

УДК616-056.25-001.37:547.223

ОЦЕНКА АЛИМЕНТАРНЫХ РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ОТДЕЛЬНЫМИ ПОЛИБРОМИРОВАННЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Федоренко Е. В.

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены», Минск,
Республика Беларусь*

Реферат. Полибромдифениловые эфиры (ПБДЭ), относящиеся к стойким органическим загрязнителям, широко используются в качестве антипиренов при производстве различных видов продукции. Данные липофильные, способные к биоаккумуляции соединения воздействуют на эндокринную, репродуктивную и нервную системы. Приоритетными при алиментарном пути поступления являются БДЭ-47, БДЭ-99 и БДЭ-209, ведущий их источник – рыба и рыбная продукция. Национальными гигиеническими нормативами наличие указанных соединений выше предела количественного определения аналитического метода не допускается. Исследования показывают высокую вероятность контаминации пищевой продукции ПБДЭ. Проведена оценка прогнозируемой алиментарной экспозиции БДЭ-47, БДЭ-99 и БДЭ-209 с учетом национальных данных потребления пищевых продуктов среди взрослых. Оценка рисков здоровью, ассоциированных с прогнозируемым поступлением приоритетных полибромированных соединений с рационом, свидетельствует, что наименьшие значения алиментарной экспозиции характерны для БДЭ-99 (0,1–1,6 нг/кг МТ/сутки), наибольшие — для БДЭ-209 (от 1,1 до 9,7 нг/кг МТ/сутки). Уровни риска здоровью, рассчитанные на основании оценки диапазона экспозиции, могут рассматриваться как приемлемые.

Ключевые слова: полибромдифениловые эфиры, пищевые продукты, прогнозируемая алиментарная экспозиция, риски здоровью, диапазон экспозиции.

Введение. ПБДЭ являются одной из групп стойких органических загрязнителей. Эти вещества, относящиеся к антипиренам (антивоспламенителям), широко применяются при производстве мебели, пластика, электрооборудования в концентрациях от 5 до 30 %. ПБДЭ относятся к классу бромированных углеводородов с базовой структурой, состоящей из двух бензольных колец, соединенных атомом кислорода. Идентифицировано более 200 соединений – конгенеров ПБДЭ с различным количеством и положением атомов брома в двух ароматических кольцах. Указанные вещества смешиваются с материалами и не связаны химически с основной матрицей (текстилем или полимером), поэтому на разных этапах жизненного цикла продукции (производство, эксплуатация или утилизация) могут попадать в среду обитания; являются чрезвычайно стойкими липофильными соединениями, мигрируют по пищевым цепям и подвергаются биоаккумуляции [1]. Для данных веществ идентифицирован ряд токсичных свойств – основными

мишенями ПБДЭ рассматривают печень, эндокринную, репродуктивную и нервную системы. Имеются данные, свидетельствующие о значительном спектре негативных последствий экспозиции ПБДЭ, включая диабет, ожирение, различные локализации рака, воздействие на иммунную и сердечно-сосудистую системы. Исследования не установили мутагенные эффекты, однако были выявлены вторичные повреждения ДНК за счет индукции реактивных форм кислорода, а также потенцирования действия иных генотоксичных соединений. По результатам биомониторинга установлено, что указанные соединения в основном депонируются в жировой ткани, обнаруживаются в печени, плазме и цельной крови, плаценте, особую озабоченность вызывает их наличие в женском грудном молоке. При этом отмечено, что имеющиеся токсикологические данные весьма разнородны, исследования зачастую проведены в отношении не чистых веществ, а коммерческих смесей, которые содержат ПБДЭ в различных соотношениях и могут быть загрязнены

побочными продуктами, например полихлорированными дибензодιοксидами и дибензофуранами, обладающими схожими токсичными свойствами. Кроме того, отдельные конгенеры имеют различную токсикодинамику, биодоступность, степень биоаккумуляции в жировой ткани, а также период полувыведения, значительно превышающий таковой у лабораторных животных и составляющий от 926 до 4530 дней, что необходимо учитывать при проведении оценки рисков [1].

Указанные соединения могут поступать в организм человека ингаляционно и алиментарно, при этом водный путь не характерен, а пищевой является преобладающим [2].

