

УДК 504.064-034

Р. В. Кнауб

Оценка объёмов образования стойких органических загрязнителей в отходах пластика от электронного и электрического оборудования в субъектах Сибирского федерального округа

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск
e-mail: knaybrv@mail.ru

Аннотация. В статье проведён расчёт образования потенциальных объёмов отходов пластика от электронного и электрического оборудования на территории Сибирского федерального округа за 2020 г. Отходы пластика от электронного и электрического оборудования являются стойкими органическими загрязнителями окружающей среды любого региона. К ним относятся и полибромдифениловые эфиры (ПБДЭ), которые выполняют функцию антипиренов в электронном и электрическом оборудовании. Отходы, содержащие бромированные антипирены, составили 12089,15 тонны. Полученные предварительные данные по Сибирскому федеральному округу будут в дальнейшем детализированы с учётом других видов электронного и электрического оборудования.

Ключевые слова: электронное и электрическое оборудование, стойкие органические загрязнители, полибромдифениловые эфиры, Сибирский федеральный округ.

Введение

С 1 сентября 2023 г. по 1 марта 2028 г. в России работают новые правила утилизации отходов электронного и электрического оборудования (ОЭЭО) [1]. Они устанавливают обязательную глубину утилизации электроники на уровне 85 %, а также вводят требования для утилизаторов по обладанию необходимых мощностей и системы весового контроля. Сейчас от них требуется только наличие лицензии.

Приказ № 173 [1] вносит изменения в приказ № 399, который вступил в силу 1 марта 2022 года. По нему индивидуальные предприниматели и юрлица должны отправлять ОЭЭО на утилизацию в течение 11 месяцев. Они обязаны направлять отходы организациям, законно занимающимся сбором, транспортированием, обработкой, утилизацией, обезвреживанием и хранением групп «Отходы электронного оборудования».

Кроме того, меняются правила для органов местного самоуправления, которые обязаны списывать и направлять на утилизацию электронику и технику. Теперь государственные и муниципальные предприятия, организации должны при подготовке конкурсной документации учитывать требования к утилизаторам. Для участия в тендере одной лицензии будет недостаточно, важно выполнение всех вышеперечисленных условий.

Согласно [2], РФ в 2011 г. ратифицировала Стокгольмскую конвенцию о стойких органических загрязнителях (СОЗ). Среди большого числа токсичных веществ, содержащихся в отходах электронного и электрического оборудования, есть группа соединений, которая относится к СОЗ. К ним относятся и полибромдифениловые эфиры (ПБДЭ), которые выполняют функцию антипиренов (огнезащитные функции) в электронном и электрическом оборудовании.

Полимерные отходы, к которым относится и ПБДЭ, становятся глобальной проблемой, так как используются в производстве всей современной электронной и электрической техники. Рост образования данного вида отходов связан с общим ростом производства электронного и электрического оборудования (ЭЭО) во всём мире и использование ПБДЭ в качестве антипиренов. Так, по данным [3], в 2019 г. в мире было произведено 53,6 млн. тонн электронных отходов, что в среднем составляет 7,3 кг на человека в год. Мировое производство выросло на 9,2 млн. тонн отходов с 2014 г., и по прогнозам, вырастет до 74,4 млн. тонн к 2030 г., то есть почти удвоится всего за 16 лет. По данным [4], по состоянию на 2018 г. в Беларуси образовалось около 9,3 тыс. т полимерных отходов ЭЭО, что составляет около 21 % от общего объема отходов ОЭЭО за год.

В РФ по данным [3], в 2019 г. образовано 1631 тысяча тонн ОЭЭО, что составило 11,3 кг на душу населения. Из 1631 тысяча тонн ОЭЭО на переработку было отправлено 90 тысяча тонн, что составляет 5,5 % от общего объёма образовавшихся ОЭЭО.

В РФ в 2017 г. основана Ассоциация «СКО Электроника – утилизация» [5], которая имеет своей целью построение эффективной системы утилизации бытовой техники и электроники в соответствии с действующими мировыми стандартами правовыми актами.

