

УДК 504.064-034

## ОТХОДЫ ПЛАСТИКА ЭЛЕКТРОННОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ИСТОЧНИК СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

*Кнауб Р. В.<sup>1</sup>, Игнатьева А. В.<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск,  
Российская Федерация  
E-mail: <sup>1</sup>knaubr@mail.ru, <sup>2</sup>anna\_tomsktsu@mail.ru*

В статье представлены результаты анализа формирования отходов пластика, образованного от электронного и электрического оборудования на территории Томской области за 2020 год. На основе проведенных расчетов авторами установлено, что общая масса отходов электронного и электрического оборудования на территории Томской области за 2020 год составила 13,1 тысяч тонн, в том числе масса полимерных отходов — 3,3 тысячи тонн. Отходы, содержащие бромированные антипирены, составили 459,2 тонны. Сравнительный анализ за период с 2010 по 2020 год объем образования бромированных антипиренов показал, что их объем увеличился на 45,7%. Общий объем образующихся отходов электронного и электрического оборудования остался практически прежним, при этом объем полимерных отходов также увеличился на 14,1%. При анализе образования объемов ОЭЭО для городского и сельского населения Томской области, отмечаются следующие особенности. Общий объем ОЭЭО остался почти на прежнем уровне, немного сократившись в 2020 году, объем полимерных отходов сократился на 19,9% для городских территорий, и на 2,5%. Объемы образования ПБДЭ для городских территорий остались практически на одном уровне, а для сельских поселений произошло значительное увеличение, порядка 21,9%. Полученные предварительные данные по региону будут в дальнейшем детализированы с учетом других видов электронного и электрического оборудования.

**Ключевые слова:** электронное и электрическое оборудование, стойкие органические загрязнители, полибромдифениловые эфиры, Томская область.

### ВВЕДЕНИЕ

С 1 сентября 2023 г. по 1 марта 2028 г. в России работают новые правила утилизации отходов электронного и электрического оборудования (ОЭЭО) [3]. 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 [3] вносит изменения в приказ № 399, который вступил в силу 1 марта 2022 года. По нему индивидуальные предприниматели и юридические лица 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

## ОТХОДЫ ПЛАСТИКА ЭЛЕКТРОННОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ИСТОЧНИК СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

---

участия в тендере одной лицензии будет недостаточно, важно выполнение всех вышеперечисленных условий.

Согласно [6], 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 всем мире и использование ПБДЭ в качестве антипиренов. Так, по данным [13], 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 [7], 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 [13], 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 объема образовавшихся ОЭЭО.

В РФ в 2017 г. основана Ассоциация «СКО Электроника — утилизация» [2], которая имеет своей целью построение эффективной системы утилизации бытовой техники и электроники в соответствии с действующими мировыми стандартами правовыми актами.

По данным [2], 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. Напомним, что во всей этой продукции используются полимерные изделия, такие как ПБДЭ, учет объема, образования которого необходимо вести, в том числе, и на территории Томской области. Таким образом, из данного материала вытекает цель исследования.

*Цель работы* — провести предварительную оценку ежегодного содержания пластика в отходах электронного и электрического оборудования населения Томской области.

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 расчета образования отходов пластика от электронного и электрического оборудования.

3. Сбор данных для расчетов и проведение предварительной оценки объемов образования пластика от электронного и электрического оборудования населением Томской области.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для расчета образования полимерных отходов ОЭЭО использовалась следующая методика [3]. Расчеты для Томской области проводились по состоянию на 2020 г. Данные по статистике брались из следующих источников [4, 5].

Согласно Руководству [10], 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 [10]:

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

где  $M_{\text{эо}}(\text{запасы}) = [\text{количество устройств на одного человека}] * [\text{средний вес устройства}] * [\text{численность населения}]$ , (т) — 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 [11].

Согласно [12], в странах ЕС на долю ЭЭО приходится от 80 до 90 % пластика, содержащего декаБДЭ. В источнике [11], 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 СОЗ, Стороной которой является РФ. Для этого использована методология, рекомендованная [11], 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 [7].

Так, результаты, полученные в США в 2015 г., показывают [9], что около 1,0835 миллиарда устройств достигнут конца срока службы в 2025 году. Таким образом, усредненный срок службы электронных устройств в США составляет 10 лет.

