



# БРОМИРОВАННЫЕ АНТИПИРЕНЫ В ПЛАСТИКОВЫХ ПРОДУКТАХ ИЗ КИТАЯ, ИНДОНЕЗИИ И РОССИИ

февраль 2022 г.



# БРОМИРОВАННЫЕ АНТИПИРЕНЫ В ПЛАСТИКОВЫХ ПРОДУКТАХ ИЗ КИТАЯ, ИНДОНЕЗИИ И РОССИИ

ФЕВРАЛЬ 2022 Г.

*Авторы*

*Житка Стракова<sup>1,2</sup>, Валерия Гречко<sup>2</sup>, Сара Броше<sup>1</sup>, Тереза Карлссон<sup>1</sup>, Вито Буонсанте<sup>1</sup>*

*Соавторы*

*Ольга Сперанская<sup>1,3</sup>, Ольга Понизова<sup>3</sup>, Ярослав Гурский<sup>3</sup>, Оксана Цицер<sup>3</sup>, Ююн Исмавати<sup>4</sup>, Анантика Анисса<sup>4</sup>, Юн Эривово<sup>4</sup>, Панца Деви<sup>4</sup>, Да Мао<sup>5</sup>, Хэ Линхуэй<sup>5</sup>, Руихуань Вэнь<sup>5</sup>*

*1 Международная сеть по ликвидации загрязнителей (IPEN), Швеция; 2 Arnika – Программа по токсичным веществам и отходам, Прага, Чехия; 3 Эко-Согласие, Россия; 4 Nexus3, Денсапар, Бали, Индонезия; 5 Toxics Free Corps, Китай*



Во имя будущего без токсичных веществ

**IPEN** - это сеть неправительственных организаций, работающих в более чем 120 странах с целью снижения и устранения вреда для здоровья человека и окружающей среды от токсичных химических веществ.

[www.ipen.org](http://www.ipen.org)



**Arnika** - это чешская неправительственная организация, основанная в 2001 году. Ее миссией является охрана природы и здоровой окружающей среды для будущих поколений, как в своей стране, так и за рубежом.

[www.arnika.org](http://www.arnika.org)



Данное исследование было проведено с финансовой поддержкой со стороны Шведского агентства по охране окружающей среды.

# СОДЕРЖАНИЕ

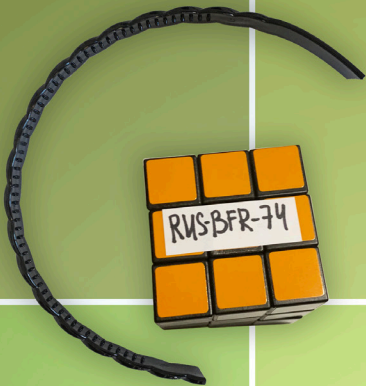
История вопроса .....	5
Материалы и методы .....	8
Результаты и обсуждение.....	11
Выводы.....	15
Приложение 1: Характеристики БАП.....	16
Приложение 2: БАП в анализируемых продуктах (мг/кг) .....	19
Приложение 3: Диапазоны концентраций БАП для категорий образцов (мг/кг) .....	24
Литература .....	25

© 2022. Международная сеть по ликвидации загрязнителей (International Pollutants Elimination Network). Все права защищены

Производственная группа IPEN: Бьорн Билер, Тим Уорнер, Бетти Валунд

При цитировании просьба ссылаться на эту публикацию следующим образом:

Ж. Стракова, В. Гречко, С. Броше, Т. Карлссон, В. Буонсанте. *ВБромированные антипирены в пластиковых продуктах из Китая, Индонезии и России. Международная сеть по ликвидации загрязнителей*. International Pollutants Elimination Network (IPEN), 2022.



# ИСТОРИЯ ВОПРОСА

Бромированные антипирены (БАП) - это синтетические химические вещества, которые постоянно добавляют в потребительские товары для снижения связанного с пожарами ущерба для здоровья человека и материальных убытков. Массовое производство и применение БАП началось в связи с частыми пожарами, которые в 1970-х годах вызывались сигаретами. Это решение было сосредоточено на применении химических антипиренов, а не на мерах по повышению пожарной безопасности сигарет<sup>[2, 3]</sup>, что и привело к разработке соответствующих стандартов пожарной безопасности, ориентированных на обеспечение огнестойкости за счет химических антипиренов<sup>[4]</sup>. С 1970-х годов бромированные антипирены используются в таких потребительских товарах, как электроника, мебель и автомобильная обивка, матрасы, домашний текстиль и строительная изоляция<sup>[5-7]</sup>.

## ПРОБЛЕМА С БАП

БАП включают несколько различных типов химических веществ, таких как полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ), гексабромциклододеканы (ГБЦД) и тетрабромбисфенол А (ТББФА), у каждого из которых имеется свой набор опасных свойств. Как правило, они используются в акрилонитрилбутадиеновых (АБС) пластиках, пенополиуретане (ПУ) и полистирольных (ПС) пластиках, которые используются для изготовления корпусов электронных устройств, домашнего текстиля, мебельной обивки и строительной изоляции. Известно, что БАП выделяются из продуктов, в которых они применяются<sup>[8, 9]</sup>. Более того, другие опасные бромированные вещества, такие как полибромированные диоксины (ПБДД/Ф), образуются как непреднамеренные побочные продукты применения БАП в продукции<sup>[10]</sup>.

ТББФА - это антипирен, который производится в самых больших объемах во всем мире. Для ТББФА известно, что он поражает эндокринную систему<sup>[11, 12]</sup>. ПБДЭ и ГБЦД относятся к стойким органическим загрязнителям («СОЗ-БАП»), для которых известно, что они нарушают работу эндокринной, иммунной и репродуктивной систем человека. Они негативно влияют на развитие нервной системы и могут отрицательно сказаться на IQ у детей<sup>[5, 6, 13, 14]</sup>. Люди подвергаются воздействию ПБДЭ несколькими путями, в том числе с пищей, через поглощение с пылью и через кожу<sup>[9]</sup>. ПБДЭ и ГБЦД были обнаружены в арктическом регионе и в океанах, поскольку они очень медленно разлагаются в естественных условиях и могут перемещаться на далекие расстояния от места своего происхождения с водными и воздушными течениями<sup>[15]</sup>.

Поскольку меры регулирования в отношении ПБДЭ и ГБЦД ужесточились, то в качестве их заменителей все чаще применяются новые БАП (нБАП), включая БТБФЭ (1,2-бис (2,4,6-трибромфенокси) этан) и ОБТМФИ (октабром-1,3,3, -триметилфенил-1) -индан). Однако исследования новых БАП показали, что они обладают свойствами, подобными свойствам стойких органических загрязнителей (т.е. они чрезвычайно медленно разлагаются и обнаруживаются в Арктике из-за их способности перемещаться на большие расстояния)<sup>[16-18]</sup>. Было предоставлено очень мало информации о характеристиках опасности для них. В связи с этими свойствам их можно считать неудачными заменителями ПБДЭ.

