

ISSN 1810-9810 (Print)

**ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ЭКОЛОГОБЕЗОПАСНЫЕ
И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ***NATUREMANAGEMENT, ECOLOGICALLY SAFE
AND RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES**ПРЫРОДАКАРЫСТААННЕ, ЭКОЛАГАБЯСПЕЧНЫЯ
І РЭСУРСАЗБЕРАГАЛЬНЫЯ ТЭХНАЛОГІІ*

УДК 504.064-034 (47+57)

В. Д. Чернюк, Т. И. Кухарчик*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: chernyuk.vladimir.m@mail.ru, tkukharchyk@gmail.com***ПОЛИМЕРНЫЕ ОТХОДЫ, ПОТЕНЦИАЛЬНО СОДЕРЖАЩИЕ
БРОМИРОВАННЫЕ АНТИПИРЕНЫ: ОБЪЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ,
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА В БЕЛАРУСИ**

Аннотация. Полимерные отходы электронного и электротехнического оборудования (ЭЭО), являясь ценным вторичным ресурсом, требуют особого подхода к обращению в связи с возможностью содержания в них бромированных антипиренов, включая полибромдифениловые эфиры (ПБДЭ). ПБДЭ относятся к стойким органическим загрязнителям (СОЗ) и регулируются Стокгольмской конвенцией о СОЗ. В соответствии с международными обязательствами необходимо выявление загрязненных отходов и предотвращение их вторичной переработки. Приведены результаты оценки объемов образования полимерных отходов ЭЭО на территории Беларуси с учетом типов оборудования, используемого городским и сельским населением. Общий объем образования полимерных отходов ЭЭО по состоянию на 2018 г. оценивается в 9,3 тыс. т, из которых примерно 2,3 тыс. т могут содержать ПБДЭ. Показано, что около 25 % общего их объема приходится на долю г. Минска, 25 % – на долю крупных городов. На большей части территории Беларуси (в 67 % административных районов) объемы образования относительно невелики и варьируют от 10 до 50 т; их вклад составляет 18,3 %. Установлено, что вторичной переработкой охвачено в среднем 23 % образующихся отходов пластика ЭЭО с диапазоном по административным областям от 10 % (в Гродненской) до 31 % (в Гомельской). Необходимо нормативное техническое обеспечение регулирования обращения с полимерными отходами ЭЭО для предотвращения циркуляции опасных веществ вследствие вторичной переработки.

Ключевые слова: стойкие органические загрязнители, полибромдифениловые эфиры, отходы ЭЭО, вторичная переработка

V. D. Chernyuk, T. I. Kukharchyk*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: chernyuk.vladimir.m@mail.ru, tkukharchyk@gmail.com***PLASTIC WASTES POTENTIALLY CONTAINING BROMINATED FLAME RETARDANTS:
VOLUMES, SPATIAL DISTRIBUTION AND RECYCLING IN BELARUS**

Abstract. Plastic waste of electronic and electrical equipment (EEE), being a valuable secondary resource, requires a special approach to management due to the possibility of containing brominated flame retardants, including polybromodiphenyl ethers (PBDE). PBDEs are persistent organic pollutants (POPs) and have been listed under the Stockholm Convention on POPs. In accordance with international obligations it is necessary to identify contaminated waste and prevent its recycling. In the article the results of assessing the volume of plastic waste of EEE in Belarus formation by urban and rural population, taking into account the types of equipment, is presented. The total volume of EEE waste in 2018 is estimated at 9.3 thousand tons, of which approximately 2.3 thousand tons may contain PBDEs. It is shown that about 25 % of their total volume is formed in Minsk, 25 % – in large cities. Within the most of the territory of Belarus (in 67 % of administrative districts), the volume of plastic waste of EEE is relatively small and varies from 10 to 50 tons; their contribution is 18.3 %. It was found that only 23 % of the generated plastic waste of EEE with a range in administrative areas from 10% (in Grodno) to 31% (in Gomel) is recycled. Technical guidelines are needed to manage of plastic waste of EEE to prevent the circulation of hazardous substances.

Keywords: persistent organic pollutants, polybromodiphenyl ethers, EEE waste, recycling

У. Д. Чарнюк, Т. І. Кухарчык

*Институт прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: chernyuk.vladimir.m@mail.ru, tkukharchyk@gmail.com*

**ПАЛІМЕРНЫЯ АДХОДЫ, ЯКІЯ ПАТЭНЦЫЯЛЬНА ЎТРЫМЛІВАЮЦЬ БРАМІРАВАНЫЯ АНТЫПІРЭНЫ:
АБ'ЁМЫ ЎТВАРЭННЯ, ТЭРЫТАРЫЯЛЬНАЕ РАЗМЕРКАВАННЕ, ДРУГАСНАЯ ПЕРАПРАЦОЎКА Ў БЕЛАРУСІ**

Анотацыя. Палімерныя адходы электроннага і электратэхнічнага абсталявання (ЭЭА), з'яўляючыся каштоўным другасным рэсурсам, патрабуюць асаблівага падыходу да звароту ў сувязі з магчымасцю ўтрымання ў іх браміраваных антыпірэнаў, уключаючы полібромдыфенілавыя эфіры (ПБДЭ). ПБДЭ адносяцца да стойкіх арганічных забруджвальнікаў (САЗ) і, у адпаведнасці з міжнароднымі абавязкамі, прынятымі на Стакгольмскай канвенцыі аб САЗ, неабходна выяўленне забруджаных адходаў і прадухіленне іх паўторнага выкарыстання. Прыведзены вынікі ацэнкі аб'ёмаў утварэння палімерных адходаў ЭЭА на тэрыторыі Беларусі з улікам тыпаў абсталявання, якое выкарыстоўваецца гарадскім і сельскім насельніцтвам. Агульны аб'ём утварэння палімерных адходаў ЭЭА па стане на 2018 г. ацэньваецца ў 9,3 тыс. т, з якіх прыкладна 2,3 тыс. т могуць утрымліваць ПБДЭ. Паказана, што каля 25 % агульнага іх аб'ёму прыпадае на долю г. Мінска, 25 % – на долю буйных гарадоў. На большай частцы тэрыторыі Беларусі (у 67 % адміністрацыйных раёнаў) аб'ёмы ўтварэння адносна невялікія і знаходзяцца ў дыяпазоне ад 10 да 50 т; іх уклад складае 18,3 %. Устаноўлена, што другаснай перапрацоўкай ахоплена ў сярэднім 23 % утвораных адходаў пластыку ЭЭА з дыяпазонам па адміністрацыйных абласцях ад 10 % (у Гродзенскай) да 31 % (у Гомельскай). Неабходна нарматыўнае тэхнічнае забеспячэнне рэгулявання абыходжання з палімернымі адходамі ЭЭА для прадухілення цыркуляцыі небяспечных рэчываў з прычыны іх паўторнага выкарыстання.