**ОТХОДЫ ПЛАСТИКА ЭЛЕКТРОННОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ИСТОЧНИК СТОЙКИХ  
ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ**

---

**Исходные данные**

В таблице 1 представлены данные о среднем весе бытовой техники.

Таблица 1.

Средний вес бытовой техники [10]

Виды электронного и электрического оборудования	Средний вес, кг
Телевизор и монитор с ЭЛТ	31,6
ЖК телевизор	15
Радиоприемник	2
Ni-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

Далее по статистическим данным мы рассчитали обеспеченность домашних хозяйств и населения Томской области электронным и электрическим оборудованием на одно домашнее хозяйство и на одного человека.

Таблица 2.

Обеспеченность домашних хозяйств и населения Томской области ЭЭО по статистическим данным [8]

Тип оборудования	По статистическим данным[8]	
	Единиц/хозяйство	Единиц/человека
Телевизоры	1,68	0,16
Стиральные машины	1,03	1,02
Мобильные телефоны	2,33	2,31
Настольный компьютер (включая мышь и клавиатуру)	1,29	1,28
Холодильники	1,46	1,45

Для проведения пространственного анализа распределения ОЭЭО по территории Томской области нам необходимо было получить статистические данные в разрезе районов и городов региона. Обеспеченность домашних хозяйств и населения районов Томской области ЭЭО по статистическим данным представлена в таблице 3.

Таким образом, получив статистические данные, мы приступили к предварительной оценке образования ОЭЭО на территории Томской области.

Таблица 3.  
Обеспеченность домашних хозяйств и населения районов Томской области ЭЭО по статистическим данным, единиц/человека [8]

Районы и города Томской области	Тип оборудования				
	Телевизоры	Стиральные машины	Мобильные телефоны	Настольный компьютер (включая мышь и клавиатуру)	Холодильники
Городские населенные пункты	1,67	1,02	2,31	1,28	1,45
Сельские населенные пункты	1,67	1,02	2,32	1,28	1,45
Городской округ «город Томск»	1,67	1,02	2,31	1,28	1,45
Городской округ «город Кедровый»	1,68	1,03	2,33	1,29	1,46
Городской округ «город Северск»	1,67	1,02	2,32	1,28	1,45
Городской округ «Стрежевой»	1,68	1,03	2,33	1,29	1,46
Асиновское муниципальное поселение	-	-	-	-	-
Городское население	1,62	0,99	2,25	1,24	1,41
Сельское население	1,68	1,03	2,33	1,29	1,46
Бакcharское муниципальное поселение	1,66	1,02	2,31	1,27	1,44
Верхнекетский муниципальный район	-	-	-	-	-
Городское население	1,67	1,02	2,32	1,28	1,45
Сельское население	1,68	1,03	2,33	1,29	1,46
Зырянский муниципальный район	1,67	1,02	2,32	1,28	1,45
Каргасокский муниципальный район	1,68	1,03	2,33	1,29	1,46
Кожевниковский муниципальный район	1,68	1,03	2,33	1,29	1,46
Колпашевский муниципальный район	-	-	-	-	-
Городское население	1,67	1,02	2,32	1,28	1,45
Сельское население	1,67	1,02	2,31	1,28	1,45
Кривошеинский муниципальный район	1,68	1,03	2,33	1,29	1,46
Молчановский муниципальный район	1,67	1,02	2,32	1,28	1,45
Парабельский муниципальный район	1,68	1,03	2,33	1,29	1,46
Первомайский муниципальный район	1,68	1,03	2,33	1,29	1,46
Тегульдетский муниципальный район	1,68	1,03	2,33	1,29	1,46
Томский муниципальный район	1,67	1,02	2,32	1,28	1,45
Чаинский муниципальный район	1,68	1,03	2,33	1,29	1,46
Шегарский муниципальный район	1,63	1,0	2,26	1,25	1,42
Александровский муниципальный район - сельское население	1,63	1,0	2,26	1,25	1,42

**ОТХОДЫ ПЛАСТИКА ЭЛЕКТРОННОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ИСТОЧНИК СТОЙКИХ  
ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

По формуле 1 был произведен расчет образовавшихся ОЭЭО на территории Томской области за 2020 г. На основе проведенных расчетов было установлено, что общая масса отходов ЭЭО составила 13,1 тысяч тонн, в том числе масса полимерных отходов — 3,3 тысячи тонн. Отходы, содержащие бромированные антипирены, составили 459,2 тонны. Подробные данные расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Расчет образовавшихся ОЭЭО на территории Томской области за 2020 г., кг