## ПЕРЕРАБОТКА СОЗ-БАП СОЗДАЕТ ТОКСИЧНУЮ ЛАЗЕЙКУ

Несмотря на существующие международные меры контроля, многие исследования показали, что ПБДЭ и ГБЦД присутствуют в новых продуктах и в бытовой технике<sup>[19, 20]</sup>, включая детские игрушки<sup>[20-24]</sup>, термочашки, кухонную утварь<sup>[23, 25, 26]</sup>, офисные принадлежности, посуду<sup>[20]</sup> и ковровые покрытия<sup>[27, 28]</sup>. Проведенное IPEN и Arnika в 2018 году исследование показало, что ТББФА и нБАП, помимо СОЗ-БАП, присутствуют в потребительских товарах, включая детские игрушки, аксессуары для волос и кухонную утварь<sup>[29]</sup>. Нужно отметить, что проанализированные продукты не требовали огнестойкости, но все же содержали БАП. В нескольких предыдущих исследованиях<sup>[19, 22-24, 29-31]</sup> было показано, что токсичные химические антипирены не добавляли намеренно в конкретные потребительские товары, закупленные в более чем 30 странах Европы, Азии, Африки, Латинской и Северной Америки, а перешли из перерабатываемых пластиковых электронных отходов в новые товары. Эта практика вступает в противоречие со списком пентаБДЭ и октаБДЭ в приложении А к Стокгольмской конвенции, которые подлежат ликвидации на глобальном уровне<sup>[32]</sup>. Когда эти вещества были внесены в список в 2009 году, правительства согласились на действующее до 2030 года исключение, которое разрешает переработку таких материалов, как пена и пластмассы, которые эти вещества содержат. Такая практика создает лазейку в глобальном контроле, позволяя переработку токсичных отходов и это ставит под угрозу многооборотную экономику пластмасс.

## РЕГУЛЯТОРНАЯ БАЗА В КИТАЕ, ИНДОНЕЗИИ И РОССИИ

Россия еще не ратифицировала ни одну из поправок к Стокгольмской конвенции о СОЗ-БАП, что открывает путь для продолжения импорта этих веществ. Несмотря на ратификацию соответствующих поправок и реализацию проектов по мониторингу в Индонезии, запреты или ограничения, связанные с СОЗ-БАП, не были включены в законодательство этой страны. В Китае введен запрет на производство, распространение, использование,

импорт и экспорт пента- и октаБДЭ, и ожидается, что запрет на ГБЦД будет введен в конце 2021 года. ГБЦД и декаБДЭ были включены в Список химических веществ, подлежащих контролю в первоочередном порядке. ГБЦД внесен в Каталог токсичных химических веществ, импорт и экспорт которых строго ограничен в Китае, а пента- и октаБДЭ включены в Каталог продуктов, запрещенных к экспорту и в Каталог продуктов, запрещенных к импорту. В дополнение к этому, в Китае ввели серию стандартов, которые, как правило, контролируют содержание СОЗ-БАП в отдельных продуктах.

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Это исследование проводилось с целью определить, не содержатся ли БАП в детских игрушках, аксессуарах для волос, канцелярских товарах и кухонных принадлежностях, которые продаются на рынках Китая, Индонезии и России. Это указывало бы на использование переработанных, содержащих антипирены пластмасс, подобно тому, что наблюдалось в предыдущих исследованиях<sup>[24, 27, 29-31]</sup>.

Все эти три страны сталкиваются с проблемами обращения с отходами на местном и национальном уровнях. Одна из многих причин - импорт пластиковых отходов с неизвестным химическим составом. Таким образом, данные, собранные в этом исследовании, будут давать информацию, которая может способствовать установлению соответствующих стандартов и улучшению контроля над обращением опасных добавок бромированных антипиренов в пластиковых потребительских товарах и отходах.

# МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В октябре-декабре 2020 года на рынках и в магазинах Китая, Индонезии и России было закуплено 455 образцов потребительских товаров, изготовленных из черного пластика. Были выбраны именно продукты из черного пластика, поскольку корпуса электронных устройств обычно черного цвета, из-за чего при их переработке образуется черный пластик. Продукты, которые не должны соответствовать каким-либо стандартам пожарной безопасности, были выбраны сознательно, поскольку можно было предположить, что любые присутствующие БАП не добавлялись в такие продукты специально, а попадали в них вследствие переработки пластмасс, содержащих БАП. Наибольший интерес вызывали детские игрушки, аксессуары для волос, кухонная утварь и офисные принадлежности, поскольку ими пользуются дети и женщины репродуктивного возраста, которые особенно чувствительны к воздействию БАП<sup>[22, 33, 34]</sup>. Дети часто берут игрушки в рот, кухонная утварь соприкасается с продуктами питания, а аксессуары для волос и канцелярские товары соприкасаются с кожей женщин репродуктивного возраста (см. фотографии образцов проанализированных продуктов на Рис. 1). Каждый предмет - это один образец.

Для предварительного скрининга пластмасс применяли рентгеновскую флуоресценцию - этот метод, часто используется для определения ПБДЭ



Рисунок 1. Примеры проанализированных продуктов.



в пластмассах<sup>[35, 36]</sup>. Использовался портативный рентгенофлуоресцентный анализатор NITON XL 3t 800 (программа для пластиковых потребительских товаров). Для дальнейшего анализа отбирали образцы, содержащие 213 мг/кг или более брома и 64 мг/кг или более сурьмы. Эти критерии отбора применяли, поскольку бром является ключевым компонентом БАП, а триоксид сурьмы - обычным синергистом БАП<sup>[37]</sup>. Образцы также отбирались так, чтобы были охвачены разные страны и категории образцов (игрушки, канцелярские товары, аксессуары для волос, кухонная утварь и другие предметы). Из 455 образцов для лабораторного анализа были отобраны 73 предмета: 30 образцов из России, 20 образцов из Китая и 23 образца из Индонезии (Табл. 1).

**ТАБЛИЦА 1:** ПРОАНАЛИЗИРОВАННЫЕ ОБРАЗЦЫ - ПО СТРАНАМ И ПО КАТЕГОРИЯМ

	Детские игрушки	Канц. товары	Аkses. для волос	Кухонная утварь	Другое	Образцы на страну
Китай	5	2	6	2	5	20
Индонезия	10	4	2	1	6	23
Россия	24	0	2	3	1	30
Общее число образцов на категорию	39	6	10	6	12	73

Образцы анализировали на присутствие 16 различных конгенов ПБДЭ<sup>1</sup>, на основе компонентов различных коммерческих смесей БАП. К ним относятся конгены в коммерческой смеси пентаБДЭ (БДЭ 28, 47, 49, 66, 85, 99, 100), в смеси октаБДЭ (БДЭ 153, 154, 183, 196, 197, 203, 206, 207) и в коммерческой смеси декаБДЭ (БДЭ 209). Наличие трех изомеров<sup>2</sup> ГБЦД ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -ГБЦД). Анализировали также и ТББФА. Также определяли и наличие шести новых БАП: (1,2-бис (2,4,6-трибромфенокси) этан (БТБФЭ), декабромдифенилэтан (ДБДФЭ), гексабромбензол (ГББ), октабром-1,3,3-триметилфенил-1) -индан (ОБТМФИ), 2,3,4,5,6-пентабромэтилбензол (ПБЭБ) и пентабромтолуол (ПБТ). Все анализы были выполнены лабораторией Химико-технологического университета в Праге, Чехия.