Ключавыя словы: стойкія арганічныя забруджвальнікі, полібромдыфенілавыя эфіры, адходы ЭЭА, другасная перапрацоўка

Введение. Отходы электронного и электротехнического оборудования (ЭЭО) и их переработка в настоящее время становятся глобальной проблемой в связи с быстрорастущими объемами их образования, а также необходимостью регулирования содержащихся в них опасных веществ. По данным [1, 2], в 2016 г. объем электронных отходов в глобальном масштабе составлял 44,7 млн т, в 2018 г. – 48,5 млн т. По одному из сценариев, прогнозируемых Университетом ООН в Вене, к 2050 г. объем отходов ЭЭО может достигнуть 120 млн т [3, 4].

В составе ЭЭО особое значение имеют полимерные отходы или отходы пластика, на долю которых приходится около 25 % (10–40 %) общего их объема [5]. Данная категория отходов является ценным материальным ресурсом, и их вторичная переработка становится неотъемлемым элементом зеленой или циркулярной экономики и рационального управления отходами. Однако проблема переработки заключается в том, что полимерные материалы ЭЭО могут содержать бромсодержащие антипирены, к которым относятся и полибромдифениловые эфиреы (ПБДЭ). Экологические угрозы, возникающие при вторичной переработке загрязненных отходов, обусловлены рециркуляцией опасных веществ и их поступлением в товары повседневного спроса, детские игрушки, материалы, контактирующие с продуктами питания [6–8].

ПБДЭ признаны стойкими органическими загрязнителями (СОЗ) и включены в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ: две группы соединений (гексабромдифениловый эфир и гептабромдифениловый эфир, содержащиеся в к-октаБДЭ, а также тетрабромдифениловый эфир и пентабромдифениловый эфир, содержащиеся в к-пентаБДЭ) – в 2009 г., декабромдифениловый эфир, содержащийся в к-декаБДЭ, – в 2017 г. Согласно Конвенции, все запасы ПБДЭ в составе отходов должны быть выявлены и удалены экологически безопасным способом. Предусмотрены конкретные исключения в отношении рециркуляции изделий, которые содержат или могут содержать пента- и октаБДЭ, а также в отношении производства и использования декаБДЭ [9]. Вторичная переработка полимерных изделий, содержащих декаБДЭ, запрещена.

Как известно, при первичном производстве полимерных материалов концентрация ПБДЭ может варьировать от 5 до 30 % [10, 11]. Выполненные к настоящему времени исследования в разных странах свидетельствуют о значительной вариабельности содержания ПБДЭ в готовых изделиях (от миллиграмм до грамм на килограмм массы пластика), что обусловлено вторичной переработкой отходов и возможностью многократной циркуляции опасных веществ [12]. Считается, что полимерные изделия практически любых электробытовых приборов, офисной и канцелярской техники могут содержать ПБДЭ.

Под эгидой Стокгольмской конвенции о СОЗ и Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением разработаны международные руко-

водства, в которых определены требования к процессам сбора, сортировки, сепарации и переработки отходов ЭЭО, содержащих или потенциально содержащих ПБДЭ [13, 14]. Одним из принципов, заложенных в данных документах, является выявление бромсодержащих отходов. Согласно [15], наиболее целесообразно применение экспресс-методов, позволяющих быстро и недорого получить данные для разделения отходов на две категории: не содержащие бром, подлежащие переработке, и бромсодержащие, в отношении которых должны использоваться методы экологически безопасного удаления. Однако, как и во многих других странах, их реализация в Беларуси в значительной степени осложняется отсутствием национальных законодательных документов и материально-технической базы.

В Беларуси с 1 марта 2018 г. вступил в силу технический регламент ТР ЕАЭС 037/2016, согласно которому, концентрация ПБДЭ в изделиях электроники и радиоэлектроники не должна превышать 0,1 %, что согласуется с нормами, принятыми в странах ЕС. Однако в отношении отходов ЭЭО не введены предельные значения ПБДЭ, не предусмотрено выявление бромсодержащих отходов. Следует отметить, что официальный учет отходов ЭЭО касается лишь той их части, которая поступает на переработку [16]. Согласно ранее выполненной предварительной оценке [17], объем пластика в используемых и имеющихся на хранении телевизорах и мониторах с электронно-лучевыми трубками, потенциально содержащих к-октаБДЭ, может составлять около 30 тыс. т.

Цель настоящей работы – оценить объемы ежегодного образования полимерных отходов ЭЭО на территории Беларуси, в том числе потенциально содержащих ПБДЭ, с учетом соотношения городского и сельского населения, а также выполнить анализ пространственного распределения таких отходов и их вторичной переработки.