Данные исследований, проведенных в иных регионах, показали, что с учетом токсичности, распространенности в различных группах пищевой продукции приоритетными при алиментарном пути поступления являются 2,2',4,4'-тетрабромдифениловый эфир (БДЭ-47), 2,2',4,4',5-пентабромдифениловый эфир (БДЭ-99) и 2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-декабромдифениловый эфир (БДЭ-209). С учетом биогенной циркуляции антропогенных контаминантов максимальные уровни загрязнения были выявлены в рыбе и продуктах ее переработки, что определяет указанную группу продукции в качестве ведущего источника поступления ПБДЭ в организм человека [1].

Стокгольмской конвенцией о стойких органических загрязнителях некоторые ПБДЭ отнесены к соединениям, в отношении которых приняты запреты производства, использования, а также импорта и экспорта. Данные, полученные в различных регионах, свидетельствуют о значительной частоте контаминации отдельных видов пищевой продукции, в первую очередь животного происхождения, при этом значения

существенно различаются и зависят от многих факторов [1]. Это обуславливает необходимость формирования предпосылок для снижения рисков здоровью, ассоциированных с ПБДЭ в отдельных факторах среды обитания, в том числе пищевых продуктах, с учетом особенностей национальной системы нормирования и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Для этих целей был обоснован гигиенический норматив максимально допустимых уровней отдельных ПБДЭ в питьевой воде [2], а также в рыбе и рыбной продукции, изложенный в формате «не допускается, ниже предела количественного определения (ПКО)», установлены условия контроля – в случаях обоснованного предположения о возможном наличии обсуждаемых соединений в воде, рыбе и рыбной продукции, при ухудшении экологической ситуации, связанной с инцидентами природного и техногенного характера, приводящими к попаданию ПБДЭ в среду обитания, разработана методика их определения методом газожидкостной хроматографии [3].

Цель работы – провести оценку рисков здоровью населения, ассоциированных с контаминацией пищевой продукции приоритетными ПБДЭ с учетом актуальной структуры потребления.

Материалы и методы. Для обоснования моделей потребления нами использовались методические подходы, описанные в [4]. Структура потребления основных групп пищевых продуктов в республике в 2 периода (2011–2013 и 2018–2023 гг.) была установлена на основании общедоступных данных обследований в домашних хозяйствах согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь (таблица 1).

Таблица 1 – Потребление основных видов пищевых продуктов в Республике Беларусь на основе данных обследований в домашних хозяйствах в 2013 и 2023 гг.

Группа продукции	Потребление			
	2013 г.		2023 г.	
	кг/чел./год	г/чел./сутки	кг/чел./год	г/чел./сутки
Мясо и мясопродукты	91	249	84	230
Молоко и молокопродукты	260	712	289	792
Яйца и яйцепродукты*	304	0,83	236	0,65
Рыба и рыбопродукты	14,9	41	14	38
Сахар	42	115	27	74
Растительное масло	17,7	48	11	30
Картофель	179	490	56	153
Овощи, бахчевые	146	400	87	238
Фрукты, ягоды	69	189	71	195

Примечание: * В штуках; при расчетах алиментарной экспозиции вес 1 яйца принят за 45 г.

Также использовались данные изучения фактического питания взрослого населения на основании [5], полученные с применением [6] (91 респондент в 2011–2013 гг. и 583 респондента в 2018 г., проживающие в г. Минске, старше 18 лет). Статистическая обработка, проведенная с использованием критериев W-теста Шапиро–Уилка (Shapiro–Wilk W-test) и Колмогорова–Смирнова с поправкой Лиллиефорса

(Kolmogorov–Smirnov & Lilliefors test for normality) пакета STATISTICA 13.0, показала распределение данных в выборке, отличное от нормального при уровне значимости $p < 0,05$.

Указанное обусловило использование для характеристики уровней потребления пищевой продукции медианы (Me), интерквартильного размаха (25%; 75%) и 95-го перцентиля (95P) (таблица 2).