<b>Вид ЭЭО</b>	<b>Количество устройств в на одного человека, ед./чел</b>	<b>Средний вес устройства, кг</b>	<b>Численность населения Томской области, человек</b>	<b>Средняя продолжительность срока службы устройства, лет</b>	<b>Отходы ОЭЭО за год, кг</b>	<b>Масса полимерных отходов, кг</b>
Телевизоры	0,16	15	1 062 666	15	170026,56	51007,968
Стиральные машины	1,02	61		10	661190,785	1322381,67
Мобильные телефоны	2,31	0,1		3	81825,282	45822,15
Настольный компьютер (включая мышь и клавиатуру)	1,28	9,9		7	192372,907	461694,97
Холодильники	1,45	42		15	431442,396	1423759,9
<b>Сумма, в тысячах тонн</b>	-	-	-	-	<b>13,1</b>	<b>3,3</b>

Составлено авторами.

Пластик, содержащий бромированные антипирены, составляет 25 % от всего пластика, используемого в ОЭЭО [7]. Отходы пластика, содержащие бромированные антипирены по видам оборудования представлены на рисунке 1.

Отходы пластика, содержащие бромированные антипирены,  
тонн

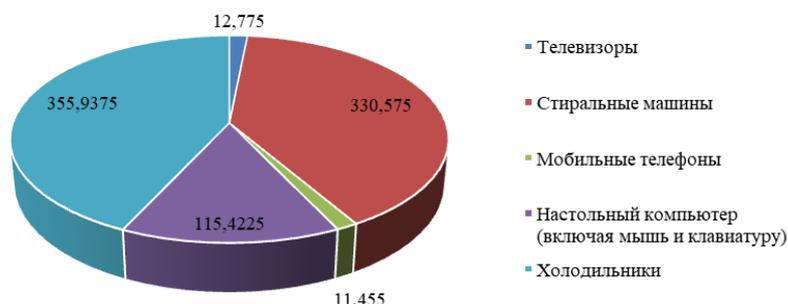


Рис. 1. Отходы пластика, содержащие бромированные антипирены по видам оборудования от населения Томской области за 2020 год, тонн.

Составлено авторами.

Таким образом, в регионе образовалось отходов пластика, содержащих бромированные антипирены — 826,1 т, из которых: от телевизоров — 12,7 т, стиральных машин — 330,5 т, мобильных телефонов — 11,5 т, настольных компьютеров (включая мышь и клавиатуру) — 115,4 т и холодильников — 355,9 т.

В таблице 5 представлены сравнительные данные по ОЭЭО на территории Томской области за 2010 и 2020 годы.

Таблица 5.

Сравнительные данные по образованию отходов ЭЭО на территории Томской области за 2010 и 2020 годы

Регион	2010 год			2020 год		
	Объем ОЭЭО, т	Объем полимерных отходов, т	ПБДЭ, т	Объем ОЭЭО, т	Объем полимерных отходов, т	ПБДЭ, т
Томская область	12913,0	2835,3	567,07	13000,1	3300	826,1
Городское население	9069,8	2294,1	458,8	6339,4	1836,9	459,2
Сельское население	3843,1	972,1	194,4	3759,1	948,1	237

Анализ таблицы 5 показывает, что за период с 2010 по 2020 год объем образования бромированных антипиренов увеличился на 45,7%. Общий объем образующихся ОЭЭО остался практически прежним, при этом объем полимерных отходов также увеличился на 14,1%.

При анализе образования объемов ОЭЭО для городского и сельского населения Томской области, отмечаются следующие закономерности. Общий объем ОЭЭО остался почти на прежнем уровне, немного сократившись в 2020 году, объем

**ОТХОДЫ ПЛАСТИКА ЭЛЕКТРОННОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ИСТОЧНИК СТОЙКИХ  
ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ**

полимерных отходов сократился на 19,9% для городских территорий, и на 2,5%. Объемы образования ПБДЭ для городских территорий остались практически на одном уровне, а для сельских поселений произошло значительное увеличение, порядка 21,9%.

Далее перейдем к пространственному анализу образовавшихся ОЭЭО в районах Томской области за 2020 г.