Методика исследований. Для оценки образования полимерных отходов ЭЭО использовалась методика, рекомендованная Руководством по инвентаризации ПБДЭ, включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ [18]. Расчеты проводились по состоянию на 2018 г. За основу для расчетов принимались данные Национального статистического комитета по обеспеченности населения предметами длительного пользования [19]. Следует отметить, что официальной статистикой учитывается небольшой перечень оборудования без градации между городским и сельским населением: телевизоры без разделения на устройства с жидкокристаллическим (ЖК) дисплеем и устройства с электронно-лучевой трубкой (ЭЛТ), персональные компьютеры (ПК), холодильники/морозильники, стиральные машины, микроволновые печи и электропылесосы. Для уточнения данных об обеспеченности населения другими типами оборудования, а также для разделения его между городским и сельским населением использовались данные анкетирования [20]. Использованные для расчета данные по обеспеченности населения ЭЭО приведены в таблице.

Согласно Руководству [18], для вычислений необходимо два вида входных данных: запасы ЭЭО у потребителей и средний срок службы изделия. В свою очередь при расчете запасов ЭЭО учитывается средний вес устройства и численность населения страны:

$$\text{Отходы ЭЭО за год} = M_{\text{эзо}}(\text{запасы})/L_{\text{сэзо}},$$

где $M_{\text{эзо}}(\text{запасы})$ = [количество устройств на одного человека]·[средний вес устройства]·[численность населения], (т) – запасы ЭЭО у потребителей; $L_{\text{сэзо}}$ – средняя продолжительность срока службы устройства, лет.

Нами использовались данные производителей ЭЭО, характеризующие массу различных видов устройств. Для оценки объема образования полимерных отходов учитывалась доля пластика в составе различных видов ЭЭО, согласно данным, опубликованным в отчетах Швейцарии и Франции [21, 25], и в других справочных публикациях [22–24, 26].

Для анализа ситуации со сбором и переработкой отходов ЭЭО использованы данные Оператора вторичных материальных ресурсов [16], ОАО «БелВТИ».

Для картографирования применяли данные статистического комитета по регионам Беларуси [27]. Картографическое отображение ситуации осуществлялось с использованием программного обеспечения QGIS. Desktop.

Обеспеченность населения ЭЭО

Тип оборудования	По статистическим данным, ед./чел.	Уточненные данные, ед./чел.		
		среднее	городской	сельский
Крупная бытовая техника, прочая ¹	0,31 ²	0,33	0,35	0,31
Холодильник/морозильник	0,59	0,59	0,62	0,56
Стиральная машина	0,37	0,37	0,39	0,35
Мелкая бытовая техника ³	0,37 ⁴	0,84	0,87	0,8
Компьютерное и телекоммуникационное оборудование ⁵	0,41 ⁶	1,03	1,07	0,9
Копировальное оборудование ⁷	Н. д.	0,19	0,2	0,19
Мониторы, всего	0,41	0,41	0,43	0,39
В том числе с электронно-лучевой трубкой	Н. д.	0,02	0,03	0,01
Телевизоры, всего	0,66	0,66	0,7	0,62
В том числе с электронно-лучевой трубкой	Н. д.	0,19	0,18	0,2
Ноутбук	Н. д.	0,32	0,32	0,31

¹Микроволновая печь, посудомоечная машина.

²Официальной статистикой учитываются лишь микроволновые печи.

³Блендер, кухонный комбайн, мультиварка/пароварка, соковыжималка, хлебопечка, пылесос, электрический чайник.

⁴Официальной статистикой учитываются лишь электропылесосы.

⁵Акустическая система, блок бесперебойного питания, модем/роутер, планшет, системный блок (ПК), телефон стационарный.

⁶Официальной статистикой учитываются лишь ПК.

⁷Принтер, многофункциональное устройство, сканер.

Результаты и их обсуждение

Объемы образования отходов. Выполненные расчеты показали, что по состоянию на 2018 г. в Беларуси образовалось около 9,3 тыс. т полимерных отходов ЭЭО, что составляет около 21 % от общего объема отходов ЭЭО за год. Наибольшая доля полимерных отходов приходится на крупное бытовое оборудование – 30 % от общего количества полимерных отходов: 19 % – холодильники/морозильники, 6 % – стиральные машины, 5 % – прочее крупное бытовое оборудование; 22 % всех полимерных отходов ЭЭО приходится на мелкую бытовую технику, 15 % – компьютерное и телекоммуникационное оборудование, 14 % – копировальное оборудование. На долю телевизоров и мониторов приходится 12 и 5 % от общего количества полимерных отходов за год соответственно. Из них 5 % полимерных отходов на телевизоры с ЭЛТ и 1 % на мониторы с ЭЛТ (рис. 1).



Рис 1. Структура полимерных отходов ЭЭО по категориям оборудования

Поскольку большинство компьютерного и телекоммуникационного оборудования, мелкой бытовой техники произведено в Китае, проанализированы исследования различных типов оборудования в Китае, а также и в других странах с точки зрения содержания ПБДЭ [28–31]. По данным [30], пластик, содержащий бромированные антипирены, составляет около 5,5 % от массы всех отходов ЭЭО, или 25 % от всего пластика, используемого в ЭЭО. Основываясь на этих пропорциях, определено ежегодное образование полимерных отходов, потенциально содержащих ПБДЭ, в Беларуси, которое составляет более 2,3 тыс. т. Установлено, что в Беларуси на одного жителя в среднем приходится 6,9 кг отходов ЭЭО, что сопоставимо с результатами исследования ООН (5–10 кг) [3].

Пространственный анализ. Наибольшие объемы отходов пластика ЭЭО образуются в г. Минске: 2,34 тыс. т или около 25 % общего их объема в стране (рис. 2). Всего вклад Минска и Минской области в суммарный объем отходов пластика ЭЭО составляет 37,3 %. На втором месте по объемам образования находится Гомельская область (14,8 % всех полимерных отходов), далее Брестская (13,6 %), Витебская (12,3 %), Могилевская (11,4 %) и Гродненская (10,7 %).

