УДК 504.5:631.41

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ ЭЛЕКТРОННОГО И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Чернюк В.Д., Кухарчик Т.И., Козыренко М.И.
Институт природопользования НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: chernyuk.vladimir.m@mail.ru

Загрязнение окружающей среды в зонах влияния предприятий по сбору и переработке отходов электронного и электротехнического оборудования (ЭЭО) обусловлено содержащимися в них различными химическими веществами. Техногенная нагрузка на компоненты природной среды, и прежде всего на почву, увеличивается в связи с быстро растущими объемами переработки отходов ЭЭО. В данной работе приведены результаты изучения содержания тяжелых металлов в почвах и других твердых субстратах, отобранных в зонах влияния двух предприятий по переработке ЭЭО, расположенных в городе Минске, Беларусь. Показано, что в почвах вблизи предприятий концентрации свинца и цинка превышают нормативы в 2 и 2,2-5,2 раза, соответственно. Максимальные концентрации тяжелых металлов были зафиксированы в пробах наилков, образовавшихся по потоку поверхностного стока с промплощадок.

Ключевые слова: отходы электронного и электротехнического оборудования; тяжелые металлы; переработка отходов; загрязнение почв

SOIL CONTAMINATION BY HEAVY METALS DURING THE REPROCESSING OF ELECTRONIC AND ELECTRICAL EQUIPMENT WASTE

Chernyuk V.D., Kukharchyk T.I, Kazyrenka M.I.
Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus, e-mail: chernyuk.vladimir.m@mail.ru

The environmental pollution in the impact zones of the enterprises for collection and reprocessing of electronic and electrical equipment (EEE) waste is caused by the various chemicals they contain. The technogenic load on the environmental components including soil is increasing due to the rapidly growing volumes of recycling of EEE waste. In the article the results of the study of heavy metals content in soils and technogenic solid substrate in the impact zone of enterprises for processing of EEE in the city of Minsk, Belarus are presented. It is shown that the concentrations of lead and zinc in soils near the enterprises exceed the limits 2 and 2.2-5.2 times, respectively. The highest levels of heavy metals were registered in surface runoff deposits samples.

Keywords: e-waste; heavy metals; waste recycling; soil pollution.

Одна из глобальных проблем в современном мире – быстро увеличивающиеся объемы образования и переработки отходов электронного и электротехнического оборудования (ЭЭО), содержащих различные

химические вещества. Отходы ЭЭО представляют собой гетерогенную смесь металла, пластика, стекла и керамики, включающих широкий спектр токсичных металлов, таких как Cu, Pb, Sn, Ni, Fe, Al, Cd, Be, Pd, а также бромированных антипиренов (BFR) и т. д. [1]. Обращение с такими отходами приводит к высвобождению опасных веществ и их поступлению в окружающую среду. Техногенная нагрузка на компоненты природной среды, и прежде всего на почву, увеличивается в связи с быстро растущими объемами переработки отходов ЭЭО.

К настоящему времени имеется ряд исследований, доказывающих негативное воздействие деятельности по демонтажу и переработке ЭЭО на состояние почв в странах Азии, в том числе Китае, Индии, Таиланде, Филиппинах [2–5]. Огромные объемы переработки отходов ЭЭО в данном регионе (легальной и нелегальной) обусловили высокие уровни накопления тяжелых металлов в почве на территории предприятий и в зонах их влияния, а также привели к загрязнению других природных компонентов (Vaccari et al., 2019).

Так, в работе [2] приводятся данные о загрязнении почв тяжелыми металлами на заброшенных территориях в Тайчжоу, Китай, ранее используемых как площадки по переработке отходов ЭЭО. Содержание Pb, Cd, и Cu на них достигало 6082,9 мг/кг, 42,3 мг/кг и 2364,2 мг/кг, соответственно. Кадмий был наиболее распространенным загрязнителем. Также в работе приводится вывод о миграции загрязняющих веществ на близлежащие территории.

По оценкам [4], почвы на четырех обследованных участках в Цинъюань (Китай) загрязнены Cd, Cu, Pb и Sb, концентрации которых в 2,83–2306, 2,17–1880, 0,96–1971 и 9,28–5607 раз выше, чем локальные фоновые концентрации. Исходные оценки показали, что различия в концентрациях металлов на разных участках были вызваны различными видами деятельности по переработке отходов ЭЭО на этих объектах.

Исследование [6] вблизи заброшенного объекта по переработке электронных отходов в Лунтане, Южный Китай показало, что с глубиной содержание тяжелых металлов снижается.