***Пространственный анализ районов Томской области***

При сравнении городских сельских поселений Томской области были получены следующие результаты:

1. Масса полимерных отходов в городских поселениях составила 1836,9 т, из них ОЭЭО от телевизоров составила 36,3 т, от стиральных машин 1414,4 т, от мобильных телефонов 32,2 т, настольных компьютеров (включая мышь и клавиатуру) 329,2 т, холодильников 363,7. Отходы, содержащие бромированные антипирены составили 459,2 т.

2. Масса полимерных отходов в сельских поселениях составила 948,1 тонны, из них ОЭЭО от телевизоров составила 14,6 т, от стиральных машин 379,4 т, от мобильных телефонов 13,1 т, настольных компьютеров (включая мышь и клавиатуру) 132,4 т, холодильников 8,4т. Отходы, содержащие бромированные антипирены составили 237 т.

Далее в таблице 6 представлено распределение отходов пластика, содержащих бромированные антипирены по муниципальным районам, муниципальным поселениям и городским округам Томской области за 2020 год.

Таблица 6.

Распределение отходов пластика, содержащих бромированные антипирены по административным единицам Томской области за 2020 год

Районы и города Томской области	Виды ОЭЭО, т/год					
	Телевизоры	Стиральные машины	Мобильные телефоны	Настольные компьютеры (включая мышь и клавиатуру)	Холодильники	Сумма полимерных отходов
ГО «город Томск»	6,92703 6	179,58340 83	6,222787 34	62,699571 58	193,35089 24	448,78369 56
ГО «город Кедровый»	0,03196 8	0,8287704	0,028717 92	0,2893560 69	0,8923068	2,0711191 89
ГО «город Северск»	1,35565 2	35,145278 1	1,217827 38	12,270587 25	37,839636 45	87,828981 18
ГО «Стрежевой»	0,47002 8	12,185475 9	0,422241 82	4,2544248 68	13,119656 55	30,451827 14
Асиновское МП. Городское население	0,29895 6	7,7504343	0,268562 14	2,7059788 8	8,3446093 5	19,368540 67

Асиновское МП. Сельское население	0,10738 8	2,7840339	0,096470 22	0,9720148 12	2,9974675 5	6,9573744 82
Бакчарское МП	1,36788	3,5462289	0,122881 22	1,2381268 12	3,8180950 5	10,093211 98
Верхнекетский МР	0,9504	2,463912	0,085377 6	0,8602477 72	2,652804	7,0127413 72
Верхнекетский МР. Городское население	0,83064	2,1534342	0,074619 16	0,7518478 63	2,3185239	6,1290651 23
Верхнекетский МР. Сельское население	1,35672	3,5172966	0,121878 68	1,2280254 17	3,7869447	10,010865 4
Зырянский МР	2,12184	5,5008702	0,190611 96	1,9205683 2	592,28359	602,01748 05
Каргасокский МР	2,44968	6,3507954	0,220062 92	2,2173103 54	6,8376693	18,075517 97
Кожевниковск ий МР	2,49888	6,4783464	0,224482 72	2,2618433 83	6,9749988	18,438551 3
Колпашевский МР. Городское население	0,15001 2	3,8890611	0,134760 78	1,3578229 03	4,1872099 5	9,7188667 33
Колпашевский МР. Сельское население	0,14666 4	3,8022642	0,131753 16	1,3275187 2	4,0937589	9,5019589 8
Кривошеински й МР	0,14764 8	3,8277744	0,132637 12	1,3364253 26	4,1212248	9,5657096 46
Молчановский муниципальны й район	0,13792 8	3,5757834	0,123905 32	1,2484454 4	3,8499153	8,9359774 6
Парабельский МР	0,2046	5,304255	0,183799	1,8519222 86	5,7108975	13,255473 79
Первомайский МР	0,07758	2,0112615	0,069692 7	0,7022098 29	2,1654517 5	5,0261957 79
Тегульдетский МР	1,06761 6	27,677944 8	0,959075 04	9,6634499 65	29,799831 6	69,167917 41
Томский МР	0,14055 6	3,6439143	0,126266 14	1,2722325 94	3,9232693 5	9,1062383 84
Чаинский МР	0,23949 6	6,2089338	0,215147 24	2,1677809 37	6,6849321	15,516290 08
Шегарский МР	0,09126	2,3659155	0,081981 9	0,8260333 72	2,5472947 5	5,9124855 22
Александровск ий муниципальны й район — сельское население	2,49888	6,4783464	0,224482 72	2,2618433 83	6,9749988	18,438551 3

## ОТХОДЫ ПЛАСТИКА ЭЛЕКТРОННОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ИСТОЧНИК СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

---

Таким образом, представленные в таблице 6 данные говорят о неравномерном распределении образования полимерных отходов на территории административных районов Томской области. Наибольший объем отходов пластика, содержащих бромированные антипирены образуется на территории городского округа «город Томск» 1795,1 тонн, что составляет 54,4 % общего объема таких отходов. Для остальных городских округов получились следующие данные: город Кедровый – 0,25 %, город Северск – 10,6 %, город Стрежевой – 3,7 %, город Асино – 2,34 %.

