

ОТХОДЫ ПЛАСТМАСС ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И СТОЙКИМИ ОРГАНИЧЕСКИМИ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯМИ

Чернюк В.Д., Кухарчик Т.И., Кулакович В.П.

*Институт природопользования НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь
chernyuk.vladimir.m@mail.ru*

Загрязнение почв тяжелыми металлами и стойкими органическими загрязнителями в связи с переработкой отходов электронного и электротехнического оборудования (ЭЭО), вызывает все большую озабоченность, однако пока имеется мало информации об их источниках на территории Беларуси. В статье рассматривается содержание загрязняющих веществ в составе пластмасс ЭЭО, в которые они добавляются в составе стабилизаторов, пигментов и других добавок при их производстве. Показана вариабельность и среднее содержание тяжелых металлов (Pb, Cd, Hg и Cr), брома и полибромдифениловых эфиров (ПБДЭ) в составе пластика различных видов ЭЭО, используемых в Беларуси.

Ключевые слова: электронное и электротехническое оборудование, загрязнение почв, тяжелые металлы, полибромдифениловые эфиры.

Введение. За последнее десятилетие благодаря техническому прогрессу существенно увеличились объемы производства и использования бытовой и вычислительной техники. Это, с одной стороны, способствовало повышению качества жизни людей, с другой стороны – содействовало образованию огромных объемов отходов, требующих особого внимания в связи с содержащимися в них опасными веществами. Согласно [7], мировое производство электронных отходов в 2019 г. достигло 53,6 млн. т, из которых было собрано и должным образом переработано лишь 15,6-20 %; ожидается, что к 2030 г. объемы образования отходов вырастут до 74,7 млн. т.

На территории Беларуси объемы образования отходов ЭЭО по состоянию на 2018 г. составили более 70 тыс. т, в том числе фракции полимерных отходов – 9,3 тыс. т [11]. Объемы сбора и переработки отходов ЭЭО, начатые в 2013 г., быстро увеличиваются – в 2021 г. они составили 23,9 тыс. т, что более чем в 10 раз больше по сравнению с 2014 г. [9].

Электронные отходы обычно содержат или загрязнены опасными химическими веществами. Так, Sb используется в качестве антипирена, Pb – для стабилизации материалов или в качестве пластификатора, Cr и Hg – в качестве пигментов [3]. Кроме того, в качестве антипиренов в ЭЭО также используются полибромдифениловые эфиры (ПБДЭ). К настоящему времени получены подтверждения высоких концентраций тяжелых металлов и бромсодержащих СОЗ, которые обнаруживаются в полимерных отходах различных видов ЭЭО [5, 1].

Исследования, проведенные на объектах по переработке электронных отходов в Китае, Индии, Нигерии, Таиланде, Филиппинах и других странах выявили высокие уровни загрязнения почв тяжелыми металлами и ПБДЭ как на территории, так и вблизи самих предприятий [2, 6].

В Беларуси вопросы загрязнения почв в зонах влияния таких производств пока мало изучены [10]. Максимальные концентрации тяжелых металлов зафиксированы в пробах техногенных грунтов, содержащих примеси отходов, включая частицы пластика. Что касается содержания в пластмассах химических веществ, то лишь в последние годы было начато их изучение [4, 8].

В связи с этим, в данном исследовании проведен анализ содержания тяжелых металлов, брома и ПБДЭ в пластике различных категорий ЭЭО, который в процессе деградации может являться одним из источников поступления загрязняющих веществ в окружающую среду.

Материалы и методы исследований. Отбор проб пластика отходов ЭЭО выполнен на различных производственных площадках, занимающихся сбором и разборкой ЭЭО и расположенных в г. Минске, г. Вилейке, в Смолевичском и Молодечненском районах.

В ходе исследования отбирались фрагменты как крупногабаритных деталей (например, корпусов экранов, копировальной техники, холодильников), так и мелких внутренних деталей (например, материнские платы, кулера, нагревательные элементы электрочайников). Одна проба формировалась из одной детали готового изделия и не смешивалась с другими деталями.

Определение содержания тяжелых металлов (Pb, Cd, Hg и Cr) и брома осуществлялось с помощью рентгенофлуоресцентной спектроскопии.

Испытания на содержание ПБДЭ проводились для образцов, в которых скрининг-метод показал наличие брома. ПБДЭ определялись методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ/МС).

Для сравнения приняты следующие предельные концентрации: свинца, ртути, хрома и ПБДЭ – 1000 мг/кг, кадмия – 100 мг/кг, брома – 2000 мг/кг в отходах ЭЭО, установленные европейскими Директивами и Техническим регламентом ТР ЕАЭС 037/2016.