Пространственное распределение объемов образования полимерных отходов ЭЭО в разрезе административных районов представлено на рис. 3. Как было показано выше, четверть

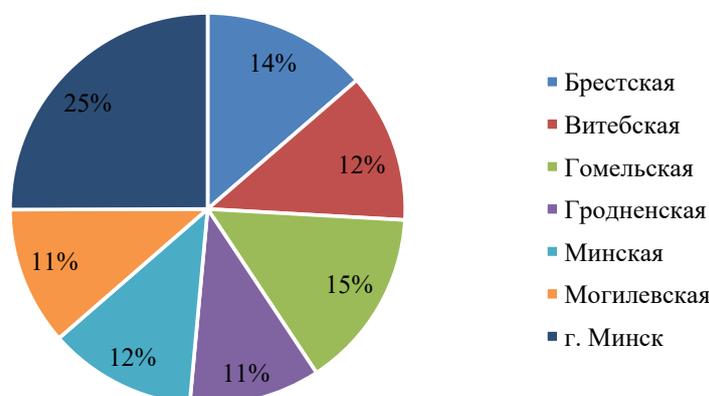


Рис. 2. Образование отходов ЭЭО в Беларуси по административным регионам (по состоянию на 2018 г.)

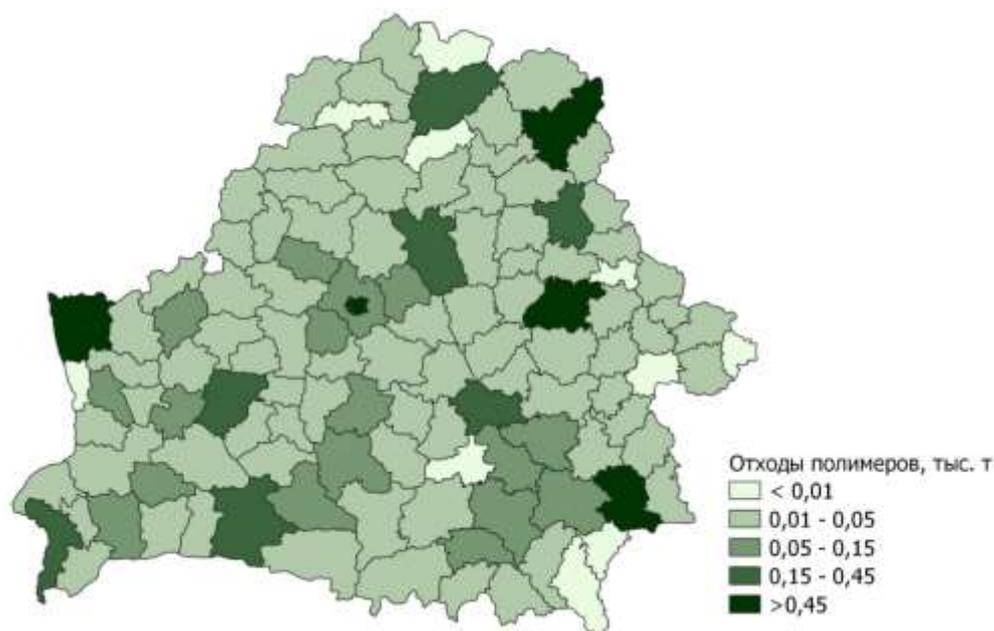


Рис. 3. Картограмма распределения объемов образования полимерных отходов ЭЭО на территории Беларуси, тыс. т (по состоянию на 2018 г.)

общего объема таких отходов приходится на долю Минска. Примерно столько же отходов (22 %) образуется в районах с крупными городами областного подчинения – Витебском, Могилевском, Гродненском и Гомельском. Около 17 % общего количества отходов пластика ЭЭО образуется в Оршанском, Пинском, Борисовском, Барановичском, Полоцком, Бобруйском и Брестском районах. В сумме на указанные 11 районов и г. Минск приходится 64 % общего объема полимерных отходов, тогда как на оставшиеся 107 районов – 36 %.

Согласно полученным данным, на большей части территории страны (67,8 % общего количества районов) объемы образования таких отходов варьируют от 10 до 50 т. На территории 14,4 % административных единиц образуется от 50 до 150 т отходов полимеров. Менее 10 т в год образуется в 8,5 % всех районов Беларуси.

На картосхеме ниже показаны объемы образования отходов городским и сельским населением (рис. 4).