Целевые БАП выделяли экстракцией смесью n-гексан: дихлорметан (в объемном соотношении 4:1). Идентификация и количественное определение

- 1 Конгены представляют собой химические вещества, связанные друг с другом по происхождению, структуре и функциям
- 2 Изомеры представляют собой соединения с одинаковой химической брутто-формулой, но с другим расположением атомов в молекуле

ПБДЭ и новых БАП проводились с использованием газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией в режиме химической ионизации отрицательными ионами (ГХ-МС-ХИОИ). Идентификация и количественное определение изомеров ГБЦД проводились с помощью жидкостной хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией с ионизацией электрораспылением в отрицательном режиме (УВЭЖХ-МС/МС-ИЭР). Предел количественного определения (ПКО) составлял 1 мкг/кг для БДЭ 206 и 207 и 0,5 мкг/кг для других проанализированных конгенов ПБДЭ и БАП. Характеристики проанализированных БАП представлены в Приложении 1.

# РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Лабораторный анализ 73 образцов показал, что все проанализированные образцы содержали СОЗ-БАП (см. подробные результаты в Приложении 2). Все образцы содержали октаБДЭ в диапазоне концентраций от 0,008 до 261,7 мг/кг, а 72 образца содержали декаБДЭ в диапазоне концентраций от 0,088 до 442,6 мг/кг. ГБЦД и пентаБДЭ были обнаружены только в очень низких концентрациях, что вполне ожидаемо, поскольку эти антипирены в основном используются в полистирольных изоляционных материалах и в пеноматериалах, а не в корпусах для электронных устройств. Ни от одного из образцов не требовалось соблюдение каким-либо стандартам пожарной безопасности. Кроме того, измеренные уровни БАП не обеспечивают защиты от воспламенения. Следовательно, вполне вероятно, что содержание БАП связано с переработанными пластиковыми электронными отходами. Сводные результаты для СОЗ-БАП по странам представлены в Табл. 2.

**ТАБЛИЦА 2:** СОЗ-БАП В ОБРАЗЦАХ (МГ/КГ)

Страна	ПентаБДЭ	ОктаБДЭ	ДекаБДЭ	ΣПБДЭ	ГБЦД
Китай (20 образцов)	<ПКО	0,029 - 99,58	<ПКО - 316,2	0,023 - 366,2	<ПКО - 4,66
Россия (30 образцов)	<ПКО	0,842 - 125,4	1,909 - 442,6	2,752 - 497,4	<ПКО - 3,97
Индонезия (23 образца)	<ПКО - 1,775	0,008 - 261,7	0,088 - 255,7	0,101 - 405,3	<ПКО - 1,51

Состав БАП в индивидуальных образцах отличается, без какого-либо конкретного состава или характерных концентраций (см. Табл. 3). Это говорит о том, что для производства вторичного переработанного пластика, который, вероятно, и использовался для производства этих продуктов, использовались материалы из разнородных источников.

**ТАБЛИЦА 3: ТББФА И НОВЫЕ БАП (НБАП) В ОБРАЗЦАХ (МГ/КГ)**

Страна	ТББФА	БТБФЭ	ДБДФЭ	ГББ	ОБТМФИ	ПБЭБ	ПБТ	Сумма НБАП
Китай (20 образцов)	0,30 - 290	ПКО - 557	ПКО - 74,9	0,014 - 1,14	ПКО - 422	ПКО	0,003 - 0,48	5,37 - 728
Россия (30 образцов)	0,32 - 368	0,10 - 557	5,37 - 83,0	0,003 - 0,44	0,38 - 74,9	ПКО	0,002 - 0,43	5,85 - 655
Индонезия (23 образца)	0,30 - 268	0,09 - 389	ПКО - 65,6	0,001 - 0,34	ПКО - 17,6	ПКО	ПКО - 0,09	1,81 - 408

Как показывают данные в Табл. 4, средняя концентрация октаБДЭ в образцах детских игрушек была на том же уровне, что и в игрушках из 26 стран (включая Китай, Индонезию и Россию), которые исследовали в 2017 году<sup>[30]</sup>. Но в новом исследовании концентрации декаБДЭ были выше. Концентрации БАП для каждой категории образцов приведены в Приложении 3.

**ТАБЛИЦА 4: СРАВНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПБДЭ В ДЕТСКИХ ИГРУШКАХ ДЛЯ 2017 И 2020 Г. (ДАННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ) (МГ/КГ)**

	ОктаБДЭ		ДекаБДЭ	
	2017	2020	2017	2020
Китай	3 - 58	5 - 94	2 - 36	23 - 136
Индонезия	ПКО - 52	0,008 - 71	ПКО - 63	0,09 - 256
Россия	1 - 362	0,84 - 125	ПКО - 217	1,91 - 304

Как показывает данное исследование, детские игрушки, аксессуары для волос, канцелярские товары и кухонная утварь, доступные на рынках Китая, Индонезии и России, содержат бромированные антипирены (БАП). Ни в одной из этих стран нет нормативных документов, которые бы ограничивали содержание БАП в продуктах или отходах. Тем не менее, поступление на рынки продуктов, содержащих БАП, следует запретить.

Все три страны являются производителями и потенциальными получателями электронных отходов, содержащих СОЗ-БАП. Чтобы остановить импорт отходов с СОЗ-БАП, необходимо установить строгие ограничения

на содержание СОЗ в отходах<sup>3</sup> Конференция сторон Базельской и Стокгольмской конвенций 2017 года предложила использовать предел для отходов СОЗ, содержащих ПБДЭ, на уровне или 50 мг/кг, или 1000 мг/кг<sup>4</sup> (так называемый «низкий уровень содержания СОЗ»). При менее жестком пределе в 1000 мг/кг, все отходы, содержащие менее 1000 мг/кг ПБДЭ, будут считаться «чистыми» и разрешаться к экспорту для переработки или утилизации. Этот менее жесткий уровень «низкого содержания СОЗ» вызывает озабоченность, поскольку ПБДЭ очень похожи по своей структуре и токсикологическим характеристикам на высокотоксичные полихлорированные дифенилы (ПХБ)<sup>[38, 39]</sup>. Уровень содержания СОЗ для ПХБ в отходах в соответствии с Конвенциями составляет 50 мг/кг, а, следовательно, для ПБДЭ также следует установить предел в 50 мг/кг<sup>[40]</sup>. С использованием предела в 50 мг/кг, из проанализированных в данном исследовании продуктов, 62 из 73 (85%) будут отнесены к категории отходов СОЗ. Более того, менее жесткий уровень «низкого содержания СОЗ» свыше 50 мг/кг приведет к снижению спроса на передовые технологии удаления отходов, позволяющие полностью уничтожать БАП в отходах, не выделяя при этом никаких непреднамеренно производимых СОЗ. Действительно экологически безопасные технологии уничтожения БАП исключают процессы сжигания. Хотя у России и Китая есть технические возможности и пилотные установки, они еще не вложили достаточно средств для создания не связанных с сжиганием коммерческих установок по уничтожению СОЗ.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТОРОН БАЗЕЛЬСКОЙ И СТОКГОЛЬМСКОЙ КОНВЕНЦИЙ И ДЛЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПРАВИТЕЛЬСТВ:

### ***Применять подход на основе классов химических веществ к ограничениям для всех бромированных антипиренов***

Для достижения нетоксичной многооборотной экономики крайне важно применять подход, основанный на классах химических веществ, который позволяет предотвратить использование неудачных заменителей СОЗ-БАП, которые потенциально столь же вредны, хотя еще и не регулируются. Подход на основе классов к поэтапному отказу от всех БАП является единственным адекватным шагом для предотвращения нанесения дальнейшего вреда здоровью человека и окружающей среде.