Результаты и их обсуждение. Полученные результаты показали, что тяжелые металлы были обнаружены в пластике всех категорий ЭЭО. Наиболее часто тяжелые металлы фиксировались в пластике ИТ и телекоммуникационного оборудования – в 44 % проб. На втором месте находились экраны (мониторы и телевизоры) – 40,3 % всех образцов, затем копировальное оборудование – 35,3 %, смешанные отходы пластика ЭЭО (после дробления на шредерной установке) – 33,3 %, мелкая бытовая техника – 28,6 % и крупная бытовая техника – 22,4 %. Различия в содержании тяжелых металлов в пластике различных типов ЭЭО приведены на рисунке.

Концентрации свинца варьировали от значений ниже предела обнаружения (н.о.) до 17814 мг/кг, а на долю свинецсодержащих проб приходится около 27 % от общего их количества. Хром обнаружен примерно в 13 % проб – концентрации изменялись в пределах от н.о. до 322 мг/кг. Кадмий был обнаружен в 10% образцов. Содержание кадмия в пробах пластика достигало 351 мг/кг. Присутствие ртути было зафиксировано в 1,2 % образцов.

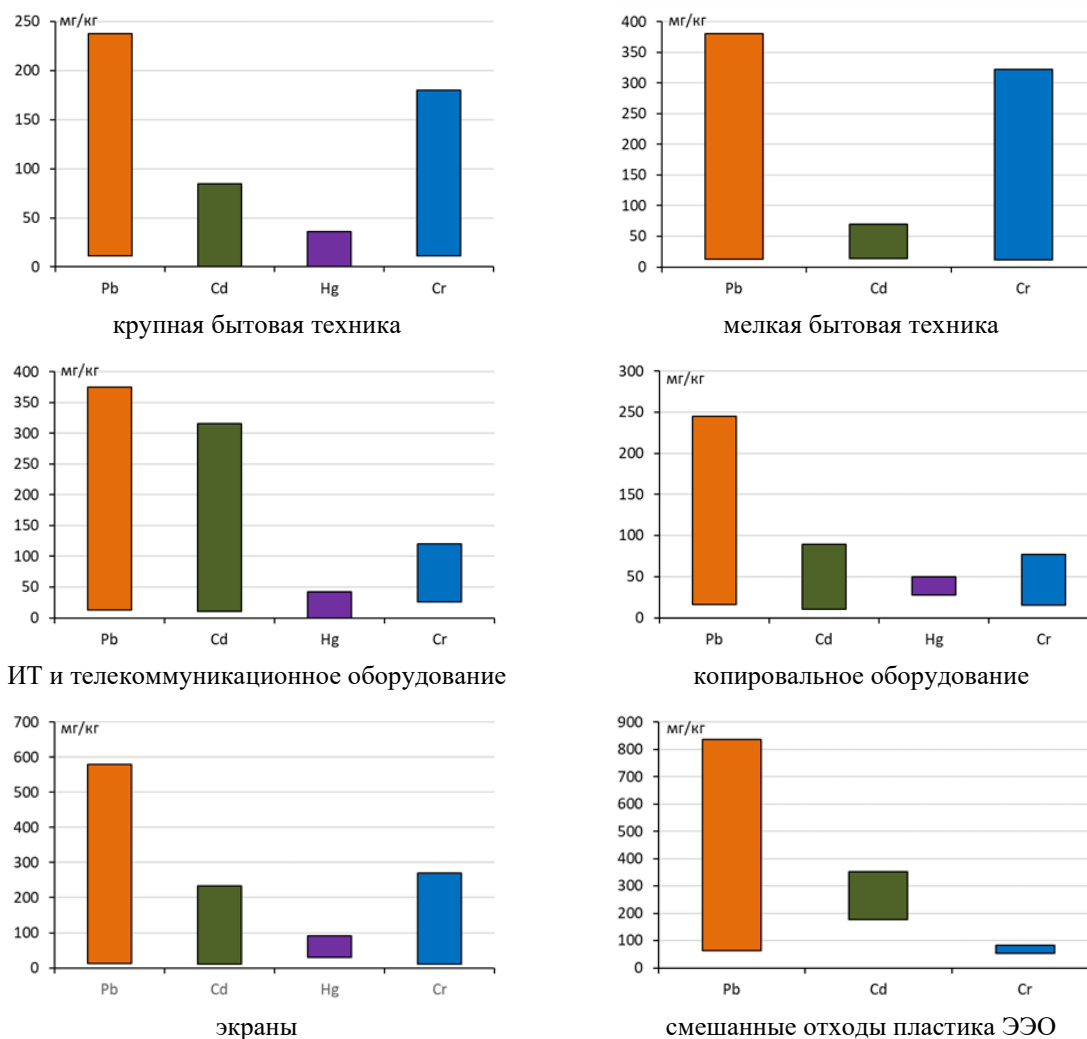


Рисунок – Содержание тяжелых металлов в пластике в зависимости от категории оборудования, мг/кг