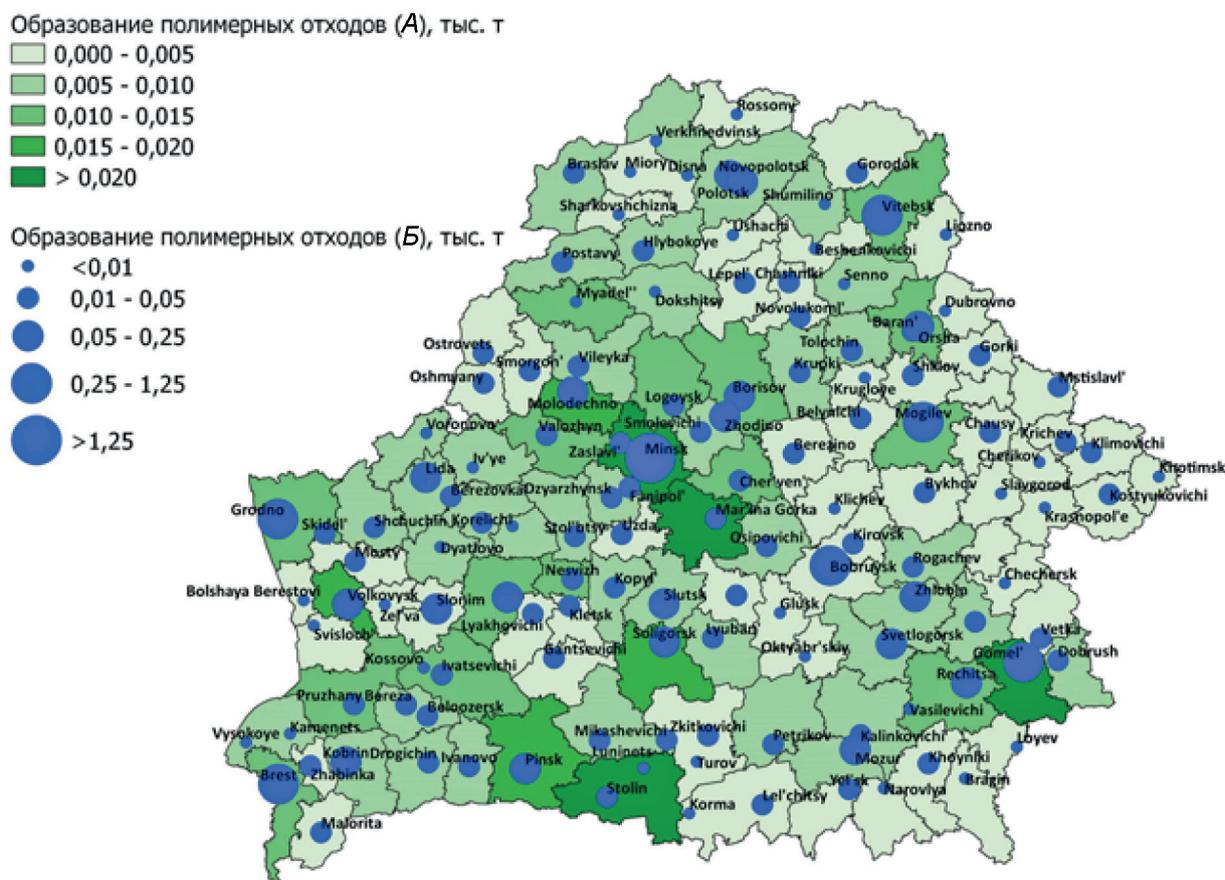


Рис. 4. Картосхема объемов образования полимерных отходов ЭЭО на территории Беларуси: А – городским и Б – сельским населением, тыс. т (по состоянию на 2018 г.)

Основная часть отходов образуется в городах, на долю которых приходится от 74 до 86 % общего объема отходов. Объемы образования полимерных отходов ЭЭО сельским населением относительно невелики и варьируют в пределах от 0,7 (в Наровлянском) до 65 т (в Минском), составляя в среднем для административных районов 7 т. Менее 5 т отходов образуется в 79 районах, значительная часть которых расположена в восточной части и на юго-востоке страны. Более 20 т образуется в 4 районах (Минский, Гомельский, Пуховичский и Столинский). В 19 административных районах объемы образования отходов пластика ЭЭО варьируют от 10 до 20 т.

Наибольшие объемы образования характерны для крупных городов и промышленных центров. Объемы образования отходов полимерных материалов в городских поселках, являющихся районными центрами, колеблются в интервале 0,004–0,014 тыс. т. Для малых городов (с насе-

лением до 50 тыс. жителей), таких как Слоним, Волковыск, Пружаны, Островец и др., данный интервал составляет 0,002–0,058 тыс. т, для средних городов (с населением 50–100 тыс. жителей) – 0,063–0,112 тыс. т, для больших городов (с населением 100–250 тыс. жителей) – 0,12–0,257 тыс. т, для крупных городов (с населением 250 тыс.–1 млн жителей) – 0,41–0,632 тыс. т.

Ранжированный ряд городов (с населением более 50 тыс. чел.) по объемам образования отходов представлен на рис. 5. Всего на долю указанных городов приходится 78 % общего объема отходов пластика ЭЭО.

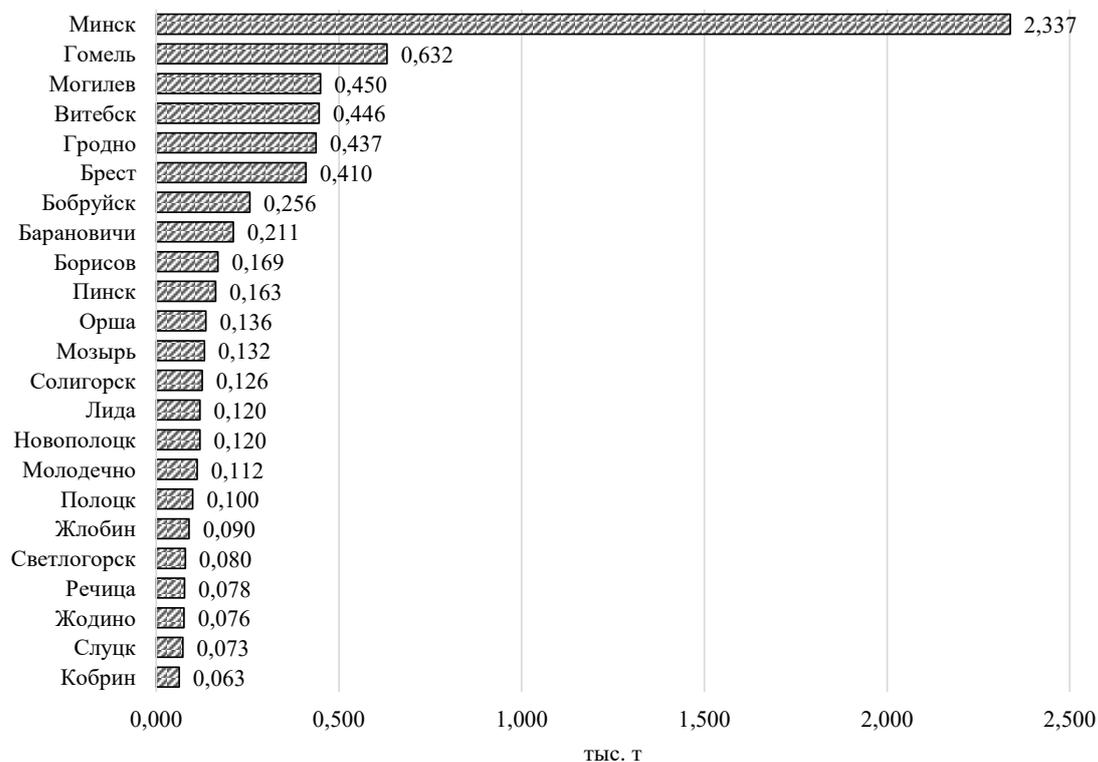


Рис. 5. Ранжирование городов Беларуси с населением более 50 тыс. жителей по объему образования полимерных отходов ЭЭО (по состоянию на 2018 г.)

