

УДК 504.75

**ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ПОЧВАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГЕОТЕХСИСТЕМ
КРУПНОГО ГОРОДА**

**П. В. Книга¹⁾, В. В. Парфенов²⁾, С. В. Савченко¹⁾,
Н. Е. Сосновская¹⁾, В. С. Хомич¹⁾**

¹⁾*Государственное научное учреждение «Институт природопользования
Национальной академии наук Беларуси», ул. Франциска Скорины, 10,
220076, г. Минск, Беларусь, knigapv@mail.ru*

²⁾*Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного
загрязнения и мониторингу окружающей среды, пр. Независимости, 110, 220114,
г. Минск, Беларусь, pvv@hmc.by*

Изложены результаты исследования изменения содержания кадмия, меди и цинка в почвах сельскохозяйственных геотехсистем на территории г. Минска за 30-летний период — с 1991 по 2021 г. Оценка динамики производилась двумя способами: 1) сравнивались разновременные выборки независимо от количества проб и 2) сравнивались выборки из проб отобранных на одних и тех же пробных площадках в 1991 и целенаправленно в 2021 гг.

Ключевые слова: тяжелые металлы; почва; сельскохозяйственные геотехсистемы; динамика.

**DYNAMICS OF HEAVY METAL CONTENT
IN SOILS OF AGRICULTURAL GEOTECHNICAL
SYSTEMS LARGE CITY**

**P.V. Kniga¹⁾, V. V. Parfenov²⁾, S. V. Savchenko¹⁾,
N. E. Sosnovskaya¹⁾, V.S. Khomich¹⁾**

¹⁾*State scientific institution “Institute of Nature Management of the National Academy of
Sciences of Belarus”, F. Skorina str., 10, 220076, Minsk, Belarus, knigapv@mail.ru*

²⁾*Republican Center for Hydrometeorology, Radioactive Contamination Control and
Environmental Monitoring, Nezavisimosti Av., 110, 220114, Minsk, Belarus, pvv@hmc.by*

The results of a study of changes in the content of cadmium, copper and zinc in soils of agricultural geotechnical systems in the territory of Minsk over a 30-year period from 1991 to 2021 are presented. The dynamics were evaluated in two ways: 1) multi-time samples were compared regardless of the number of samples, and 2) samples from samples taken at the same test sites in 1991 and purposefully in 2021 were compared.

Keywords: heavy metals; soil; agriculture geotechnical systems; dynamics.

Несмотря на снижение техногенных нагрузок на окружающую среду в последние два десятилетия, проблема загрязнения окружающей среды городов остается актуальной, риск для здоровья населения и состояния экосистем сохраняется. В наибольшей степени это относится к почвенному покрову, обладающему свойством депонировать загрязняющие вещества и сохранять их в своей толще на протяжении сотен лет [1, 2].

В структуре земель в городах Беларуси существенную долю (более 10 %) составляют сельскохозяйственные земли [3]. Изучение и оценка загрязнения городских пахотных почв представляет несомненный интерес, поскольку, с одной стороны, они длительный период одновременно подвергались сельскохозяйственному воздействию (применение минеральных и органических удобрений, использование средств защиты растений и др.) и интенсивным техногенным нагрузкам, обусловленным функционированием города.

В данной публикации представлены результаты изучения накопления и изменения содержания тяжелых металлов (Cd, Cu и Zn) в почвах сельскохозяйственных геотехсистем (ГТС) г. Минска за 30-летний период. В основу анализа положены результаты детальной почвенно-геохимической съемки города выполненной в 1991 г. [4] и почвенно-геохимических исследований 2021 г. Содержание металлов в смешанных пробах почвы определялось атомно-абсорбционным методом.

Поскольку в 1991 и 2021 гг. было отобрано разное количество проб оценка динамики производилась двумя способами: 1) сравнивались разновременные выборки независимо от количества проб и 2) сравнивались выборки из проб, отобранных на одних и тех же пробных площадках (ПП) в 1991 и целенаправленно в 2021 г. (34 ПП).

Для оценки изменения содержания тяжелых металлов (ТМ) в почвенном покрове за 30-летний период использовался коэффициент измененности содержания элемента в почве: $K_{изм}$ — отношение содержания элемента в почве в 2021 г. к его содержанию в 1990 г. При значении $K_{изм}$ от 0,8 до 1,2 изменения считались несущественными (без изменений или отсутствие тренда), при значении $K_{изм}$ больше 1,2 — увеличение содержания, при значении $K_{изм}$ меньше 0,8 — уменьшение содержания (отрицательный тренд).

