в 1,7 раза больше, чем в возделываемых аналогах. В четырех образцах возделываемых почв (13,3 %) концентрация свинца превышает ПДК, еще в четырех – составляет 0,8–0,9 ПДК, изменяясь от 24,85 мг/кг до 30,09 мг/кг. При этом вариабельность значений концентрирования элемента в этой категории почв несколько ниже, чем у цинка, и составляет 10,7 раза. В залежных почвах 41,7 % проб оказалось с превышением ПДК. Для первой категории почв Кс составляет 3,65, для второй 10,22 (или 6,22 – при отбраковывании случая-артефакта). В сравнении с огородными почвами фоновых территорий содержание свинца в обрабатываемых почвах ЖУЗ выше в 2,8 раза, в необрабатываемых – в 4,7 раза. Следовательно, свинец гораздо интенсивнее накапливается в поверхностном слое невозделываемых почв ЖУЗ (условно целинных). Это объясняется способностью свинца образовывать прочные связи с органическим веществом вследствие его сродства с гуматными соединениями почвы [5]. В результате элемент прочно закрепляется в почве и быстро теряет подвижность [6]. Этим объясняется очень большой период полуудаления элемента из почв: от 740 до 5 900 лет, по сравнению с более токсичным кадмием (13–110 лет) и медью (310–1 500 лет) [7]. Доказательство устойчи-

вости свинца в почвах явилось причиной пересмотра значений ПДК элемента в сторону повышения во многих западных странах. Так, величины ПДК свинца в городских почвах в Англии достигают 300, Канаде – 500 и 1 000 (в зависимости от функциональных зон), США – 2 000 мг/кг [8]. Более низкое содержание свинца в возделываемых огородных почвах объясняется их регулярным перемешиванием (эффект разбавления), выносом элемента с формируемым урожаем.

Примечательно, что полученные нами результаты хорошо согласуются с литературными данными. Так, согласно [9], аккумуляция ТМ в городских почвах (на примере г. Новосибирска) происходит преимущественно в верхнем 5-см слое почвы. По содержанию в почве среди изученных ТМ также выделяются цинк (его концентрация в 30 % и более изученных проб превышает значения ПДК) и свинец.

В условиях урбоземов г. Бреста медь относится к числу элементов, более интенсивно накапливающихся в огородных почвах по сравнению с невозделываемыми их аналогами – 16,41 мг/кг против 12,65 мг/кг, или на 34,4 % больше. При этом содержание элемента в первой категории почв в 2,5 раза превосходит значения усредненных концентраций элемента в почвах г. Бреста (6,5 мг/кг), во второй – в 2 раза. Отмечены также 4 случая (13,3 %) превышения значений ПДК (33,0 мг/кг); при этом в огородной почве участка по ул. Герцена, 5 зафиксировано максимальное значение – 41,36 мг/кг (1,3 ПДК). Еще в четырех образцах возделываемых огородных почв содержание меди находится на уровне 0,7–0,8 ПДК и расположено в интервале значений 22,38–25,11 мг/кг. В условно целинных почвах максимальное содержание элемента установлено в пределах усадьбы на ул. Кижеватова, 44/1 – 36,9 мг/кг (1,1 ПДК). Субрегиональный фон по данному элементу (1,29 мг/кг) для возделываемых почв превышен в 12,7 раза, для невозделываемых – в 9,8 раза; в сравнении с фоном для огородных почв – в 3,1 и 2,4 раза соответственно. Более высокие уровни содержания меди в возделываемых огородных почвах связаны, на наш взгляд, с применением медьсодержащих препаратов (прежде всего – медного купороса) для защиты выращиваемых культур, включая плодовые.

Кадмий также относится к числу опасных загрязнителей почв, входя в так называемую «большую четверку» наиболее токсичных ТМ (наряду со свинцом, ртутью и мышьяком) [10]. Содержание кадмия в огородных почвах изменяется от 0,08 мг/кг до 0,33 мг/кг и в среднем составляет 0,18 мг/кг почвы. Для условно целинных аналогов эти значения несколько выше и варьируют от 0,09 до 0,90 мг/кг, а усредненные значения достигают 0,24 мг/кг, т. е. близки к 0,5 ПДК (0,5 мг/кг). Содержание элемента в огородных почвах ЖУЗ в 1,6–2,2 раза превышает уровни, установленные для урбоземов г. Бреста (0,11 мг/кг) и в 1,4–1,9 раза – фоновые значения для огородных почв (0,13 мг/кг). Кроме того, на участке по ул. Кижеватова, 44/1 в условно целинной почве зафиксировано содержание кадмия 0,9 мг/кг (1,8 ПДК). Для рассматриваемого элемента Кс составляет 2,0 для возделываемых почв и 2,7 – для их невозделываемых аналогов.