- <sup>3</sup> Стокгольмская конвенция требует, чтобы отходы СОЗ обрабатывались таким образом, чтобы содержащиеся СОЗ были уничтожены или необратимо преобразованы так, чтобы они больше не проявляли характеристик СОЗ. Конвенция устанавливает пределы низкого содержания СОЗ, при превышении которых требуется обработка. Отходы СОЗ запрещены к переработке и их нельзя перевозить через международные границы стран - см. Статью 6 Стокгольмской конвенции.
- <sup>4</sup> Пересмотренный проект общих технических руководящих принципов экологически обоснованного регулирования отходов, состоящих из стойких органических загрязнителей, содержащих их или загрязненных ими (Общие технические рекомендации), версия от марта 2018 г. доступна по адресу: [http://www.basel.int/Implementation/POPsWastes/TechnicalGuidelines/TechnicalGuidelines\(versionMarch2018\)/tabid/6303/Default.aspx](http://www.basel.int/Implementation/POPsWastes/TechnicalGuidelines/TechnicalGuidelines(versionMarch2018)/tabid/6303/Default.aspx)

## ***Установить предел для отходов СОЗ в рамках Базельской конвенции на уровне, обеспечивающем защиту здоровья человека и окружающей среды***

Сторонам Стокгольмской и Базельской конвенций следует принять научно и экологически обоснованные пределы в 50 мг/кг для ПБДЭ и 100 мг/кг для ГБЦД в отходах. Только жесткий уровень «низкого содержания СОЗ» обеспечит отделение продуктов, обработанных ПБДЭ и ГБЦД, из потоков вторичной переработки, когда они станут отходами. Отходы, содержащие эти вещества в концентрациях, превышающих уровень «низкого содержания СОЗ», должны перерабатываться экологически безопасным образом в соответствии с Конвенциями, т.е. СОЗ в отходах должны быть уничтожены или необратимо преобразованы. Эти опасные отходы не должны допускаться к экспорту в страны, в которых отсутствуют адекватные и действительно экологически безопасные технологии уничтожения СОЗ.

## ***Установить соответствующие технологии отделения для СОЗ-БАП***

До тех пор, пока продукция не будет производиться без этих токсичных веществ, следует использовать методы для отделения перед переработкой предметов, содержащих ПБДЭ и другие токсичные вещества. В неформальном секторе переработки пластмасс в Индии для отделения обработанных БАП пластмасс, используется простой метод разделения тонущего и всплывающего пластика<sup>[45]</sup>. В Европе методы рентгеновской флуоресценции и рентгеновского пропускания используются для измерения общей концентрации брома и работают в промышленных масштабах<sup>[45]</sup>. Такие методы могут использоваться во всем мире, в том числе и для контроля ввозимых отходов на государственных границах.

## ***Остановить вывоз электронных отходов в развивающиеся страны и страны с переходной экономикой в соответствии с положениями Базельской конвенции***

Электронные отходы должны быть четко определены как опасные, что приведет к запрету их экспорта из стран ОЭСР в страны, не входящие в ОЭСР, в соответствии с Поправкой о запрете к Базельской конвенции. Кроме того, необходимо изменить руководящие принципы Базельской конвенции по электронным отходам, чтобы предотвратить экспорт электронных отходов в любую страну, в которой отсутствуют инфраструктура регулирования, а также технические и экономические возможности для обращения с опасными отходами.



## ВЫВОДЫ

Данное исследование показывает, что детские игрушки, аксессуары для волос, канцелярские товары и кухонная утварь, доступные на рынках Китая, Индонезии и России, содержали бромированные антипирены (БАП). Источником БАП, вероятно, была нерегулируемая переработка пластиковых электронных отходов. Такая практика загрязняет и ставит под угрозу многооборотную экономику пластмасс, а это означает, что производство пластмасс, содержащих опасные химические вещества, продолжаться не может. Применение подхода на основе классов химических веществ, ограничивающего использование всех СОЗ-БАП, включая их неудачные заменители, которые в настоящее время используются в продуктах в целевых странах без какого-либо регулирования, мониторинга или контроля, в значительной степени способствовало бы расширению многооборотности. Кроме того, уже существующие загрязненные материалы должны быть отделены от потока отходов, а химические вещества из числа СОЗ, должны быть уничтожены или необратимо преобразованы, чтобы остановить дальнейшее распространение СОЗ-БАП. Одним из важнейших начальных шагов на пути к нетоксичной многооборотной экономике является установление жесткого предела низкого содержания СОЗ для отходов. Этот предел должен быть установлен на таком уровне концентрации, который предотвращает попадание СОЗ-БАП в новые продукты при переработке отходов и останавливает экспорт загрязненных СОЗ-БАП отходов в развивающиеся страны и страны с переходной экономикой.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1:

## ХАРАКТЕРИСТИКИ БАП

### ПОЛИБРОМИРОВАННЫЕ ДИФЕНИЛОВЫЕ ЭФИРЫ (ПБДЭ)

ПБДЭ подразделяют на несколько групп в зависимости от числа атомов галогена в молекуле, включая пентаБДЭ (конгенеры БДЭ 82-127), октаБДЭ (конгенеры БДЭ 194-205) и декаБДЭ (конгенер БДЭ 209).

Пентабромдифениловый эфир (пентаБДЭ) широко применяется в текстильных изделиях и в пенополиуретане, но также встречается и в электронике. Октабромдифениловый эфир (октаБДЭ) используется в акрилонитрилбутадиенстироле (АБС) и других пластмассах, используемых в электронике, например в офисном оборудовании. Декабромдифениловый эфир (декаБДЭ) широко используется в пластмассах, которые применяются в электронике, и является обычным компонентом электронных отходов.

Для этих химических веществ установлено, что они нарушают работу эндокринной системы человека, оказывая негативное воздействие на развитие нервной системы и интеллектуальное развитие детей<sup>[7, 46, 47]</sup>. Из-за этих негативных воздействий и наличия способности к биоаккумуляции ПБДЭ попали в поле зрения природоохранных органов (например, Регламент ЕС REACH и Стокгольмская конвенция). ПБДЭ лиофильны и имеют некоторое структурное сходство с ПХБ и ПХДД/Ф.

### ГЕКСАБРОМЦИКЛОДОДЕКАН (ГБЦД ИЛИ ГБЦДД)

Коммерческий продукт ГБЦД состоит из трех диастереомеров:  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -ГБЦД. Технический ГБЦД обычно преимущественно состоит из  $\gamma$ -ГБЦД<sup>[48]</sup>.