По данным [5], в 2022 г. российские предприятия собрали 262 862 тонны электронных отходов. За период 2019-2022 гг. сбор отходов электроники вырос более чем в 2,5 раза, а масса утилизированных отходов (вовлеченных в производство вторичной продукции) выросла более чем в 3,5 раза. Также было доказано, что ПБДЭ снижают фертильность у людей на уровнях, характерных для домашних хозяйств [6]. Напомним, что во всей этой продукции используются полимерные изделия, такие как ПБДЭ, учёт объема, образования которого необходимо вести, в том числе, и на территории Сибирского федерального округа (СФО). Таким образом, из данного материала вытекает цель исследования.

Цель работы – провести предварительную оценку ежегодного содержания пластика и ПБДЭ в отходах электронного и электрического оборудования населения СФО.

Для реализации поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проведение анализа современного законодательства в области обращения с отходами электронного и электрического оборудования у нас в стране и в мире.
2. Рассмотрение методики расчёта образования отходов пластика от электронного и электрического оборудования.
3. Сбор данных для расчётов и проведение предварительной оценки объёмов образования пластика от электронного и электрического оборудования населением СФО.

Материалы и методы

Для расчёта образования полимерных отходов ОЭЭО использовалась следующая методика [7]. Расчёты для Сибирского федерального округа проводились по состоянию на 2020 г. Данные по статистике брались из следующих источников [8, 9].

Согласно Руководству [7], для вычислений необходимо два вида входных данных: запасы ЭЭО у потребителей и средний срок службы изделия.

В свою очередь при расчете запасов ОЭЭО учитывается средний вес устройства и численность населения страны или региона [7]:

$$\text{Отходы ОЭЭО за год} = M_{\text{эо}}(\text{запасы})/L_{\text{сэо}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{эо}}(\text{запасы}) = [\text{количество устройств на одного человека}] [\text{средний вес устройства}] [\text{численность населения}]$, (t) – запасы ОЭЭО у потребителей; $L_{\text{сэо}}$ – средняя продолжительность срока службы устройства, лет.

В настоящее время на международном уровне регулируются три группы соединений ПБДЭ: коммерческий октабромдифениловый эфир (к-октаБДЭ), коммерческий пентабромдифениловый эфир (к-пентаБДЭ) и декабромдифениловый эфир (декаБДЭ). Первые две группы соединений были включены в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ в 2009 г., их производство прекращено в середине 2000-х годов. ДекаБДЭ включен в Конвенцию в 2017 г.; он продолжает производиться и использоваться [10].

Согласно [11], в странах ЕС на долю ЭЭО приходится от 80 до 90 % пластика, содержащего декаБДЭ. В источнике [10], сделано предположение, что аналогичное соотношение может быть приемлемо и на глобальном масштабе. Содержание декаБДЭ в составе пластика составляет 10–15 % общего веса, достигая в некоторых случаях 20 %.

В этой связи важным представляется получение предварительной оценки объемов образования полимерных отходов ЭЭО, потенциально содержащих ПБДЭ, подлежащих регулированию в рамках Стокгольмской конвенции о СОЗ, Стороной которой является РФ. Для этого использована методология, рекомендованная [12], согласно которой, доля полимерных материалов в составе ЭЭО составляет: для холодильников – 33 %, стиральных машин – 20 %, телевизоров и мониторов с ЭЛТ – 30 %, ЖК телевизоров и мониторов – 24 %, сотовые телефоны – 56 %.

Приняты следующие средние значения срока службы ЭЭО: для холодильников – 15 лет, стиральных машин – 10, телевизоров и мониторов с ЭЛТ – 15, ЖК телевизоров – 17, ЖК мониторов – 10 лет, сотовых телефонов – 3 года [4].

Так, результаты, полученные в США в 2015 г., показывают [13], что около 1,0835 миллиарда устройств достигнут конца срока службы в 2025 году. Таким образом, усреднённый срок службы электронных устройств в США составляет 10 лет.

В таблице 1 представлены данные о среднем весе бытовой техники.

Таблица 1.