В пределах сельских населенных пунктов отмечается четкая зависимость образующихся объемов полимерных отходов ЭЭО и отходов пластика, содержащих бромированные антипирены от количества населения, проживающего в данном конкретном административно-территориальном образовании региона.

Полученные предварительные данные по региону будут в дальнейшем детализированы с учетом других видов ЭЭО.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были получены следующие результаты:

1. На основе проведенных расчетов было установлено, что общая масса отходов ЭЭО на территории Томской области за 2020 г. составила 13,1 тысяч т, в том числе масса полимерных отходов — 3,3 тысячи т.

2. В регионе образовалось отходов пластика, содержащих бромированные антипирены — 826,1 тонны, из которых: от телевизоров — 12,7 тонны, стиральных машин — 330,5 тонны, мобильных телефонов — 11,5 тонны, настольных компьютеров (включая мышь и клавиатуру) — 115,4 тонны и холодильников — 355,9 тонны.

3. В географическом отношении отмечается неравномерное распределение образования отходов пластика, содержащих бромированные антипирены на территории административных районов Томской области. Большая их часть образуется на территории городского округа город Томск.

4. Отмечается четкая зависимость образующихся объемов полимерных отходов ЭЭО и отходов пластика, содержащих бромированные антипирены от количества населения, проживающего в данном конкретном административно-территориальном образовании региона.

### Список литературы

1. 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.
2. Официальный сайт Ассоциация «СКО Электроника-утилизация». URL: <https://e-epr.ru/about> (дата обращения: 10.12.2023).
3. 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».
4. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Стат. сб. / Росстат. М., 2022. 1122 с.
  5. Статистический ежегодник. 2022: Стат. сб./Томскстат-Т., 2022. 251 с.
  6. Федеральный закон от 27 июня 2011 г. № 164-ФЗ «О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях».
  7. Чернюк В.Д., Кухарчик Т.И. Полимерные отходы, потенциально содержащие бромированные антипирены: объемы образования, пространственное распределение, вторичная переработка в Беларуси. Природные ресурсы. 2020: С. 115–124.
  8. Численность и размещение населения Томской области: Статистический сборник с кратким экономическим обзором/ Томскстат-Т., 2022. 52 с.
  9. Chang, S.Y., Assumaning, G.A. and Abdelwahab, Y. Estimation of Future Generated Amount of E-Waste in the United States. Journal of Environmental Protection, 6.2015. P. 902–928.
  10. 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.
  11. GUIDANCE for the Inventory of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) Listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants // UNEP, UNIDO, UNITAR, 2012.
  12. Literature Study – DecaBDE in waste streams. Final Report // Norwegian Environment Agency. 2015. 160 p.
  13. The Global E-waste Monitor 2020 / Vanessa Forti [et al.]. – UNU, ITU, ISWA, 2020. 119 p.

**PLASTIC WASTE ELECTRONIC AND ELECTRICAL EQUIPMENT IN THE  
TOMSK REGION AS A SOURCE OF PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS  
IN THE ENVIRONMENT**

*Knaub R. V.<sup>1</sup>, Ignateva A. V.<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup>National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation  
E-mail: <sup>1</sup>knaybrv@mail.ru, <sup>2</sup>anna\_tomsktsu@mail.ru*

The article presents an analysis of the formation of plastic waste generated from electronic and electrical equipment in the Tomsk region in 2020. Plastic waste from electronic and electrical equipment is a persistent organic pollutant of the environment in any given region. These include polybromodiphenyl esters (PBDEs), which perform the function of flame retardants in electronic and electrical equipment.