Гексабромциклододекан (ГБЦД или ГБЦДД) в основном применяется в строительной изоляционной пене из экструдированного и вспененного полистирола, в пенополистироле, а также в корпусах видеомаягнитофонов и в электронике. Конечные продукты включают мягкую мебель, интерьерный текстиль, автомобильный текстиль, автомобильные подушки и изоляционные блоки в грузовиках и в трейлерах, а также в строительных материалах, из которых изготавливают стены домов, подвалы, крыши, автостоянки и другие составные части объектов инфраструктуры. ГБЦД также встречается в упаковочных материалах, в корпусах видеомаягнитофонов и в электротехническом оборудовании<sup>[29]</sup>.



ГБЦД очень токсичен для водных организмов и оказывает негативное воздействие на размножение, на развитие и поведение млекопитающих, включая межпоколенческие эффекты<sup>[6]</sup>. В действительности, ГБЦД обладает склонностью к биоаккумуляции и стойкостью с периодом полураспада в 3 дня в воздухе и 2-25 дней в воде<sup>[49]</sup>.

## **ТЕТРАБРОМБИСФЕНОЛ А (ТББФА)**

Тетрабромбисфенол А (ТББФА) является самым массовым антипиреном, используемым во всем мире<sup>[11]</sup>, на его долю приходится около 60% всего мирового рынка БАП<sup>[50]</sup>. Хотя при этом большая часть ТББФА химически связана с полимерной матрицей печатных плат, он также применяется в качестве антипирена при производстве АБС-пластика и ударопрочного полистирола в качестве альтернативы ПБДЭ и ГБЦД и, в частности, для замены запрещенных смесей октаБДЭ в АБС-пластике<sup>[51, 52]</sup>. АБС-пластик используется в автомобильных деталях, трубах и фитингах, холодильниках, оргтехнике и телефонах.

Основные области применения, в которых может использоваться пластик, содержащий ТББФА, включают задние панели телевизоров и корпуса для оргтехники. ТББФА является цитотоксическим и иммунотоксичным веществом, агонистом гормонов щитовидной железы, способным нарушать передачу эстрогенных сигналов<sup>[12, 48]</sup>. ТББФА классифицируется как очень токсичное для водных организмов вещество и он включен в список химических веществ, требующих приоритетных действий Комиссии OSPAR, из-за своей стойкости и токсичности<sup>[53]</sup>.

## **НОВЫЕ БРОМИРОВАННЫЕ АНТИПИРЕНЫ (НБАП)**

Различные альтернативные галогенированные антипирены, известные как новые бромированные антипирены (нБАП), уже использовались или же недавно были введены промышленностью для замены ПБДЭ. В целом, для нБАП, которых продают в качестве антипиренов, не имеется адекватной информации о токсичности. Но даже имеющаяся информация вызывает опасения. Некоторые из нБАП являются стойкими химическими веществами, склонными к биоаккумуляции и способными перемещаться на большие расстояния. Кроме того, могут попадать в окружающую среду с помощью тех же механизмов, что и ПБДЭ, и их дальнейшая судьба в воздухе, почве и отложениях подобна судьбе других стойких загрязнителей. Несмотря на эти токсикологические проблемы и отсутствие исчерпывающей информации, нБАП все же продолжают использоваться в качестве заменителей ПБДЭ.

Краткий обзор, представленный ниже, относится к наиболее широко используемым нБАП<sup>[54]</sup>.

## **ДЕКАБРОМДИФЕНИЛЭТАН (ДБФЭ)**

ДБФЭ является коммерчески важной альтернативой декаБДЭ, его используют в пластиковых корпусах для телевизоров и в ряде других пластмасс, смол, каучуков, клеев и текстильных изделий. Существенно важным свойством этого вещества является его способность к переносу на большие расстояния<sup>[55]</sup>.

## **1,2-БИС (2,4,6-Трибромфенокси) этан (БТБФЭ)**

БТБФЭ - это один из новых антипиренов для замены октаБДЭ. Его используют в пластиковых корпусах компьютеров, телевизоров и мобильных телефонов. Это соединение склонно к биоаккумуляции и к биоконцентрации в рыбе<sup>[56, 57]</sup>.

## **ОКТАБРОМ-1,3,3,-ТРИМЕТИЛФЕНИЛ-1-ИНДАН (ОБТМФИ)**

ОБТМФИ - это еще одна замена ПБДЭ, которая используется в различных пластмассах для электронных продуктов. ОБТМФИ был обнаружен в птичьих яйцах<sup>[58]</sup>. Общедоступной информации о его токсичности очень мало.

## **2,3,4,5,6-ПЕНТАБРОМЭТИЛБЕНЗОЛ (ПБЭБ)**

ПБЭБ - это антипирен, который использовался в основном в 1970-х и 1980-х годах под названием FR-105. Он использовался в полимерах и токсикологически плохо охарактеризован, но это соединение является бромированным аналогом этилбензола, который обладает канцерогенными свойствами<sup>[29]</sup>.

## **ПЕНТАБРОМТОЛУОЛ (ПБТ)**

ПБТ используется в корпусах из полистирола для электроники, в АБС-пластиках и других полимерах и продается под названием FR-105 или Flamtex. Исследования подтвердили гистологические изменения у лабораторных крыс; но помимо этого, об этом веществе официально известно чрезвычайно мало. Существенно важным свойством этого вещества является его способность к переносу на большие расстояния<sup>[55]</sup>.

## **ГЕКСАБРОМБЕНЗОЛ (ГББ)**

ГББ - это антипирен, применяемый в электронике. ГББ обычно используется в производстве бумаги, дерева, текстиля, пластмасс и электронных товаров<sup>[59, 60]</sup>. Важным свойством этого вещества является его способность к переносу на большие расстояния<sup>[55]</sup>.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 2: БАП В АНАЛИЗИРУЕМЫХ ПРОДУКТАХ (МГ/КГ)

**Категории образцов:** Игрушка = детская игрушка, Волосы = аксессуары для волос, Кухня = кухонная утварь, Офис = канцелярские принадлежности, Прочее = другие предметы

<ПКО = ниже предела количественного определения

Ид. код образца	Категория образца	Описание образца	ПентаБДЭ	ОктаБДЭ	ДекаБДЭ	Сумма ГБЦД	Сумма нБАП	ТББФА
CHN-BFR-70	Игрушка	Игрушечный аккордеон	<ПКО	43,2	96,4	0,48	254	109
CHN-BFR-142	Игрушка	Игрушечный пистолет	<ПКО	94,0	136	1,29	281	69,2
CHN-BFR-129	Волосы	Обод для волос	<ПКО	67,0	113	0,51	112	87,9
CHN-BFR-10	Кухня	Насадка-удлинитель	<ПКО	6,50	90,8	<ПКО	77,3	1,90
CHN-BFR-91	Прочее	Держатель для мобильного телефона	<ПКО	7,38	60,5	<ПКО	80,9	33,0
CHN-BFR-141b	Офис	Ручка	<ПКО	57,4	134	0,26	92,9	47,9
CHN-BFR-140	Волосы	Заколка	<ПКО	99,6	69,7	1,26	728	290
CHN-BFR-12	Кухня	Половник	<ПКО	5,46	57,7	<ПКО	7,15	1,07
CHN-BFR-132	Прочее	Держатель для мобильного телефона	<ПКО	74,2	107	4,66	468	62,1