Средний вес бытовой техники

Виды электронного и электрического оборудования	Средний вес, кг
Телевизор и монитор с ЭЛТ	31,6
ЖК телевизор	15
Радиоприёмник	2
Hi-Fi система	10
ЭЛТ монитор	14,1
ЖК монитор	4,7
Настольный компьютер (включая мышь и клавиатуру)	9,9
Ноутбук	3,5
Мобильный телефон	0,1
Принтер	6,5
Холодильник	42
Стиральная машина	61

Составлено по [7]

Далее по статистическим данным мы рассчитали обеспеченность домашних хозяйств и населения субъектов Сибирского федерального округа электронным и электрическим оборудованием на одно домашнее хозяйство и на одного человека.

Таблица 2.

Обеспеченность домашних хозяйств и населения Сибирского федерального округа ЭЭО, рассчитанная по статистическим данным

Субъекты СФО	Тип оборудования									
	Телевизоры		Стиральные машины		Мобильные телефоны		Настольный компьютер (включая мышь и клавиатуру)		Холодильники	
	Ед./х-во	Ед./чел	Ед./х-во	Ед./чел	Ед./х-во	Ед./чел	Ед./х-во	Ед./чел	Ед./х-во	Ед./чел
Республика Алтай	1,63	1,62	1,02	1,01	2,5	2,48	1,01	1,0	1,65	1,64
Республика Тыва	1,16	1,14	0,97	0,95	2,91	2,87	0,87	0,86	1,27	1,25
Республика Хакасия	1,73	1,71	1,07	1,06	2,54	2,51	1,28	1,26	1,62	1,60
Алтайский край	1,6	1,58	1,02	1,01	2,27	2,24	1,14	1,12	1,56	1,54
Красноярский край	1,83	1,82	1	0,99	2,51	2,50	1,44	1,43	1,67	1,66
Иркутская область	1,9	1,87	1,07	1,05	2,67	2,63	1,41	1,39	1,53	1,51
Кемеровская область	1,77	1,75	1	0,99	2,48	2,46	1,26	1,25	1,35	1,33
Новосибирская область	1,58	1,56	1,04	1,03	2,34	2,32	0,95	0,94	1,66	1,64
Омская область	1,59	1,57	0,99	0,97	2,57	2,54	1,09	1,07	1,38	1,36
Томская область	1,68	0,16	1,03	1,02	2,33	2,31	1,29	1,28	1,46	1,45

Составлено по [14]

Из данных таблицы 2 следует, что в большинстве регионов СФО на человека и на домохозяйство приходится более одной единицы домашней техники. Наибольшая обеспеченность по типу домашнего оборудования приходится на сотовые телефоны, в среднем на одного человека приходится больше двух единиц сотовых телефонов. Таким образом, получив статистические данные, мы приступили к предварительной оценке образования ОЭЭО на территории СФО.

Результаты и обсуждение

Далее по полученным данным переходим к расчёту объёмов образования ОЭЭО и полимерных отходов, используя для этого формулу 1.

Общий объём ОЭЭО в субъектах СФО представлен в таблице 3.

Таблица 1.

Общий объём образующих отходов электронного и электрического оборудования на территории СФО за 2020 год

Субъекты СФО	Тип оборудования					Всего образуетя ОЭЭО, тонн
	Телевизоры, тонн	Стиральные машины, тонн	Мобильные телефоны, тонн	Настольный компьютер (включая мышь и клавиатуру), тонн	Холодильники, тонн	
Республика Алтай	341,72624	1304,4298	17,470666	299,46719	968,57376	2931,66
Республика Тыва	386,39716	1970,9586	32,310797	409,85698	1184,507156	3984,03
Республика Хакасия	917,23562	3460,5762	44,889758	959,80262	2425,83012	7808,33
Алтайский край	3434,6496	13356,493	162,43030	3461,0228	9468,386928	29882,98
Красноярский край	5209,6751	17365,583	238,18368	5797,7461	13359,1964	41970,38
Иркутская область	4489,9945	15424,312	210,32079	4712,4686	10123,75602	34960,85
Кемеровская область	4567,4124	15740,799	213,31794	4598,3779	9754,13502	34874,04
Новосибирская область	4384,4810	17604,523	2164,4906	3728,3945	12898,14422	40780,03
Омская область	2923,5807	11104,090	157,51787	2834,5336	7104,85272	24124,57
Томская область	51,007968	1322,3816	45,82215	461,69497	1423,7599	3304,66