Таблица 2 – Фактическое потребление основных видов пищевых продуктов в Республике Беларусь среди взрослых (г/чел./сутки)

Группа продукции	2011–2013 гг.		2018 г.	
	Me [25P; 75P]	95P	Me [25P; 75P]	95P
Мясопродукты	142,9 [109,1; 230,4]	403,5	153,9 [79,7; 294,4]	692,1
Молочные продукты	280,0 [127,0; 560,4]	1137,0	181,5 [90,9; 353,4]	760,0
Яйца	10,5 [5,3; 16,8]	32,7	15,8 [5,3; 32,1]	134,4
Животные и растительные жиры	26,3 [13,0; 39,9]	68,8	17,5 [6,8; 31,7]	81,7
Рыбопродукты	14,0 [7,7; 23,4]	58,2	14,0 [5,0; 29,1]	102,7
Хлебопродукты	162,7 [96,4; 295,7]	500,9	140,0 [74,7; 266,0]	517,0
Картофель	98,3 [40,9; 166,5]	338,1	230,9 [118,2; 393,0]	935,7
Овощи	430,5 [241,7; 637,1]	1056,8		
Фрукты	124,7 [54,8; 255,0]	835,4	149,5 [62,3; 302,6]	847,4

В качестве значений содержания отдельных конгенов приоритетных ПБДЭ (БДЭ-47, БДЭ-99, БДЭ-209) в различных группах пищевой продукции были использованы данные исследований указанных веществ в европейском регионе

в диапазоне нижней (НГ) и верхней (ВГ) границ концентраций, рассчитанные на основании обнаруженных уровней контаминации (таблица 3) и характера распределения данных, а также незначимых результатов (ниже ПКО) [1].

Таблица 3 – Уровни контаминации отдельными конгенерами ПБДЭ различных групп пищевой продукции (нг/г)

Группа продукции	Конгенер					
	БДЭ-47		БДЭ-99		БДЭ-209	
	НГ	ВГ	НГ	ВГ	НГ	ВГ
Яйца	0,08	0,116	0,271	0,280	0,329	0,386
Молоко и молочные продукты	0,01	0,026	0,009	0,024	0,021	0,111
Мясо и мясные продукты	0,009	0,032	0,008	0,031	0,035	0,092
Животные и растительные жиры	0,06	0,0158	0,063	0,161	0,175	1,318
Рыба и морепродукты	1,299	1,324	0,132	0,17	0,044	0,401
Продукты растительного происхождения	0,001	0,004	0	0,004	0,125	0,153

Указанное допущение принято в связи с отсутствием национальных данных о содержании

отдельных конгенов ПБДЭ в пищевой продукции, что будет рассматриваться одним из

источников неопределенности при проведении оценки рисков.

С учетом вариабельности и различной степени агрегации, диапазона уровней и характера распределения данных о контаминации пищевых

продуктов ПБДЭ в соответствии с [4] были обоснованы модели алиментарной экспозиции, охватывающие максимально возможный диапазон потенциального поступления ПБДЭ с рационом (таблица 4).

Таблица 4 – Модели алиментарной экспозиции приоритетных ПБДЭ

Концентрация	Потребление отдельных видов пищевой продукции		
	Данные домашних хозяйств	Фактическое питание	
		Me	95P
НГ	модель 1	модель 3	модель 5
ВГ	модель 2	модель 4	модель 6
НГ*	модель 7	модель 9	модель 11
ВГ*	модель 8	модель 10	модель 12

Примечание: * Модели 7–12 эквиваленты моделям 1–6, но уровень контаминации для рыбы как для НГ, так и для ВГ заменен на ПКО метода определения отдельных конгенов согласно [3], составляющие 0,25 мкг/кг для БДЭ-47 и БДЭ-99 и 2,5 мкг/кг для БДЭ-209 с учетом неопределенности измерений.

Модели 1–6 охватывают диапазон значений прогнозируемых рисков для здоровья населения, ассоциированных с различными уровнями потребления пищевой продукции и ее контаминации обсуждаемыми соединениями.

Модели 7–12 позволяют дополнительно оценить достаточность чувствительности используемого метода определения ПБДЭ. ПБДЭ характеризуются медленным выведением из организма и, следовательно, их биоаккумулирующие свойства при многократном воздействии необходимо учитывать при оценке рисков.

В связи с указанным на основании бенчмарк-доз (BMDL₁₀), с учетом анализа данных о степени абсорбции отдельных конгенов ПБДЭ в организме, периодах их полувыведения, в качестве критериев при оценке рисков были использованы значения хронической алиментарной нагрузки (body burden), составившие 172, 4,2 и 1700 нг/кг МТ/сутки для БДЭ-47, БДЭ-99 и БДЭ-209 соответственно [1].