Ид. код образца	Категория образца	Описание образца	ПентаБДЭ	ОктаБДЭ	ДекаБДЭ	Сумма ГЦД	Сумма НБАП	ТББФА
CHN-BFR-01	Волосы	Расческа	<ПКО	16,8	183	0,20	23,4	101
CHN-BFR-82	Волосы	Обод для волос	<ПКО	48,4	77,0	0,65	87,4	76,7
CHN-BFR-81	Волосы	Заколка	<ПКО	22,4	270	0,53	68,8	33,1
CHN-BFR-98	Прочее	Насос	<ПКО	14,0	231	0,44	13,6	4,42
CHN-BFR-108	Игрушка	Развивающая память играв	<ПКО	18,9	85,9	<ПКО	108	45,6
CHN-BFR-76	Прочее	Замок	<ПКО	13,3	75,8	<ПКО	62,8	71,6
CHN-BFR-37	Волосы	Заколка	<ПКО	1,42	10,0	<ПКО	14,7	4,53
CHN-BFR-54	Офис	Ручка	<ПКО	50,0	316	<ПКО	112	121
CHN-BFR-45	Игрушка	Игрушечная машинка	<ПКО	5,00	22,9	<ПКО	57,6	53,8
CHN-BFR-42	Прочее	Резиновая подошва	<ПКО	0,02	ПКО	<ПКО	5,37	<ПКО
CHN-BFR-107	Игрушка	Игрушечная машинка	<ПКО	19,2	57,2	<ПКО	95,13	92,9
RUS-BFR-103	Игрушка	Игрушечная машинка	<ПКО	14,8	107	<ПКО	57,4	54,1
RUS-BFR-104	Игрушка	Игрушечный пистолет	<ПКО	20,4	232	0,68	51,6	30,9
RUS-BFR-107	Игрушка	Игрушечный пистолет	<ПКО	125	180	1,16	166	116
RUS-BFR-121	Игрушка	Игрушечная машинка	<ПКО	30,7	249	0,46	45,1	75,1
RUS-BFR-122	Игрушка	Игрушечная машинка	<ПКО	31,9	120	<ПКО	94,4	49,5
RUS-BFR-131	Игрушка	Игрушечная машинка	<ПКО	10,6	38,9	<ПКО	54,2	34,1
RUS-BFR-133	Игрушка	Игрушечная машинка	<ПКО	15,8	77,4	<ПКО	50,0	65,3
RUS-BFR-134	Игрушка	Игрушечная машинка	<ПКО	0,84	1,91	<ПКО	5,85	<ПКО

Ид. код образца	Категория образца	Описание образца	Сумма					
			ПентаБДЭ	ОктаБДЭ	ДекаБДЭ	Сумма ГЦД	ТББФА	
RUS-BFR-142	Игрушка	Игрушечный пистолет	<ПКО	119	64,2	3,97	361	249
RUS-BFR-144	Игрушка	Игрушечный пистолет	<ПКО	52,4	261	<ПКО	89,8	79,0
RUS-BFR-145	Игрушка	Игрушечный пистолет	<ПКО	3,55	22,1	<ПКО	38,2	51,5
RUS-BFR-150	Игрушка	Игрушечный пистолет	<ПКО	43,2	146	0,52	70,4	52,0
RUS-BFR-25	Волосы	Расческа	<ПКО	54,8	443	0,59	160	273
RUS-BFR-35	Волосы	Заколка	<ПКО	53,4	159	0,27	106	53,3
RUS-BFR-42	Прочее	Коробка для батареек	<ПКО	47,6	278	<ПКО	89,1	297
RUS-BFR-43	Игрушка	Игрушечный набор - конструктор	<ПКО	76,6	231	1,55	655	257
RUS-BFR-46	Кухня	Рукоятка	<ПКО	13,2	93,1	<ПКО	77,6	29,6
RUS-BFR-50	Игрушка	Кубик Рубика	<ПКО	46,8	117	<ПКО	98,6	145
RUS-BFR-67	Игрушка	Кубик Рубика	<ПКО	6,56	34,5	<ПКО	57,3	17,9
RUS-BFR-73	Игрушка	Кубик Рубика	<ПКО	8,81	46,9	<ПКО	55,2	41,7
RUS-BFR-74	Игрушка	Кубик Рубика	<ПКО	98,7	253	<ПКО	246	368
RUS-BFR-79	Кухня	Рукоятка	<ПКО	69,2	255	0,72	217	104
RUS-BFR-80	Кухня	Рукоятка	<ПКО	58,8	124	0,78	163	115
RUS-BFR-84	Игрушка	Игрушечный пистолет	<ПКО	19,7	76,3	0,67	50,8	32,4
RUS-BFR-85	Игрушка	Игрушечный пистолет	<ПКО	103	212	0,76	237	107
RUS-BFR-86	Игрушка	Игрушечный пистолет	<ПКО	97,9	169	0,94	145	194

Ид. код образца	Категория образца	Описание образца	ПентаБДЭ	ОктаБДЭ	ДекаБДЭ	Сумма ГЦД	Сумма нБАП	ТББФА
RUS-BFR-143	Игрушка	Игрушка - Бэтмен	<ПКО	5,91	80,5	<ПКО	31,9	16,7
RUS-BFR-53	Игрушка	Кубик Рубика	<ПКО	13,3	158	<ПКО	90,3	24,4
RUS-BFR-96	Игрушка	Игрушка - робот	<ПКО	11,2	190	<ПКО	8,26	0,79
RUS-BFR-68	Игрушка	Кубик Рубика	<ПКО	25,3	304	<ПКО	32,3	7,12
IDN-BFR-62	Офис	Щетка	<ПКО	7,54	136	<ПКО	11,0	1,75
IDN-BFR-77	Прочее	Держатель для бутылок	<ПКО	0,63	1,97	<ПКО	10,5	0,54
IDN-BFR-18	Игрушка	Счеты	<ПКО	47,0	44,5	1,51	83,1	38,1
IDN-BFR-142	Игрушка	Игрушечная машинка	<ПКО	6,21	48,1	<ПКО	17,0	55,8
IDN-BFR-87	Кухня	Кухонные щипцы	<ПКО	5,72	65,6	<ПКО	7,72	<ПКО
IDN-BFR-148	Игрушка	Игрушка - робот	<ПКО	8,39	188	0,35	14,9	14,9
IDN-BFR-76	Прочее	Палка для селфи	<ПКО	32,9	85,5	0,62	87,1	51,8
IDN-BFR-98	Игрушка	Игрушечный пистолет	<ПКО	71,1	71,4	0,61	116	78,7
IDN-BFR-83	Игрушка	Игрушечная машинка	<ПКО	28,6	101	<ПКО	104	126
IDN-BFR-85	Прочее	Чашка для красок	<ПКО	9,35	0,09	<ПКО	22,7	<ПКО
IDN-BFR-32	Игрушка	Игрушечный телескоп	<ПКО	0,01	0,09	<ПКО	1,81	1,38
IDN-BFR-59	Офис	Клейкая лента	<ПКО	15,9	58,3	<ПКО	18,8	22,2
IDN-BFR-95	Волосы	Заколка	0,20	262	143	<ПКО	24,6	29,6
IDN-BFR-20	Волосы	Заколка	<ПКО	7,71	93,7	0,22	22,7	9,9