Анализ тяжелых металлов на участке по переработке электронных отходов в Мандоли, Индия, также показал их высокую концентрацию в поверхностных горизонтах почвах. Концентрация свинца составила 2645,3 мг/кг, цинка – 776,8 мг/кг, меди – 115,5 мг/кг, мышьяка – 17,0 мг/кг, селена – 12,7 мг/кг, кадмия – 1,3 мг/кг. Содержание тяжелых металлов также было высоким в местных грунтовых водах и в местных растениях [3].

Согласно обобщению [7], выполненному для стран Азии и Африки, диапазон содержания тяжелых металлов в почвах в зонах влияния предприятий по переработке отходов ЭЭО чрезвычайно широк и достигает для кадмия - от 0,04 до 39,3 мг/кг, меди - от 25,8 до 145434, свинца - от 27,9 до 9475, цинка - от 66 до 14025, никеля - от 8,1 до 480 мг/кг.

Загрязнение почв и других компонентов тяжелыми металлами негативно воздействует на здоровье человека; на примере ряда объектов в Индии и Китае был доказан канцерогенный и неканцерогенный риск для взрослых и детей [8, 9].

В Беларуси сбор и переработка отходов ЭЭО начаты в 2013 г. Основное количество устаревшей бытовой техники +и электронного оборудования собирается ОАО «БелВТИ», в меньшей степени УП «Унидрагмет», КПУП «Брестский мусороперерабатывающий завод» и других. Судя по имеющейся информации технологический процесс вторичной переработки ограничивается разборкой техники, выделением стекла, металла, пластика; в отношении пластика осуществляется сортировка по видам и цвету, прессование или упаковка.

Цель исследований - получить предварительные данные об уровнях накопления тяжелых металлов в почвах в зоне влияния предприятий по переработке отходов ЭЭО.

Объекты и методы. В качестве объектов исследования для выявления влияния на почву деятельности по переработке ЭЭО были выбраны ОАО «БелВТИ» и УП «Унидрагмет» БГУ, расположенные в г.Минске. ОАО «БелВТИ» занимается сбором и разборкой электронного и электротехнического оборудования. На переработку принимаются такие электронные отходы как отработанные элементы питания, сложная бытовая техника, ртутные лампы.

УП «Унидрагмет» БГУ было создано в 1999 г. На предприятии осуществляется разделение отходов на металл, пластик, стекло и т.д. Пластик складируется на открытой площадке на деревянных поддонах.

В ходе исследований отбирались пробы почвы, а также техногенные грунты, которые могут быть индикаторами техногенных потоков (с поверхностным стоком и с ветровым переносом). В наибольшей степени этому соответствуют наилки, образовавшиеся по потоку поверхностного стока с промплощадок и накопившиеся возле ливневых коллекторов или в иных локальных понижениях.

Всего в ходе рекогносцировочных исследований было отобрано и проанализировано 3 пробы почвы, 3 – наносных и намывных субстратов, 2 – техногенных грунтов.

Пробы почв отбирались преимущественно из поверхностных горизонтов с глубины до 10 см.

Результаты. В технологическом процессе предприятий по разбору и переработке бытовой техники неизбежно попадание тяжелых металлов в окружающую среду как на стадии хранения отходов (площадки под открытым небом), так и на стадии боя и разбора оборудования. Результаты химико-аналитических исследований представлены в таблице.

Величина pH в среднем в почвах составила 6,5, в техногенных грунтах – 7, в наилках наблюдается более интенсивное подщелачивание – pH=7,6.

Таблица – Содержание тяжелых металлов в пробах субстра тов, отобранных в зонах влияния предприятий по сбору и переработке отходов ЭЭО

Субстрат (количество проб)	Параметр	pH_{KCl}	Содержание загрязняющих веществ, мг/кг					
			Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cr
Почва (3)	Среднее	6,5	0	38,0	18,6	153,7	1,3	6,4
	Минимум	5,2	0	18,5	13,5	54,6	1,2	5,4
	Максимум	7,2	0	65,1	23,3	285,1	1,3	7,0
	Доля проб с превышением ПДК/ОДК, %	–	0	33,3	0	66,7	0	0
	Кратность превышения ПДК/ОДК, раз	–	–	2,0	–	2,2-5,2	–	–
Техногенный грунт (2)	Среднее	7,0	1,7	57,8	38,9	1190,3	7,0	4,0
	Минимум	7,0	1,6	44,4	36,9	1139,5	2,2	2,0
	Максимум	7,0	1,8	71,2	40,9	1241,1	11,7	6,0
	Доля проб с превышением ПДК/ОДК, %	–	100	100	100	100	0	0
	Кратность превышения ПДК/ОДК, раз	–	3,1-3,6	1,1-1,8	1,1-1,2	20,7-22,6	–	–
Наилок (3)	Среднее	7,6	7,0	186,3	325,7	752,9	47,7	66,7
	Минимум	7,1	1,4	55,4	35,8	172,3	2,5	7,5
	Максимум	8,0	10,3	377,5	800,0	1159,5	114,0	178,0
	Доля проб с превышением ПДК/ОДК, %	–	100	100	100	100	33,3	33,3
	Кратность превышения ПДК/ОДК, раз	–	2,7-20,5	1,7-9,4	1,1-24,2	3,1-21,1	5,7	1,8