Вторичная переработка. В последние годы значительное внимание уделяется вопросам вторичной переработки отходов ЭЭО. В Беларуси сбор отходов ЭЭО начат с 2013 г. и характеризуется положительной тенденцией (рис. 6). По данным Оператора ВМР, в 2014 г. было собрано 2,4 тыс. т отходов ЭЭО, в 2018 г. – уже в 6,2 раза больше (14,39 тыс. т), что составило около 33 % от всех ЭЭО образующихся за год.

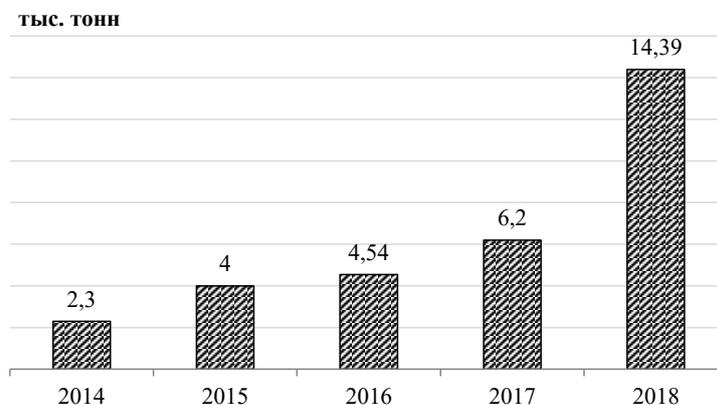


Рис. 6. Динамика сбора отходов ЭЭО в Беларуси (по данным Оператора вторичных материальных ресурсов), тыс. т

Следует отметить, что приведенные данные касаются общей массы ЭЭО. Используя данные ОАО «БелВТИ», был получен коэффициент для выделения доли полимерных материалов из приведенных выше данных Оператора ВМР. Установлено, что всего за 2018 г. на территории Беларуси было собрано около 1,8 тыс. т полимерных отходов, входящих в состав ЭЭО, что составило порядка 20 % от общего объема образовавшихся полимерных отходов ЭЭО. Наибольшие объемы сбора полимерных материалов в 2018 г. характерны для Гомельской области, которые составили 1,38 тыс. т или 25,4 % к объему их образования (рис. 7). В г. Минске было собрано 22,6 % всех образовавшихся отходов, в Витебской области – 22 %, Минской – 20,7 %, Могилевской – 19,8 %. Низкий уровень сбора полимерных отходов ЭЭО отмечен в Гродненской – 7,9 % и Брестской – 10,1 % областях.

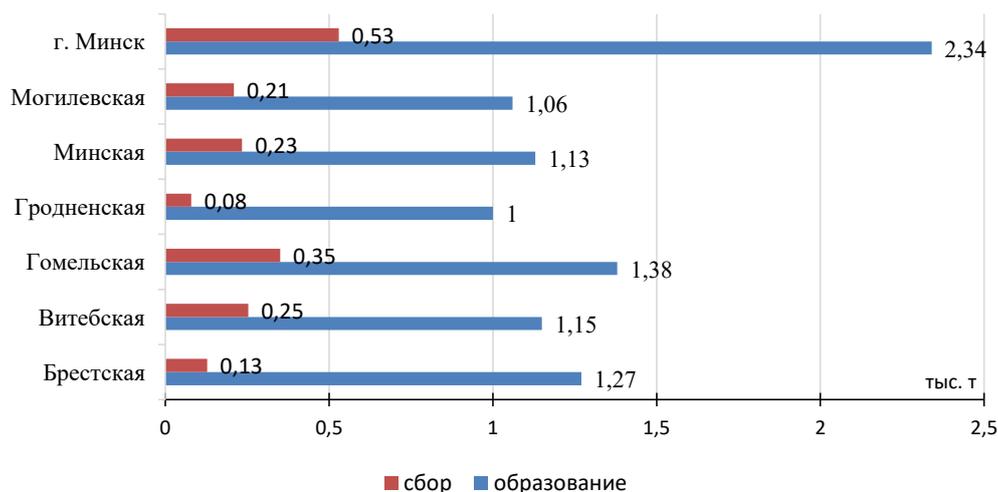


Рис. 7. Объемы образования и сбора полимерных отходов ЭЭО по административным регионам, тыс. т

Полученные данные о доле поступающего на вторичную переработку ЭЭО в Беларуси сопоставимы с данными для стран Восточной Азии, где официальный показатель сбора близок к 25 % [33, 35, 36]. В Европе лидерами с точки зрения сбора электронных отходов являются Швейцария, где собирается 74 % производимых отходов, и Норвегия (74 %), а также следующие за ними Швеция (69 %), Финляндия и Ирландия (каждая по 55 %) [32, 33]. Эти страны демонстрируют самые передовые методы управления электронными отходами в мире. В Ирландии и Дании собирается 50 % общего количества отходов ЭЭО; близок к ним показатель сбора (49 %) в других европейских странах [32, 33]. В Северной и Южной Америке лишь 16,8 % отходов ЭЭО документально оформляются для сбора и утилизации [34]. Согласно расчетам Университета ООН, показатель сбора электронных отходов в США составляет приблизительно 22 % от объема производства электронных отходов [3].