Марганец принадлежит к числу эссенциальных элементов, участие которых в процессах жизнедеятельности живых организмов абсолютно необходимо. Его накопление в почвах носит преимущественно биогенный характер. В городских почвах Бреста содержание элемента заметно ниже регионального (для Беларуси – 200 мг/кг) и несколько выше субрегионального (для юго-запада Беларуси – 109,6 мг/кг) фона для дерново-подзолистых песчаных почв и составляет 146,98 мг/кг для почв возделываемых огородов и 141,21 мг/кг для условно целинных почв. При этом в обоих случаях содержание марганца несколько (на 16,0–20,8 %) превышает уровень, установленный для фоновых огородных почв (121,71 мг/кг).

Результаты проведенных исследований огородных почв ЖУЗ г. Бреста подтвердили вывод, сделанный нами ранее в отношении почв агроландшафтов [11]: в пахотных почвах сельхозпредприятий юго-запада Беларуси, как и в возделываемых огородных

почвах г. Бреста содержание приоритетных элементов-загрязнителей несколько ниже в сравнении с природными аналогами и невозделываемыми почвами ЖУЗ. В условиях преимущественно атмотехногенного загрязнения окружающей среды ТМ аккумулируются прежде всего в верхнем 0–10-сантиметровом слое почвы. В случае ненарушенных почв это ведет к заметному их обогащению ТМ, особенно подвижными формами свинца и цинка. Для пахотных почв подобное накопление элементов нехарактерно вследствие перемешивания почв при вспашке и искусственного разбавления, частичного выноса ТМ с урожаем, а также дефляции, поверхностного смыва и выщелачивания.

Уровни накопления в почвах жилой усадебной застройки остальных исследуемых элементов, большинство из которых относится к числу эссенциальных, не вызывают опасения: их концентрации составляют доли ПДК, и лишь у никеля в восьми пробах возделываемых почв (26,7 %) они приближаются к 0,4 ПДК, достигая максимальных значений на участках по ул. Кижеватова, 44/1 – 7,22 мг/кг и по ул. Октябрьская, 10 – 8,69 мг/кг; при этом Кс у данного элемента составляет 5,5–5,9.

Особенно низким для рассматриваемых почв является содержание Со: для обрабатываемых почв оно в среднем составляет 1,88 мг/кг, для необрабатываемых – 1,82 мг/кг почвы. Эти значения сопоставимы с уровнем содержания элемента в фоновых огородных почвах – 1,73 мг/кг. И хотя средневзвешенное содержание Со для всех категорий изученных огородных почв в 3,8–4,2 раза выше в сравнении с субрегиональным фоном (0,45 мг/кг), обеспеченность возделываемых почв данным элементом является недостаточной (оптимальное содержание Со в почвах должно находиться в диапазоне 2,5–7,0 мг/кг, экстрагент 1М НС). Полученные нами результаты хорошо согласуются с данными украинских исследователей, где для условий северной части Волынской области 98 % проб аналогичных почв оказались с недостатком данного элемента [12]. Вместе с тем Со принадлежит к числу особо биологически важных элементов, влияющих на обмен веществ и кроветворение при синтезе гемоглобина в составе витамина В12. В свою очередь, витамин В12 повышает общую устойчивость человеческого организма к онкологическим заболеваниям.

В целом почвы ЖУЗ г. Бреста имеют следующую геохимическую специализацию (установлена исходя из величин Кс):

1) *возделываемые огородные почвы*: $Zn (17,2) > Cu (12,7) > Ni (5,9) > Co (4,2) > Pb (3,7) > Cr (2,6) > Cd (2,0) > Mn (1,3)$;

2) *условно целинные почвы*: $Zn (18,3) > Cu (9,8) > Pb (6,2) > Ni (5,5) > Co (4,0) > Cd (2,7) > Cr (2,4) > Mn (1,3)$.