Составлено автором

Из данных таблицы следует, что минимальный объём образования ОЭЭО отмечен в республике Алтай и равен 2931,66 тонны, максимальный отмечается в Красноярском крае и равен 41,9 тысяч тонн, следовательно, разница между субъектами в накоплении ОЭЭО составляет 14,3 раза. Разница в численности населения между республикой Алтай и Красноярским краем составляет 13,5 раз.

Далее провели расчёт образования объёмов полимерных отходов на территории СФО. На рисунке 1 отражен объём накопления полимерных отходов от электронного и электрического оборудования субъектов СФО.

Анализ рисунка 1 показывает, что объёмы образовавшихся полимерных отходов от электронного и электрического оборудования распределились следующим образом: в двух субъектах Республиках Алтай и Тыва до 1000 тонн, республике Хакасия до 2000 тонн, Томской области до 3000 тонн, Алтайском

крае, Кемеровской, Омской и Иркутской областях до 10000 тонн, Новосибирской области и Красноярском крае более 10000 тонн.

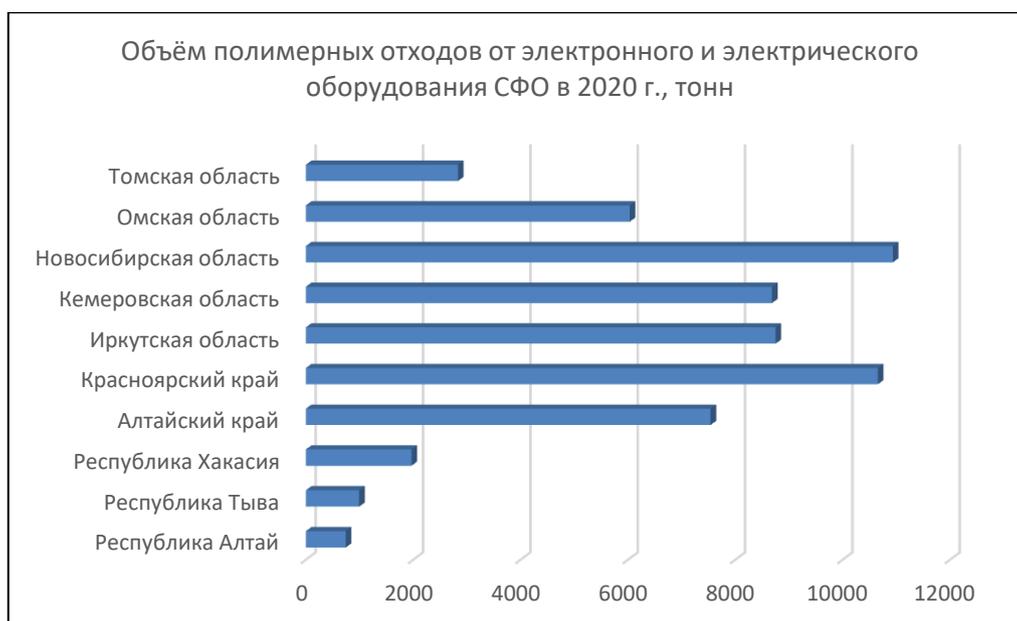


Рис. 1. Объём полимерных отходов электронного и электрического оборудования в субъектах СФО в 2020 г., тонн.

Составлено автором

Таким образом, лидерами по накоплению полимерных отходов от ЭЭО в СФО стали Красноярский край и Новосибирская область.

Да мы провели расчёты объёмов образования ПБДЭ на территории СФО. На рисунке 2 представлены объёмы образования ПБДЭ от отходов электронного и электрического оборудования на территории СФО за 2020 год.