Алиментарная экспозиция (общее суточное поступление с рационом, относительное – в расчете на килограмм массы тела в сутки) и полукочественные риски здоровью на основе диапазона экспозиции (ДЭ) рассчитывались в соответствии с [4]. В качестве уровня приемлемости рисков для здоровья, связанных с алиментарным поступлением приоритетных ПБДЭ, в соответствии с европейскими и международными подходами принимали ДЭ, равный или превышающий 2,5 [1].

Результаты и их обсуждение. Рассчитаны значения поступления БДЭ-47, БДЭ-99 и БДЭ-209

в составе рационов с учетом фактического их содержания для различных моделей алиментарной экспозиции, а также вклад отдельных видов пищевых продуктов для модели 4 (как наиболее реалистичной с незначительной агрегацией) с учетом использования ВГ концентрации контаминанта.

Анализ полученных данных (таблица 5) показал, что наименьшие значения алиментарной экспозиции характерны для БДЭ-99 (0,1–1,6 нг/кг МТ/сутки), наибольшие – для БДЭ-209 (от 1,1 до 9,7 нг/кг МТ/сутки).

В целом для БДЭ-47 и БДЭ-99 в сравниваемые периоды (2011–2013 и 2018–2023 гг.) наблюдается тенденция к увеличению алиментарного поступления, а для БДЭ-209 – к снижению, обусловленная изменениями в структуре потребления. ДЭ был наибольшим для БДЭ-209 – $3,0 \times 10^5$ и более, самый низкий показатель был установлен в агрегированных моделях 5 и 6, учитывающих 95P потребления для БДЭ-99 (ДЭ – от 2,7), что вызывает наибольшее беспокойство. Оценка вклада отдельных групп пищевой продукции в 4-й модели экспозиции показала различный характер распределения отдельных конгенов в рационе.

Так, вклад рыбы в оба изученных периода был преобладающим для БДЭ-47 (53–57 %). Растительные продукты вносили 6–9 %, жиры различного происхождения – около 1 %, остальная часть алиментарной нагрузки формировалась за счет продуктов животного происхождения – мяса, молока и продуктов их переработки, а также яиц (рисунок 1).

Иной характер распределения алиментарных источников был установлен для БДЭ-99. На долю продуктов животного происхождения (исключая рыбу) приходилось 58–65 % алиментарного поступления обсуждаемого конгенера, рыба формировала около 10 % экспозиции. Вклад жиров и продуктов растительного происхождения составлял 14–18 % и 10–14 % соответственно

(рисунок 2). Растительные продукты были преобладающим источником БДЭ-209 в рационе, формируя 54–58 % алиментарной экспозиции. Суммарный вклад продуктов животного происхождения составлял 26–31 %.

Третьей по значимости группой являлись жиры, обуславливая около 15 % поступающей с пищей дозы (рисунок 3).

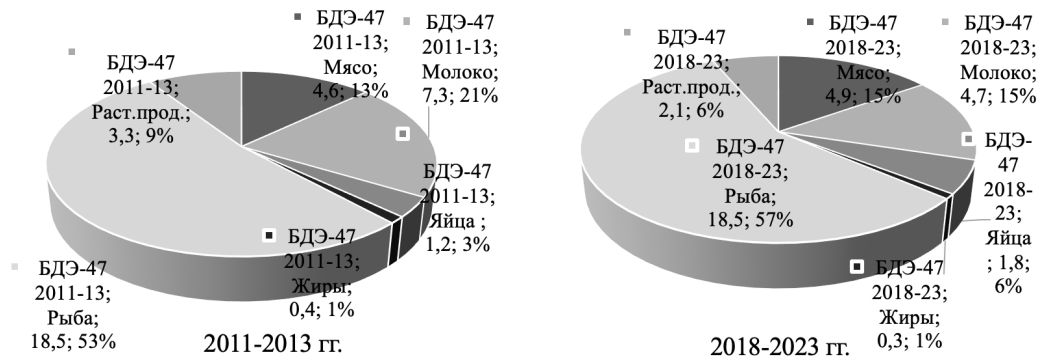


Рисунок 1 – Вклад (нг; %) отдельных пищевых продуктов в алиментарную экспозицию БДЭ-47