Таким образом, концентрации валовых форм всех изучаемых ТМ в огородных почвах ЖУЗ г. Бреста превышают субрегиональные фоновые значения, установленные для юго-запада Беларуси. Наиболее контрастные геохимические аномалии свойственны цинку, меди и никелю. Невозделываемые (условно целинные почвы) отличаются еще более выраженными аномалиями цинка и свинца, при этом последний элемент в данном ранжированном ряду переместился с пятого на третье место.

Заключение

По результатам проведенных исследований дана оценка геохимического состояния огородных почв в зоне ЖУЗ г. Бреста. Установлено, что приоритетными элементами-загрязнителями данных почв являются Zn (содержание в большинстве образцов превышает ПДК, достигая в отдельных случаях 6,5–8,2 ПДК), Pb (превышение ПДК в 13,3 % случаев), а также Cu и Cd (превышение ПДК в отдельных случаях).

Субрегиональный фон содержания перечисленных элементов в огородных почвах повышен в 2,0 раза у Cd и в 17 раз у Zn. При этом содержание большинства иссле-

дугемых элементoв вышe в нeвoздeлывaeмыx (услoвнo цeлинныx) пoчвax усадeб пo срaвнeнию с их вoздeлывaeмыx aнaлoгaми.

Дaнныe oб урoвнeх нaкoплeния ТМ в oгoрoдныx пoчвax ЖУЗ г. Брeстa мoгут быть испoльзoвaны для oсущeствлeния срaвнитeльных oцeнoк в oтнoшeнии другoгo гoрoдoв Рeспублiкi Бeлaрусь, oпpeдeлeния эcoлoгичeскoгo рiскoв, свyзaнныx с зaгрязнeннeм пoчв ТМ, a тaкжe для сoвeршeнствoвaния систeмы нoрмирoвaния сoдeржaния элементoв-зaгрязнитeлeй в oбъeктax oкрyжaющeй срeды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколик, Г. А. Влияние влажности почвы на содержание кадмия, свинца и урана в подвижных формах / Г. А. Соколик [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2018. – Т. 54, № 3. – С. 338–348.
2. Vetter, H. Immissionstoffbelastung in der Nachbarschaft einer Blei- und Zinkhütte // H. Vetter, R. Mahlhop, K. Fruchtenicht // Berichte unter Landwirtschaft. – 1974. – Bd. 52, H. 2. – S. 327–350.
3. Ильин, В. Б. Мониторинг тяжелых металлов применительно к крупным промышленным городам / В. Б. Ильин // Агрохимия. – 1997. – № 4. – С. 81–86.
4. Шумилова, Л. П. Оценка техногенного загрязнения почв Благовещенска / Л. П. Шумилова // География и природ. ресурсы. – 2016. – № 2. – С. 36–45.
5. Водяницкий, Ю. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами / Ю. Н. Водяницкий, Д. В. Ладонин, А. Т. Савичев. – М. : Тип. Россельхозакадемии, 2012. – 304 с.
6. Баздырев, Г. И. Тяжелые металлы в системе почва – растение на склоновых землях / Г. И. Баздырев, Н. Б. Пронина, Д. Р. Родригес // Изв. ТСХА. – 2001. – № 2. – С. 81–104.
7. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 440 с.
8. Башкин, В. Н. Методологические основы оценки критических нагрузок поллютантов на городские экосистемы // В. Н. Башкин, А. С. Курбатова, Д. С. Савин. – М. : НИИПИЭГ, 2004. – 64 с.
9. Байдина, Н. Л. Загрязнение городских почв и огородных культур тяжелыми металлами / Н. Л. Байдина // Агрохимия. – 1995. – № 12. – С. 99–104.
10. Тиво, П. Ф. Тяжелые металлы и экология / П. Ф. Тиво, И. Г. Быцко. – Минск : Юнипол, 1996. – 191 с.
11. Михальчук, Н. В. Уровни содержания тяжелых металлов в фоновых и агро-техногенных почвах юго-запада Беларуси / Н. В. Михальчук, М. М. Дашкевич, О. А. Галуц // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф., г. Минск, 14–17 сент. 2016 г. : в 2 т. – Минск : Беларус. навука, 2016. – Т. 1. – С. 268–271.
12. Вступ до медичної геології : у 2 т. / за ред. Г. І. Рудька, О. М. Адаменка. – Київ : Академпредс, 2010. – Т. 2. – 448 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 19.03.2020