Ид. код образца	Категория образца	Описание образца	Сумма				ТББФА	
			ПентаБДЭ	ОктаБДЭ	ДекаБДЭ	Сумма ГЦД		
IDN-BFR-104	Офис	Увеличительное стекло	<ПКО	8,04	38,5	<ПКО	43,6	27,9
IDN-BFR-45	Игрушка	Игрушечный пистолет	<ПКО	19,2	256	0,21	22,8	7,25
IDN-BFR-96	Игрушка	Кубик Рубика	<ПКО	12,5	159	<ПКО	37,6	0,90
IDN-BFR-115	Игрушка	Игрушка - брызгалка	<ПКО	5,40	117	<ПКО	18,3	5,99
IDN-BFR-69	Игрушка	Игрушечная машинка	<ПКО	15,8	81,6	0,96	35,0	13,3
IDN-BFR-41	Прочее	Четки	1,74	97,7	149	<ПКО	408	152
IDN-BFR-106	Прочее	фоторамка	<ПКО	85,7	187	0,24	99,3	52,3
IDN-BFR-61	Прочее	Штатив-тренога для телефона	1,23	44,5	71,8	<ПКО	70,3	268
IDN-BFR-88	Офис	Резак	<ПКО	42,1	58,9	1,17	85,3	55,4

# ПРИЛОЖЕНИЕ 3: ДИАПАЗОНЫ КОНЦЕНТРАЦИЙ БАП ДЛЯ КАТЕГОРИЙ ОБРАЗЦОВ (МГ/КГ)

	Детские игрушки	Аксессуары для волос	Кухонная утварь	Канц. при- надлежно- сти	Прочие продукты
Количество образцов	39	10	6	6	12
ОктаБДЭ	0,008 - 125	1,42 - 262	5,46 - 69	7,54 - 57,4	0,02 - 97,7
ДекаБДЭ	0,09 - 304	10 - 442	58 - 255	38,5 - 316	ПКО - 278
ΣПБДЭ	0,10 - 351	11 - 497	63 - 324	46,5 - 366	0,02 - 326
ГБЦД	ПКО - 3,97	ПКО - 1,26	ПКО - 0,78	ПКО - 1,17	ПКО - 4,66
ΣнБАП	1,81 - 655	14,7 - 727	7,15 - 217,4	11,0 - 112	5,37 - 468
ТББФА	0,32 - 368	4,53 - 290	0,38 - 115	1,75 - 120,5	0,30 - 297
ΣБАП	3,07 - 1220	30,6 - 1188	134 - 460	115 - 599	5,69 - 808
Общий Вг	307 - 19900	418 - 18567	342 - 3890	374 - 6114	213 - 16967



# ЛИТЕРАТУРА

1. Kim, Y.R., et al., *Health consequences of exposure to brominated flame retardants: A systematic review*. Chemosphere, 2014. **106**: p. 1-19.
2. Callahan, P.R.S., *Playing with fire A deceptive campaign by industry brought toxic flame retardants into our homes and into our bodies. And the chemicals don't even work as promised*. 2002.
3. D'silva, K., et al., *Brominated organic micropollutants—igniting the flame retardant issue*. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2004. **34**(2): p. 141-207.
4. Guerra, P., et al., *Introduction to brominated flame retardants: Commercially products, applications, and physicochemical properties*, in *Brominated flame retardants*. 2010, Springer. p. 1-17.
5. UNEP POPRC (2007); *Risk profile on commercial octaBDE (UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.6)*.
6. UNEP POPRC (2010); *Risk profile on Hexabromocyclododecane (UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2)*.
7. POP RC (2006). *Risk profile on commercial pentabromodiphenyl ether, UNEP/POPS/POPRC.2/17/ Add.1, Stockholm Convention POPs Review Committee*.
8. Raurert, C., et al., *Mass transfer of PBDEs from plastic TV casing to indoor dust via three migration pathways--A test chamber investigation*. Sci Total Environ, 2015. **536**: p. 568-574.
9. Liu, X., et al., *Estimation of human exposure to halogenated flame retardants through dermal adsorption by skin wipe*. Chemosphere, 2017. **168**: p. 272-278.
10. Petrlík, J., Brabcová, K., *Toxic Soup Flooding Through Consumer Products: Brominated dioxins recycled together with flame retardants into toys and other consumer products -now a widespread problem*, in *14th meeting of the Conference of the Parties to the Basel Convention Geneva, 29 April - 10 May 2019*. 2019, Arnika, IPEN: Geneva. p. 4.
11. Kodavanti, P.R.S., Loganathan, B.G., , *Polychlorinated biphenyls, polybrominated biphenyls, and brominated flame retardants.*, in *Biomarkers in Toxicology*, R.C. Gupta, Editor. 2019, Academic Press. p. 433-450.
12. Kitamura, S., et al., *Thyroid hormonal activity of the flame retardants tetrabromobisphenol A and tetrachlorobisphenol A*. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2002. **293**(1): p. 554-559.
13. UNEP POPRC (2007b); *Risk profile on commercial pentaBDE (UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.1)*.
14. Sepúlveda, A., et al., *A review of the environmental fate and effects of hazardous substances released from electrical and electronic equipments during recycling: Examples from China and India*. Environmental Impact Assessment Review, 2010. **30**(1): p. 28-41.
15. Segev, O., et al., *Environmental impact of flame retardants (persistence and biodegradability)*. Int J Environ Res Public Health, 2009. **6**(2): p. 478-91.
16. Gewurtz, S.B., et al., *Wastewater Treatment Lagoons: Local Pathways of Perfluoroalkyl Acids and Brominated Flame Retardants to the Arctic Environment*. Environmental Science & Technology, 2020. **54**(10): p. 6053-6062.
17. de Wit, C.A., et al., *Brominated flame retardants in the Arctic environment — trends and new candidates*. Science of The Total Environment, 2010. **408**(15): p. 2885-2918.
18. Lee, H.-J., et al., *Chapter Six - Persistence and bioaccumulation potential of alternative brominated flame retardants*, in *Comprehensive Analytical Chemistry*, J.-E. Oh, Editor. 2020, Elsevier. p. 191-214.
19. Turner, A., et al., *Bromine in plastic consumer products - Evidence for the widespread recycling of electronic waste*. Sci Total Environ, 2017. **601-602**: p. 374-379.
20. Li, Y., et al., *Occurrence, levels and profiles of brominated flame retardants in daily-use consumer products on the Chinese market*. Environmental Science: Processes & Impacts, 2019. **21**(3): p. 446-455.