При картографировании субъектов СФО по объёму образования ПБДЭ от отходов электронного и электрического оборудования на территории СФО за 2020 год все субъекты были разделены на 4 категории: до 500 тонн, от 500 до 1500 тонн, от 1500 до 2000 тонн и более 2000 тонн.

В первую категорию вошли такие субъекты СФО как республики Алтай, Тыва, Хакасия и Томская область.

Во вторую категорию вошла Омская область.

В третью категорию вошли Кемеровская и Иркутская область и Алтайский край.

В четвёртую категорию вошли Новосибирская область и Красноярский край.

Таким образом, лидером по образованию СОЗ в лице ПБДЭ на территории СФО является Красноярский край. Минимальные объёмы отмечаются в республике Алтай. Разница в значении объёмов накопления ПБДЭ составила 14,3 раза.



Рис. 2. Объем образования ПБДЭ от отходов электронного и электрического оборудования на территории СФО за 2020 год.
Составлено автором

Таким образом, в целом на территории СФО за 2020 год образовалось 12089,15 тонны ПБДЭ.

Важным моментом при рассмотрении объемов образования ПБДЭ от электронной и электрической техники является разграничение для городского и сельского населения федерального округа. Известно, что большинство населения в субъектах СФО проживает в городских условиях, меньшая часть проживает в сельской местности.

На рисунке 3 представлена группировка субъектов СФО по величине объемов образовавшихся СОЗ в лице ПБДЭ. Для городского населения выделены 5 категорий объемов образования ПБДЭ, для сельского населения 4 категории.