Содержание брома находилось в диапазоне от значений ниже предела обнаружения (меньше 10 мг/кг) до 128 г/кг. Бром обнаружен в 35,5 % проанализированных проб. Высоким уровнем содержания брома в составе полимеров характеризовались такие категории ЭЭО, как ИТ и телекоммуникационное оборудование и экраны – бром был обнаружен в 46,8 % и 38,9 % образцов соответственно. Следует отметить, что бромсодержащий пластик характерен преимущественно для мониторов и телевизоров с электронно-лучевыми трубками. В пробах копировального оборудования бром был зафиксирован в 29,4 % случаев, в крупной бытовой технике – 22,4 %, мелкой бытовой технике – в 15,9 %.

ПБДЭ были обнаружены в 32 % проанализированных бромсодержащих проб, либо 11,4% всех проанализированных проб пластика. Максимальные зафиксированные концентрации ПБДЭ достигали 152 г/кг. Во всех случаях преобладающим конгенером являлся декабромдифениловый эфир. ПБДЭ фиксировались в пластике крупной бытовой техники в 12,2 % случаев, мелкой бытовой техники – 4,8 %, ИТ и телекоммуникационного оборудования – 10,1%, копировального оборудования – 6,7 %, экранов – 15,8 %.

Заключение. Результаты исследования показали, что содержание тяжелых металлов в пластике в ряде случаев значительно превышают установленные нормативы ПДК/ОДК в почвах. Также в отходах пластика ЭЭО фиксировались высокие уровни содержания брома и ПБДЭ. Поступление загрязняющих веществ в почву из пластика возможно при его механическом разрушении, деградации под воздействием ультрафиолета и других факторов внешней среды, а также при выщелачивании атмосферными осадками. Следует отметить, что загрязняющие вещества могут поступать в почву и с другими компонентами ЭЭО. В целом, разнообразие загрязняющих веществ в составе отходов ЭЭО, а также их различные свойства и особенности негативного воздействия свидетельствуют о необходимости дальнейших исследований и разработке рекомендаций по предотвращению их поступления в окружающую среду и минимизации негативных последствий.

Библиографические ссылки

1. An analysis of the composition and metal contamination of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE) / E. Stenvall [et al.] // Waste Management. 2013. Vol. 33, iss. 4. P. 915-922.
2. Heavy metals distribution and risk assessment in soil from an informal E-waste recycling site in Lagos State, Nigeria / K.A. Isimekhai [et al.] // Environ. Sci. Pollut. Res. 2017. Vol. 24, iss. 20. P. 17206-17219.
3. Heavy metals in soil contaminated through e-waste processing activities in a recycling area: Implications for risk management / Y. Han [et al.] // Process. Saf. Environ. Prot. 2019. Vol. 125. P. 189-196.
4. Kukharchyk, T., Přibylková, P., Chernyuk, V. Polybrominated diphenyl ethers in plastic waste of electrical and electronic equipment: case study in Belarus // Environmental Science and Pollution Research, 2020. Vol. 27. P. 32116-32123.
5. Liyanage D., Walpita J. Organic pollutants from E-waste and their electrokinetic remediation // Handb. Electron. Waste Manag. 2020. P. 171-189.
6. Soil concentrations of polybrominated diphenyl ethers and trace metals from an electronic waste dump site in the Greater Accra Region, Ghana: Implications for human exposure Ecotox / E. Akortia [et al.] // Environ. Safe. 2017. Vol. 137. P. 247-255.
7. The Global E-Waste Monitor 2020: Quantities, Flows and the Circular Economy Potential / V. Forti [et al.] // UNU/UNITAR S CYCLE, ITU, ISWA. 2020. 120 p.
8. Кухарчик, Т.И., Чернюк, В.Д., Кулакович, В.П. Содержание загрязняющих веществ в отходах пластика электротехнических изделий в Беларуси // Доклады НАН Беларуси. 2021. Том 65, № 2. С. 224-233.
9. Отчет Оператора за 2021 год – Объемы использования вторичных материальных ресурсов в Республике Беларусь в 2021 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vtoroperator.by>.
10. Чернюк, В.Д., Кухарчик, Т.И., Козыренко, М.И. Загрязнение почв в зонах воздействия предприятий по производству электронного и электротехнического оборудования и переработке отходов // Природопользование. 2021. № 1. С. 118-126.
11. Чернюк, В.Д., Кухарчик, Т.И. Полимерные отходы, потенциально содержащие бромированные антипирены: объемы образования, пространственное распределение, вторичная переработка в Беларуси // Природные ресурсы. 2020. №2. С. 115-124.