21. Chen, S.-J., et al., *Brominated flame retardants in children's toys: concentration, composition, and children's exposure and risk assessment*. Environmental science & technology, 2009. **43**(11): p. 4200-4206.
22. Ionas, A.C., et al., *Downsides of the recycling process: harmful organic chemicals in children's toys*. Environ Int, 2014. **65**: p. 54-62.
23. Guzzonato, A., et al., *Evidence of bad recycling practices: BFRs in children's toys and food-contact articles*. Environ Sci Process Impacts, 2017. **19**(7): p. 956-963.
24. Fatunsin, O.T., et al., *Children's exposure to hazardous brominated flame retardants in plastic toys*. Science of The Total Environment, 2020. **720**: p. 137623.
25. Samsonok, J., et al., *Occurrence of brominated flame retardants in black thermo cups and selected kitchen utensils purchased on the European market*. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess, 2013. **30**(11): p. 1976-86.
26. Puype, F., et al., *Evidence of waste electrical and electronic equipment (WEEE) relevant substances in polymeric food-contact articles sold on the European market*. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess, 2015. **32**(3): p. 410-26.
27. DiGangi, J., et al., *A survey of PBDEs in recycled carpet padding*. Dioxin, PCBs, and Wastes Working Group, IPEN, available at <http://ipen.org/sites/default/files/documents/A-survey-of-PBDEs-in-recycled-carpet-padding.pdf>, 2011.
28. Abdallah, M.A.-E., et al., *Dermal contact with furniture fabrics is a significant pathway of human exposure to brominated flame retardants*. Environment International, 2018. **118**: p. 26-33.
29. Strakova, J., et al., *Toxic LOOPHOLE: Recycling Hazardous Waste into New Products*. 2018, Arnika IPEN, HEAL, Sweden.
30. DiGangi, J., et al., *POPs recycling contaminates children's toys with toxic flame retardants*. IPEN, 2017.
31. Pivnenko, K., et al., *Recycling of plastic waste: Screening for brominated flame retardants (BFRs)*. Waste Management, 2017. **69**: p. 101-109.
32. Commercial octabromodiphenyl ether (OctaBDE) is listed in the Stockholm Convention as hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether. Decabromodiphenyl ether (DecaBDE) is listed as the commercial mixture of DecaBDE. HBCD is Hexabromocyclododecane. Listing of POPs in the Stockholm Convention. Available at: <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/ListingofPOPs/tabid/2509/Default.aspx>.
33. Oulhote, Y., et al., *Exposure to polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and hypothyroidism in Canadian women*. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 2016. **101**(2): p. 590-598.
34. Bannan, D., et al., *Brominated Flame Retardants in Children's Room: Concentration, Composition, and Health Risk Assessment*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021. **18**(12): p. 6421.
35. Gallen, C., et al., *Towards development of a rapid and effective non-destructive testing strategy to identify brominated flame retardants in the plastics of consumer products*. Sci Total Environ, 2014. **491-492**: p. 255-65.
36. Petreas, M., et al., *Rapid methodology to screen flame retardants in upholstered furniture for compliance with new California labeling law (SB 1019)*. Chemosphere, 2016. **152**: p. 353-9.
37. Schlummer, M., et al., *Characterisation of polymer fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE) and implications for waste management*. Chemosphere, 2007. **67**(9): p. 1866-76.
38. Walter, K.M., et al., *Association of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) with hyperthyroidism in domestic felines, sentinels for thyroid hormone disruption*. BMC veterinary research, 2017. **13**(1): p. 1-12.
39. Manchester-Neesvig, J.B., et al., *Comparison of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in Lake Michigan salmonids*. Environmental science & technology, 2001. **35**(6): p. 1072-1077.
40. *Basel Convention (2017). General technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants. Technical Guidelines*. Geneva.

41. *Reducing Releases of PBDEs and UPOPs Originating from Unsound Waste Management and Recycling Practices and the Manufacturing of Plastics in Indonesia*. Project Summary.; Available from: <https://www.thegef.org/project/reducing-releases-pbdes-and-upops-originating-unsound-waste-management-and-recycling>.
42. *Report on preliminary inventories of short-chain chlorinated paraffins (SCCPs) and polybrominated diphenyl ethers in Indonesia*. 2021, UNEP.
43. Irawan, A., *Kajian Penyusunan Regulasi Untuk Pengendalian Dan Pengawasan Bahan Penghambat Nyala PBDEs*. 2019, UNDP - KMinistry of Industry.
44. Sudaryanto, A., et al., *Persistent toxic substances in the environment of Indonesia*. *Developments in Environmental Science*, 2007. **7**: p. 587-627.
45. UNEP (2017). *Guidance on BAT and BEP for the recycling and disposal of wastes containing PBDEs*.
46. POP RC (2014). *Risk profile on decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE)*, UNEP/POPS/POPRC.10/10/Add.2, Stockholm Convention POPs Review Committee: 58.
47. POP RC (2007). *Risk profile on commercial octabromodiphenyl ether*, UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.6, Stockholm Convention POPs Review Committee.
48. Birnbaum, L.S., et al., *Brominated flame retardants: cause for concern?* *Environmental health perspectives*, 2004. **112**(1): p. 9-17.
49. Lyman, W.J., et al., *Handbook of chemical property estimation methods*. 1990.
50. Law, R.J., et al., *Levels and trends of brominated flame retardants in the European environment*. *Chemosphere*, 2006. **64**(2): p. 187-208.
51. Abdallah, M.A.-E., *Environmental occurrence, analysis and human exposure to the flame retardant tetrabromobisphenol-A (TBBP-A)-A review*. *Environment international*, 2016. **94**: p. 235-250.
52. *POP RC (2008). Risk management evaluation for commercial octabromodiphenyl ether*, UNEP/POPS/POPRC.4/15/Add.1, Stockholm Convention POPs Review Committee.
53. *OSPAR Commission (2011). Hazardous Substances Series Background Document on Tetrabromobisphenol-A*, OSPAR Commission: 50.
54. McGrath, T.J., et al., *Detection of novel brominated flame retardants (NBFRs) in the urban soils of Melbourne, Australia*. *Emerging Contaminants*, 2017. **3**(1): p. 23-31.
55. de Wit, C.A., et al., *Emerging brominated flame retardants in the environment*, in *Brominated flame retardants*. 2010, Springer. p. 241-286.
56. Tomy, G.T., et al., *Dietary exposure of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to 1, 2-bis (2, 4, 6-tribromo-phenoxy) ethane: bioaccumulation parameters, biochemical effects, and metabolism*. *Environmental science & technology*, 2007. **41**(14): p. 4913-4918.
57. Wu, J.-P., et al., *Several current-use, non-PBDE brominated flame retardants are highly bioaccumulative: evidence from field determined bioaccumulation factors*. *Environment international*, 2011. **37**(1): p. 210-215.
58. Marvin, C., et al., *Emerging halogenated flame retardants in peregrine falcon (*Falco peregrinus*) eggs from Canada and Spain*. *Organohalogen Compounds*, 2010. **72**: p. 718-722.
59. Watanabe, I., et al., *Environmental release and behavior of brominated flame retardants*. *Environment International*, 2003. **29**(6): p. 665-682.
60. Yamaguchi, Y., et al., *Hexabromobenzene and its debrominated compounds in human adipose tissues of Japan*. *Chemosphere*, 1988. **17**(4): p. 703-707.



Во имя будущего без токсичных веществ

[www.ipen.org](http://www.ipen.org)

[ipen@ipen.org](mailto:ipen@ipen.org)

[@ToxicsFree](https://www.instagram.com/ToxicsFree)