Поскольку в Беларуси сбор отходов ЭЭО начат недавно, то важным представляется анализ поступающего на переработку оборудования. По данным ОАО «БелВТИ», в 2018 г. в структуре отходов ЭЭО преобладали телевизоры, на долю которых пришлось 37 % (без разделения между ЖК и устройствами с ЭЛТ), холодильники/морозильники составили 19,2 %, стиральные машины – 11,2, копировальное оборудование – 5,1, мониторы – 1,9, прочее оборудование – 25 %. Различия между соотношением типов образующихся и поступающих на переработку отходов ЭЭО обусловлены не только сроком службы оборудования, но и показателями обеспеченности населения. Высокая доля телевизоров в составе отходов ЭЭО связана с переходом на новые технологии передачи изображений и соответственно с заменой старых моделей, пластик которых может содержать бромированные антипирены.

Как показано в [37], предприятия по переработке полимерных отходов в Беларуси имеют лицензии на производство продукции из отходов АБС-пластика, представляющий собой полуфабрикат для дальнейшего использования. Отсутствие процесса сепарации пластика приводит

к потенциальному перераспределению ПБДЭ и других бромсодержащих антипиренов в новые виды продукции, их рассеянию и поступлению в окружающую среду.

Заключение. Выполненные исследования позволили получить оценки объемов образования полимерных отходов ЭЭО на территории Беларуси, которые по состоянию на 2018 г. составляют около 9,3 тыс. т. Ежегодное образование полимерных отходов, потенциально содержащих ПБДЭ, в 2018 г. в Беларуси оценивается в 2,3 тыс. т.

Установлено крайне неравномерное пространственное распределение объемов образования отходов пластика ЭЭО в стране. Примерно 50 % общего объема образования таких отходов приходится на г. Минск и областные города. На 11 административных районов и г. Минск приходится 64 % общего объема полимерных отходов, тогда как на оставшиеся 107 районов – 36 %. На большей части территории страны (67,8 % общего количества районов) объемы образования таких отходов варьируют от 10 до 50 т отходов.

Установлено, что вторичной переработкой охвачено в среднем 23 % образующихся отходов пластика ЭЭО с диапазоном по административным областям от 10 % (в Гродненской) до 31 % (в Гомельской).

С учетом увеличивающихся объемов образования и сбора полимерных отходов ЭЭО, а также принимая во внимание обязательства по Стокгольмской конвенции о СОЗ, представляется необходимым разработать нормативного технического документа, регламентирующего обращение с отходами, содержащими и потенциально содержащими ПБДЭ. Необходимо также введение ограничений на использование пластика, содержащего или потенциально содержащего ПБДЭ, например, для производства детских игрушек, упаковки для продуктов питания, хранения воды и др.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Tapping the economic value of e-waste [Electronic resource]: Joseph Lauren, James Pennington, China Daily / World Economic Forum Op-Ed, 2018. – Mode of access: <http://europe.chinadaily.com.cn/a/201810/29/WS5bd64e5aa310eff3032850ac.html>. – Data of access: 05.03.2020.
2. Connecting to New Opportunities Through Connected Devices [Electronic resource]: Press release, 2017. – Mode of access: www.software.org/press-release/connecting-to-new-opportunities-through-connected-devices. – Data of access: 09.03.2020.
3. The Global E-waste Monitor 2017 / C.P. Baldé [et al.]. – UNU, ITU, ISWA, 2017. – 116 p.
4. Global Material Resources Outlook to 2060 [Electronic resource]: OECD, 2018. – Mode of access: www.oecd.org/environment/waste/highlightsglobal-material-resources-outlook-to-2060.pdf. – Data of access: 10.03.2020.
5. Li, Y. Recycling of PBDEs Containing Plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): A Review / Y. Li, J. Li, L. Wang. – ICEBE : IEEE 10th International Conference on e-Business Engineering, 2013. – P. 407–412.
6. Screening for halogenated flame retardants in European consumer products, building materials and wastes / Š. Vojta [et al.] // Chemosphere. – 2017. – Vol. 168. – P. 457–466.
7. Towards a generic procedure for the detection of relevant contaminants from waste electric and electronic equipment (WEEE) in plastic food-contact materials: a review and selection of key parameters / F. Puype [et al.] // Food Additives & Contaminants: Part A. – Vol. 34, iss. 10. – P. 1767–1783.
8. Toxic LOOPHOLE: Recycling Hazardous Waste into New Products [Electronic resource]: J. Straková, J. DiGangi, Génon K. Jensen / IPEN, Arnika, HEAL, 2018. – Mode of access: https://ipen.org/sites/default/files/documents/TL_brochure_web_final.pdf. – Data of access: 10.03.2020.
9. Stockholm Convention On Persistent Organic Pollutants (Pops). Texts And Annexes [Electronic resource]: Revised In 2017. – Mode of access: <http://chm.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx>. – Data of access: 12.03.2020.
10. ECHA, 2012. Proposal for Identification of a PBT/vPvB Substance. Bis(pentabromophenyl) ether (decaBDE) (decaBDE). Annex XV dossier Submitted by the United Kingdom, European Chemicals Agency, 2012 [Electronic resource]. – Mode of access: http://echa.europa.eu/documents/10162/13638/SVHC_AXVREP_pub_EC_214_604_9_decabromodiphenylether_en.pdf – Data of access: 13.03.2020.
11. ECHA, 2014. Multiple Framework Contract with re-opening of competition for scientific services for ECHA. Support to an annex XV dossier on bis-(pentabromophenyl) ether (decaBDE). Final report. European Chemicals Agency, 2014 [Electronic resource]. – Mode of access: https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/annex_xvi_consultant_report_decabde_en.pdf. – Date of access: 25.05.2017.
12. Strååt och, M. Decabromodiphenyl ether and other flame retardants in plastic waste destined for recycling / M. Strååt och, C. Nilsson. – Swerea IVF: Project Report. M-973, 2018. – 29 p.
13. GUIDANCE on best available techniques and best environmental practices for the recycling and disposal of wastes containing polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Updated / UNEP, 2017 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://chm.pops.int/Implementation/NIPs/Guidance/GuidanceonBATBEPfortherecyclingofPBDEs/tabid/3172/Default.aspx>. – Date of access: 15.03.2020.

14. Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether, or tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenyl ether or decabromodiphenyl ether. Addendum. Conference of the Parties to the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal. Fourteenth meeting. UNEP/CHW.14/7/Add.3. – Geneva, UNEP, 29 April–10 May 2017.
15. Draft Guidance on Sampling, Screening and Analysis of Persistent Organic Pollutants in Products and Articles. Relevant to substances listed in Annexes A, B and C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants from 2009 to 2015, 2017. – 147 p.
16. Об объемах сбора и использования вторичных материальных ресурсов, размерах и направлениях расходования средств, полученных от производителей и поставщиков в 2018 г. ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов». Отчет за 2018 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vtoroperator.by/sites/default/files/operator_2018.pdf. – Дата доступа: 07.03.2020.
17. Кухарчик, Т. И. Новые стойкие органические загрязнители в Беларуси: методические аспекты оценки запасов полибромдифениловых эфиров / Т. И. Кухарчик, С. В. Какарека, Т. Л. Лапка // Природные ресурсы. – 2014. – № 2. – С. 119–125.
18. Draft guidance for the inventory of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants / UNEP, UNIDO, UNITAR, 2017. – 105 p.
19. Статистический ежегодник – 2019. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/35d/35d07d80895909d7f4fdd0ea36968465.pdf>. – Дата доступа: 05.03.2020.
20. Кухарчик, Т. И. Образование отходов электронного и электротехнического оборудования, потенциально содержащих полибромдифениловые эфиры, в Беларуси и проблемы их регулирования / Т. И. Кухарчик, В. Д. Чернюк // Сахаровские чтения 2019 г.: экологические проблемы XXI века: материалы 19-й междунар. науч. конф., Минск, 23–24 мая 2019 г. / Междунар. гос. экологич. ин-т им. А. Д. Сахарова БГУ: А. Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, д-ра с.-х. н., проф. С. С. Позняка. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – Ч. 3. – С. 63–66.
21. Forti, V. E-waste Statistics: Guidelines on Classifications, Reporting and Indicators, second edition / V. Forti, C. P. Baldé, R. Kuehr. – Bonn, Germany: United Nations University ViE – SCYCLE, 2018. – 72 p.
22. Recycling rate of e-waste. Retrieved from Eurostat - your key to European statistics. EUROSTAT, 2017 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/recycling-rate-of-e-waste>. – Date of access: 13.03.2020.
23. Regional E-waste Monitor: East and South Asia / S. Honda, S.K. Deepali, R. Kuehr. – Edition 1. – Bonn, Germany: United Nations University ViE – SCYCLE, 2016. – 109 p.
24. Waste over Time – World [Electronic resource]: Van Straalen V.M., Forti V., Baldé C.P., The Hague, The Netherlands: Statistics Netherlands (CBS), 2017. – Mode of access: <https://github.com/Statistics-Netherlands/wot-world>. – Data of access: 23.03.2020.
25. Electrical and Electronic Equipment in France. Summary, 2014 [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/eee-donnees-2014_8584_en-v2.pdf. – Data of access: 17.03.2020.
26. RAPPORT ANNUEL D'ACTIVITÉ, 2016 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2220369/ecologic-ra-deee-menagers-professionnels-2016.pdf>. – Data of access: 21.03.2020.
27. Регионы Республики Беларусь. Национальный статистический комитет республики Беларусь. Стат. сб., т. 1, 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/7a5/7a56006966ab801b8f3e2822d1be313e.pdf>. – Дата доступа: 20.03.2020.
28. RoHS regulated sub-stances in mixed plastics from waste electrical and electronic equipment. Analysis of Poly-Brominated Biphenyl Ethers (PBDEs) in Selected UK / P. A. Wäger [et al.] // Environmental Science Technology. – 2012. Vol. 46, iss. 2. – P. 628–635.
29. Analysis of Poly-Brominated Biphenyl Ethers (PBDEs) in Selected UK Waste Streams: PBDEs in waste electrical and electronic equipment (WEEE) and end of life vehicles (ELV) / James Peacock [et al.]. – Defra, 2012. – 60 p.
30. WEEE plastic and brominated flame retardants. A report on WEEE plastic recycling / Priti Mahesh [et al.] // Toxics Linc, EMPA, Schweizerische Eidgenossenschaft, World resources forum (WRF), Sustainable recycling industries, 2016. – 54 p.
31. Characterization of brominated flame retardants from e-waste components in China / D. Yu [et al.] // Waste Management. – 2017. – Vol. 68. – P. 498–507.
32. Waste Electrical & Electronic Equipment (WEEE). European Commission, 2017 [Electronic resource]. – Mode of access: http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/data_en.htm. – Data of access: 25.03.2020.
33. Waste electrical and electronic equipment management and Basel Convention compliance in Brazil, Russia, India, China and South Africa (BRICS) nations / S. Ghosh [et al.] // Waste Management & Research. – 2017. – Vol. 34. – P. 693–707.
34. Magalini, F., eWaste in Latin America. Statistical analysis and policy recommendations / F. Magalini, R. Kuehr, C. P. Baldé // United Nations University Institute for the Advanced Study of Sustainability (UNU-IAS), 2015. – GSMA. – 37 p.
35. Sustainable E-Waste Management in Asia: Analysis of Practices in Japan, Taiwan and Malaysia / M. I. Rasnan [et al.] // Journal of Environmental Assessment Policy and Management. – 2016. – Vol. 18, iss. 4, № 1650023. – P. 1–23.
36. Awasthi, A. K. Management of electrical and electronic waste: A comparative evaluation of China and India / A. K. Awasthi, J. Li // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 76. – P. 434–447.
37. Кухарчик, Т. И. Регулирование обращения с полибромдифениловыми эфирами в Беларуси и других странах / Т. И. Кухарчик, В. Д. Чернюк, М. И. Козыренко // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 135–148.

Поступила 07.04.2020