Общая характеристика содержания ТМ в почвах сельскохозяйственных ГТС на территории г. Минска и тренды в изменении содержания за 30-летний период по общему массиву данных. Диапазон содержания кадмия в почвах сельскохозяйственных ГТС в 2021 г. находился в пределах от 0,10 до 0,73 мг/кг при среднем значении 0,35 мг/кг и коэффициенте контрастности 7,3. Коэффициент концентрации кадмия в почвах сельскохозяйственных ГТС по сравнению с фоном составил 2,2 (табл. 1).

Таблица 1

Изменение средних содержаний кадмия, меди и цинка в почвах сельскохозяйственных ГТС на территории г. Минска за период с 1991 по 2021 гг.

Показатель	Cd	Cu	Zn
Среднее содержание элемента, мг/кг	$\frac{0,49^*}{0,35}$	$\frac{7,7}{6,4}$	$\frac{23,0}{29,0}$
$K_{изм}$	0,71	0,83	1,26
Фон*	$\frac{0,18}{0,16}$	$\frac{2,3}{4,1}$	$\frac{18,9}{21,7}$
Фон**			
ОДК для песчаных и супесчаных почв [5]	0,5	33	55

* В числителе – данные за 1991 г. (n=188), в знаменателе – за 2021 г. (n=247).

** Данные по Березинскому биосферному заповеднику (1991 г.; n=11) [6].

*** По данным НСМОС для Минской области (2018-2022 гг.; n=15) [7].

Содержание меди в почвах сельскохозяйственных ГТС в 2021 г. изменялось в пределах от <5,0 до 17,8 мг/кг при среднем значении 6,4 мг/кг и коэффициенте контрастности более 3,5. Коэффициент концентрации кадмия в почвах сельскохозяйственных ГТС по сравнению с фоном составил 1,6. Содержание цинка изменялось в более широких пределах — от 8,9 до 99,3 мг/кг при среднем значении 29,0 мг/кг, коэффициенте контрастности 11,1 и коэффициенте концентрации 1,3. Среднее содержание цинка в почвах сельскохозяйственных ГТС составило среднюю величину между фоновой (19,1 мг/кг) и средней величиной для города в целом (39,3 мг/кг) [8], что вполне закономерно и определяется значительно меньшими химическими нагрузками на почвы сельскохозяйственных земель по сравнению с общегородскими.

Сопоставление полученных концентраций ТМ в почвах с их гигиеническими нормативами показало, что почвы сельскохозяйственных ГТС г. Минска загрязнены выше допустимых уровней в единичных случаях. Так, загрязнение почв цинком зафиксировано в 6,1 % проб, кадмием — в 4,0 %. Превышения гигиенического норматива в отношении меди не зафиксировано. Максимальная степень превышения ОДК для цинка составила 2,0 раза, кадмия — 1,4.

Расчеты коэффициентов измененности содержания элементов в почвах сельскохозяйственных ГТС г. Минска за 30-летний период показали неоднозначные тренды. Содержание кадмия значительно уменьшилось ($K_{изм} = 0,71$), меди – изменилось незначительно ($K_{изм} = 0,83$), цинка – увеличилось ($K_{изм} = 1,26$) (см. табл.1).

Оценка динамики содержания ТМ в почвах по выборкам из проб, целенаправленно отобранных на одних и тех же пробных площадках.

Представленные в табл. 2 основные статистические параметры содержания кадмия, меди и цинка в почвах сельскохозяйственных ГТС в 1990 и 2021 гг. на дублируемых ПП свидетельствуют об их близости к параметрам по общим массивам данных по почвам сельскохозяйственных ГТС в целом по городу, представленным в табл. 1.