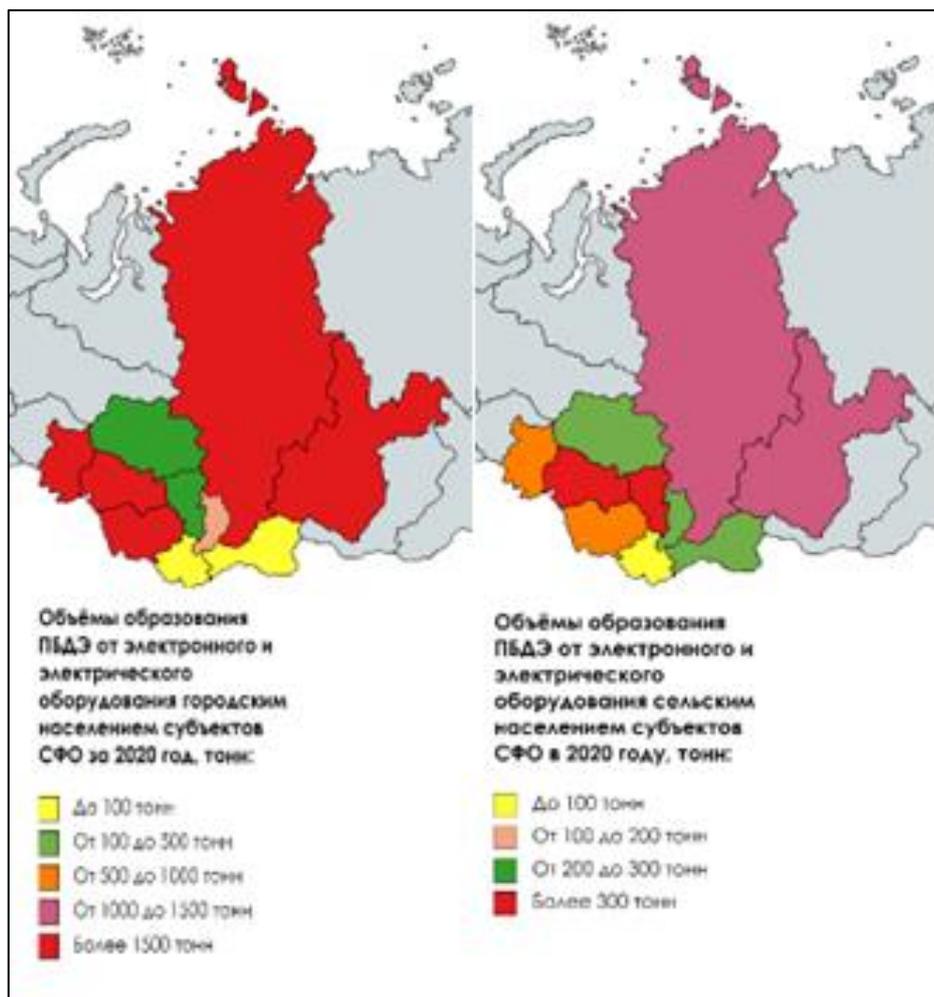


Рис. 3. Сравнение объёмов образования ПБДЭ от электронного и электрического оборудования между сельским и городским населением субъектов СФО за 2020 г.

Составлено автором

Общий объём ПБДЭ на территории СФО в 2020 году для городского населения составил 8322,1 тонны, для сельского населения 2498,2 тонны. Следовательно, 73,88 % объёмов ПБДЭ образуется от городского населения, и 26,12 % от сельского населения.

Также в СФО отмечается один исключительный случай, когда от сельского населения в регионе образуется больше объёмов ПБДЭ, чем от городского населения. Так, в республике Алтай от городского населения образуется 31,82 % объёмов ПБДЭ, а от сельского населения 68,18 %.

Полученные предварительные данные по округу будут в дальнейшем детализированы с учётом других видов ЭЭО.

Выводы

В результате проведённых исследований были получены следующие результаты:

1. На основе проведённых расчётов было установлено, что общая масса отходов ЭЭО на территории СФО за 2020 г. составила 224621,53 тонн, в том числе масса полимерных отходов – 59151,15 тонн.

2. В 2020 году в СФО образовалось отходов пластика, содержащих бромированные антипирены – 12089,15 тоны, из которых: от телевизоров – 1292,147 тонны, стиральных машин – 4223,771 тонны, мобильных телефонов – 374,4844 тонны, настольных компьютеров (включая мышь и клавиатуру) – 1401,88 тонны и холодильников – 4796,867 тонны.

3. В географическом отношении отмечается неравномерное распределение образования отходов пластика, содержащих бромированные антипирены на территории субъектов СФО. Большая их часть образуется на территории городских населённых пунктов.

4. Отмечается чёткая зависимость образующихся объёмов полимерных отходов ЭЭО и отходов пластика, содержащих бромированные антипирены от количества населения, проживающего в данном конкретном административно-территориальном образовании федерального округа.

Литература

1. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 04.04.2023 № 173 «О внесении изменений в Требования при обращении с группами однородных отходов I - V классов опасности, утвержденные приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 11 июня 2021 г. № 399».
2. Федеральный закон от 27 июня 2011 г. N 164-ФЗ «О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях».
3. The Global E-waste Monitor 2020 / Vanessa Forti [et al.]. UNU, ITU, ISWA, 2020. 119 p.
4. Чернюк В. Д., Кухарчик Т. И. Полимерные отходы, потенциально содержащие бромированные антипирены: объёмы образования, пространственное распределение, вторичная переработка в Беларуси. Природные ресурсы. 2020;(2): С. 115-124.
5. Официальный сайт Ассоциации «СКО Электроника – утилизация». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://e-epr.ru/about>
6. Kim G. Harley, Amy R. Marks, Jonathan Chevrier, Asa Bradman, 1 Andreas Sjödin, and Brenda Eskenazi. PBDE Concentrations in Women's Serum and Fecundability // Environ Health Perspect. 2010 May; 118(5): 699–704. Published online 2010 Jan 26. doi: 10.1289/ehp.0901450.
7. 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.
8. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Стат. сб. / Росстат. М., 2022. 1122 с.
9. Статистический ежегодник. 2022: Стат.сб. / Томскстат - Т., 2022. 251 с.
10. Кухарчик Т. И., Чернюк В.Д. Отходы электронного и электротехнического оборудования как источник стойких органических загрязнителей // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века. материалы