Based on the calculations carried out, the authors found that the total mass of waste of electronic and electrical equipment in the Tomsk region in 2020 amounted to 13,1 thousand tons, including the mass of polymer waste – 3.3 thousand tons. Waste containing brominated flame retardants amounted to 459.2 tons. A comparative analysis for the period from 2010 to 2020 of the volume of formation of brominated flame retardants showed that their volume increased by 45,7 %. The total volume of waste generated from electronic and electrical equipment remained almost the same, while the volume of polymer waste also increased by 14,1 %. When analyzing the formation of WEEE volumes for the urban and rural population of the Tomsk region, the following patterns are noted. The total volume of WEEE remained almost at the same level, slightly decreasing in 2020, the volume of polymer waste decreased by 19,9% for urban areas, and by 2,5 %. The volume of PBDE formation for urban areas remained almost at the same level, and for

ОТХОДЫ ПЛАСТИКА ЭЛЕКТРОННОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ИСТОЧНИК СТОЙКИХ  
ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

---

rural settlements there was a significant increase, about 21,9%. The preliminary data obtained for the region will be further detailed taking into account other types of electronic and electrical equipment.

When comparing urban rural settlements in the Tomsk region, the following results were obtained:

1. The mass of polymer waste in urban settlements amounted to 1836,9 tons, of which the EEE from televisions amounted to 36,3 tons, from washing machines 1414,4 tons, from mobile phones 32,2 tons, desktop computers (including mouse and keyboard) 329,2 tons, refrigerators 363,7. Waste containing brominated flame retardants amounted to 459.2 tons.

2. The mass of polymer waste in rural settlements amounted to 948,1 tons, of which the EEE from televisions amounted to 14,6 tons, from washing machines 379,4 tons, from mobile phones 13,1 tons, desktop computers (including mouse and keyboard) 132,4 tons, refrigerators 8,4 tons. Waste containing brominated flame retardants amounted to 237 tons.

Geographically, there is an uneven distribution of plastic waste containing brominated flame retardants on the territory of the administrative districts of the Tomsk region. Most of them are formed on the territory of the Tomsk city district. There is a clear dependence of the resulting volumes of polymer waste EEE and plastic waste containing brominated flame retardants on the number of people living in this particular administrative-territorial formation of the region.

**Keywords:** electronic and electrical equipment, persistent organic pollutants, polybrominated diphenyl ethers, Tomsk region.

#### References

1. Kuharchik T.I., Chernyuk V.D. Othody elektronnogo 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. P. 56–58. (in Russian)
2. Oficial'nyj sajt Associaciya «SKO Elektronika-utilizaciya». URL: <https://e-epr.ru/about> (data obrashcheniya: 10.12.2023). (in Russian)
3. Prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii ot 04.04.2023 № 173 «O vnesenii izmenenij v Trebovaniya pri obrashchenii s gruppami odnorodnyh othodov I - V klassov opasnosti, utverzhdennye prikazom Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii ot 11 iyunya 2021 g. № 399». (in Russian)
4. Regiony Rossii. Social'no-ekonomicheskie pokazateli. 2022: Stat. sb. / Rosstat. M., 2022. 1122 p.
5. Statisticheskij ezhegodnik. 2022: Stat.sb./Tomskstat-T., 2022. 251 p. (in Russian)
6. Federal'nyj zakon ot 27 iyunya 2011 g. № 164-FZ «O ratifikacii Stokgol'mskoj konvencii o stojkih organicheskikh zagryaznitelyah». (in Russian)
7. Chernyuk V.D., Kuharchik T.I. Polimernye othody, potencial'no sodержashchie bromirovannye antipireny: ob"emy obrazovaniya, prostranstvennoe raspredelenie, vtorichnaya pererabotka v Belarusi. Prirodneryesursy. 2020. pp. 115–124. (in Russian)
8. Chislennost' i razmeshchenie naseleniya Tomskoj oblasti: Statisticheskij sbornik s kratkim ekonomicheskim obzorom/ Tomskstat-T., 2022. 52 p. (in Russian)
9. Chang, S.Y., Assumaning, G.A. and Abdelwahab, Y. Estimation of Future Generated Amount of E-Waste in the United States. Journal of Environmental Protection, 6.2015. pp. 902–928.
10. 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.

11. GUIDANCE for the Inventory of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) Listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants // UNEP, UNIDO, UNITAR, 2012.
12. Literature Study – DecaBDE in waste streams. Final Report // Norwegian Environment Agency. 2015. 160 p.
13. The Global E-waste Monitor 2020 / Vanessa Forti [et al.]. – UNU, ITU, ISWA, 2020. 119 p.

*Поступила в редакцию 20.06.2024 г.*