Таблица 2

Основные параметры содержание кадмия, меди и цинка в почвах сельскохозяйственных ГТС на территории г. Минска в 1990 и 2021 гг. (n=34)

Показатель	Cd	Cu	Zn
Среднее содержание, мг/кг	<u>0,45</u> 0,35	<u>8,1</u> 6,3	<u>23,7</u> 29,8
Минимальное содержание, мг/кг	<u>0,18</u> 0,17	<u>3,6</u> 5,0	<u>14,6</u> 14,6
Максимальное содержание, мг/кг	<u>1,64</u> 0,58	<u>27,7</u> 9,2	<u>41,0</u> 56,4
$K_{изм}$ (n=34)	0,78	0,78	1,26

Как следует из приведенной таблицы, в пределах сельскохозяйственных ГТС за 30-летний период произошло увеличение содержания в почве цинка с 23,7 до 29,8 мг/кг, и, наоборот, снижение содержания кадмия с 0,45 до 0,35 мг/кг и меди — с 8,1 до 6,3 мг/кг. Из этого следует, что цинк аккумулируется в почве, кадмий и медь, наоборот, рассеиваются. Необходимо отметить снижение за 30-летний период доли пробных площадок с концентрацией кадмия в почве превышающей гигиенический норматив с 26 до 6 % и, наоборот, появление случаев с превышением ОДК по цинку — 6 %. Содержание кадмия и меди уменьшилось ($K_{изм} = 0,78$), цинка — увеличилось ($K_{изм} = 1,26$) (таблицу 2).

Оценка динамики содержания ТМ в почвах в разрезе отдельных пробных площадок. Сопоставление значений коэффициентов измененности содержания ТМ в почвах сельскохозяйственных ГТС за 30-летний период в разрезе отдельных пробных площадок (34 ПП) показало, что на около половины ПП содержание в почве цинка и меди практически не изменилось, кадмия — на трети ПП. Увеличение содержания цинка произошло на 41 % ПП, кадмия и меди – примерно на 1/5 ПП или на 20,6 и 17,6 % ПП соответственно. Снижение содержания рассматриваемых элементов чаще всего имело место в отношении кадмия — на 47 % ПП, реже всего в отношении цинка — в 8,8 % случаев. Снижение содержания меди произошло на 29,5 % ПП.

Таким образом, выполненные исследования изменения содержания ТМ в почвах сельскохозяйственных ГТС крупного города за 30-летний период позволили установить тренды рассеивания в почве кадмия и меди и, наоборот, аккумуляции свинца. Снижение содержания химических элементов в почве происходило главным образом за счет снижения техногенных химических нагрузок — уменьшения доз применения минеральных и органических удобрений, средств защиты растений, снижения объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников. Основными причинами увеличения содержания цинка в почве могут быть: 1) использование (вывоз на поля) больших объемов органических отходов ферм и птицефабрики в 1990-х — начале 2000-х гг.; 2) гидрогенные потоки загрязняющих веществ от накопителей отходов; 3) сжигание пожнивных остатков; 4) пылевые выпадения. Согласно [9], коэффициент концентрации цинка в выпадениях городской пыли по отношению к незагрязненной почве составляет 100-300, в то время как для меди он равен 25-50, кадмия — менее 10.

Библиографические ссылки

1. Почва, город, экология / под ред. Г. В. Добровольского. М., 1997.
2. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мысль, 1989.
3. Кравчук Л. А. Структурно-функциональная организация ландшафтно-рекреационного комплекса в городах Беларуси. Минск: Беларуская навука, 2011.
4. Хомич В. С., Какарека С. В., Парфенов В. В. Анализ структуры полей распределения тяжелых металлов в почвах г. Минска. // Природопользование. 1996. Вып. 1. Минск, 1996. С. 134–139.
5. Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности почвы» / утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 25.01.2021 № 37.
6. Парфенов В. В., Ровкач А. И., Хомич В. С. Мониторинг загрязнения почвенного покрова городов Белоруссии тяжелыми металлами. // Геохимия техногенеза. Тез. докл. II всесоюз. совещ. Минск: ИГиГ АН БССР, 1991. С. 227–230.
7. Хомич В. С. О методах изучения и оценки загрязнения почв в Беларуси // Природопользование. 2023. № 2. С.98–106.
8. Городская среда: геоэкологические аспекты: монография / В. С. Хомич [и др.]. Минск: Беларуская навука, 2013.
9. Абросимова Г. В., Плеханова И. О. Биогеохимические особенности формирования почв в условиях г. Москвы. // Геохимия ландшафтов (К 100-летию А. И. Перельмана). Доклады Всероссийской научной конференции. Москва, 18-20 октября 2016 г. М.: Географический факультет МГУ, 2016. С.68–72.