- 18-й международной научной конференции, 17–18 мая 2018 г., г. Минск, 2018. С. 56-58.
11. Literature Study – DecaBDE in waste streams. Final Report // Norwegian Environment Agency. 2015. 160 p.
 12. GUIDANCE for the Inventory of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) Listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants // UNEP, UNIDO, UNITAR, 2012.
 13. Chang, S. Y., Assumaning, G. A. and Abdelwahab, Y. (2015) Estimation of Future Generated Amount of E-Waste in the United States. Journal of Environmental Protection, 6, 902-928.
 14. Официальный сайт Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Новосибирской области. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://54.rosstat.gov.ru/folder/31727>

R. V. Knaub

Assessment of the volume of formation of persistent organic pollutants in plastic waste from electronic and electrical equipment in the constituent entities of the Siberian Federal District

National Research Tomsk State University, Tomsk
e-mail: knaubr@mail.ru

Abstract. *The article calculates the generation of potential volumes of plastic waste from electronic and electrical equipment in the Siberian Federal District for 2020. Plastic waste from electronic and electrical equipment is a persistent organic pollutant of the environment in any region. These include polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), which act as flame retardants in electronic and electrical equipment. Waste containing brominated flame retardants amounted to 12,089.15 tons. The preliminary data obtained for the Siberian Federal District will be further detailed taking into account other types of electronic and electrical equipment.*

Keywords: *electronic and electrical equipment, persistent organic pollutants, polybrominated diphenyl ethers, Siberian Federal District.*

References

1. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 04.04.2023 № 173 «О внесении изменений в Требования при обращении с группами однородных отходов I - V классов опасности, утвержденные приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 11 июня 2021 г. № 399». (in Russian)
2. Федеральный закон от 27 июня 2011 г. N 164-ФЗ «О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях». (in Russian)
3. The Global E-waste Monitor 2020 / Vanessa Forti [et al.]. UNU, ITU, ISWA, 2020. 119 p.

4. Chernyuk V. D., Kuharchik T. I. Polimernye othody, potencial'no soderzhashchie bromirovannye antipireny: ob"emy obrazovaniya, prostranstvennoe raspredelenie, vtorichnaya pererabotka v Belarusi. Prirodnye resursy. 2020;(2): S. 115-124. (in Russian)
5. Oficial'nyj sajt Associacii «SKO Elektronika – utilizaciya». URL: <https://e-epr.ru/about>. (in Russian)
6. Kim G. Harley, Amy R. Marks, Jonathan Chevrier, Asa Bradman,1 Andreas Sjödin, and Brenda Eskenazi. PBDE Concentrations in Women's Serum and Fecundability // Environ Health Perspect. 2010 May; 118(5): 699–704. Published online 2010 Jan 26. doi: 10.1289/ehp.0901450.
7. 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.
8. Regiony Rossii. Social'no-ekonomicheskie pokazateli. 2022: Stat. sb. / Rosstat. M., 2022. 1122 s. (in Russian)
9. Statisticheskij ezhegodnik. 2022: Stat.sb. / Tomskstat - T., 2022. 251 s. (in Russian)
10. Kuharchik T. I., Chernyuk V.D. Othody elektronnoho i elektrotekhnicheskogo oborudovaniya kak istochnik stojkih organicheskikh zagryaznitelej // Saharovskie chteniya 2018 goda: ekologicheskie problemy XXI veka. materialy 18-j mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, 17–18 maya 2018 g., g. Minsk, 2018. S. 56-58. (in Russian)
11. Literature Study – DecaBDE in waste streams. Final Report // Norwegian Environment Agency. 2015. 160 p.
12. GUIDANCE for the Inventory of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) Listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants // UNEP, UNIDO, UNITAR, 2012.
13. Chang, S. Y., Assumaning, G. A. and Abdelwahab, Y. (2015) Estimation of Future Generated Amount of E-Waste in the United States. Journal of Environmental Protection, 6, 902-928.
14. Oficial'nyj sajt Territorial'nogo organa Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Novosibirskoj oblasti. URL: <https://54.rosstat.gov.ru/folder/31727>. (in Russian)

Поступила в редакцию 06.02.2024 г.