В пробах почвы, отобранных в непосредственной близости от предприятия, обнаружены свинец, медь, цинк, никель и хром. Содержание свинца превысило ПДК в одной пробе (в 2 раза), содержание цинка – в двух пробах (превышение в 2,2–5,2 раза).

В техногенных грунтах (песок с примесью обломков пластиковых деталей в месте боя холодильников на промплощадке) наблюдается повышенное содержание кадмия, свинца, меди и цинка. Максимальные превышения норматива наблюдаются по цинку – в 20,7–22,6 раз; высокое содержание кадмия (1,6–1,8 мг/кг), превышение ОДК составило 3,1–3,6 раз.

Максимальные уровни по всем тяжелым металлам обнаружены в пробах наилка. В ряде случаев, помимо традиционных для почв Минска загрязняющих веществ (кадмия, свинца, меди, цинка), отмечаются повышенные уровни никеля и хрома (с превышение ОДК до 5,7 и 1,8 раз).

В среднем, превышение содержания тяжелых металлов в наилках по сравнению с концентрациями в почвах составило для свинца – 4,9 раз, меди – в 17,5 раз, цинка – в 4,9 раз, никеля – в 36,7 раз, хрома – в 10,4 раза. Кроме того, о накоплении загрязняющих веществ свидетельствуют высокие концентрации кадмия, который не был обнаружен в пробах почвы.

Результаты исследований согласуются с полученными ранее данными для почв производственных зон г. Минска [10] и дополняют их в части изучения территорий предприятий по переработке отходов. В то же время в отдельных пробах наилков и техногенных грунтов содержание кадмия, меди и цинка превышает обнаруженные ранее максимальные концентрации этих тяжелых металлов в городских почвах, что свидетельствует о необходимости более детальных исследований в зонах воздействия таких источников как предприятия по сбору и переработке отходов ЭЭО.

Библиографические ссылки

1. Pankaj, K. Rhizosphere Bioremediation – A Technology for Heavy Metals removal from E-waste contaminated soil / K. Pankaj // Conference: International Conference on Advances in Agricultural and Biodiversity Conservation for Sustainable Development (ABCD-2017) At: Meerut Affiliation: Chaudhary Charan Singh University. – 2017.
2. Risk assessment of polychlorinated biphenyls and heavy metals in soils of an abandoned e-waste site in China / Quan Zhang [et al.] // Environmental Pollution. – 2014. – Vol. 185. – P. 258–265.
3. Pradhan, J.K. Informal e-waste recycling: environmental risk assessment ofheavy metal contamination in Mandoli industrial area, Delhi, India / J.K. Pradhan, S. Kumar // Environmental Science and Pollution Research. – 2014. – Vol. 21. – P. 7913–7928.
4. Heavy metals in soil contaminated through e-waste processing activities in a recycling area: Implications for risk management / Yu Han [et al.] // Process Safety and Environmental Protection. – 2019. – Vol. 125. – P. 189–196.
5. Shi, A. Long-term effect of E-waste dismantling activities on the heavy metals pollution in paddy soils of southeastern China / A. Shi // Science of The Total Environment. – 2020. – Vol. 705. – P. 135971.
6. Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: Implications for dissemination of heavy metals / Qihang Wu [et al.] // Science of The Total Environment. – 2015. – Vol. 506–507. – P. 217–225.
7. WEEE Treatment in Developing Countries: Environmental Pollution and Health Consequences / Mentore Vaccari [et al.] //Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2019. – Vol. 16. – P. 1595. doi:10.3390/ijerph16091595.
8. Singh, M. Health risk assessment of the workers exposed to the heavy metals in e-waste recycling sites of Chandigarh and Ludhiana, Punjab, India / M. Singh, P.S. Thind, S. John, // Chemosphere. – 2018. – Vol. 203. – P. 426–433.
9. Health implication of heavy metals exposure via multiple pathways for residents living near a former e-waste recycling area in China: A comparative study / Y. Yu [et al.] // Ecotoxicol. Environ. Saf. – 2019. – Vol. 169. – P. 178–184.
10. Городская среда: геоэкологические аспекты / В.С. Хомич [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2013. – 301 с.