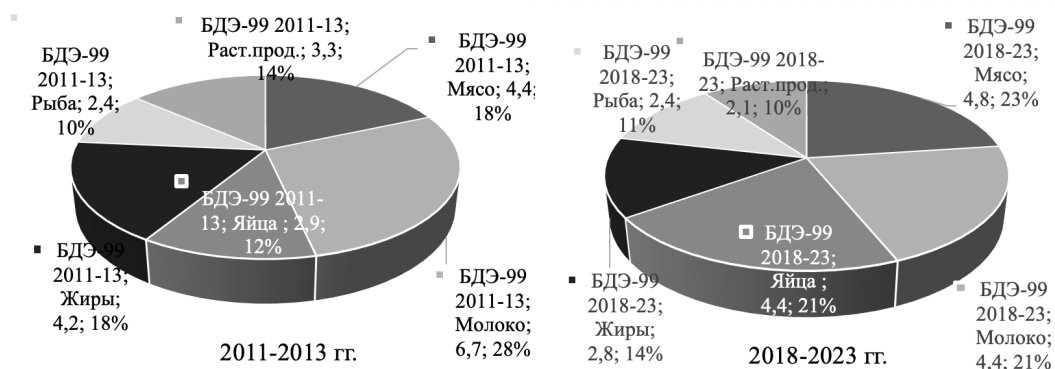


Рисунок 2 – Вклад (нг; %) отдельных пищевых продуктов в алиментарную экспозицию БДЭ-99

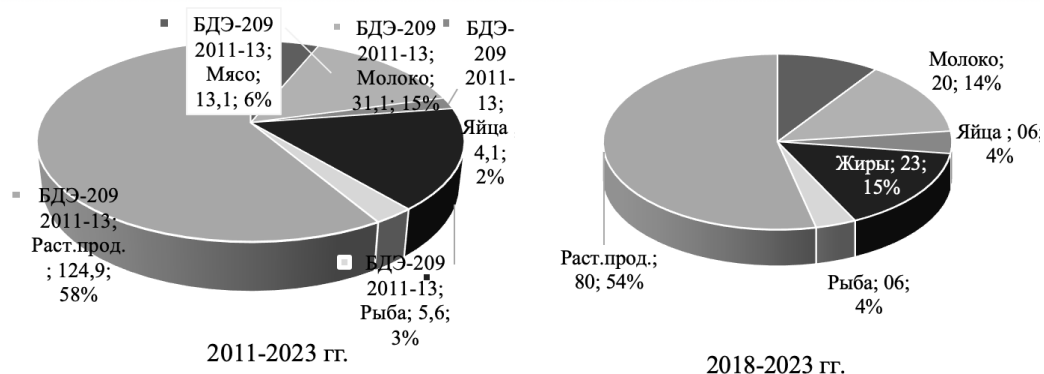


Рисунок 3 – Вклад (нг; %) отдельных пищевых продуктов в алиментарную экспозицию БДЭ-209

Таблица 5 – Алиментарная экспозиция и значения ДЭ для отдельных конгенов ПБДЭ в различные периоды

Алиментарная нагрузка	Период											
	2011–2013 гг.						2018–2023 гг.					
	Модель											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
БДЭ-47												
Всего, нг/сутки	69,5	90,4	25,5	35,3	100,2	135,8	64,6	85,2	24,2	32,4	165,2	204,0
Всего, нг/кг МТ/сутки	0,9	1,2	0,3	0,5	1,3	1,8	0,9	1,1	0,3	0,4	2,2	2,7
ДЭ	186	143	506	366	129	95	200	151	533	399	78	63
БДЭ-99												
Всего, нг/сутки	27,0	54,8	10,0	24,0	34,3	81,3	23,8	48,3	10,1	20,8	67,5	117,1
Всего, нг/кг МТ/сутки	0,4	0,7	0,1	0,3	0,5	1,1	0,3	0,6	0,1	0,3	0,9	1,6
ДЭ	11,7	5,7	31,5	13,1	9,2	3,9	13,2	6,5	31,2	15,1	4,7	2,7
БДЭ-209												
Всего, нг/сутки	195,6	379,5	121,6	213,4	419,6	726,0	123,8	276,4	83,1	148,7	390,7	700,6
Всего, нг/кг МТ/сутки	2,6	5,1	1,6	2,8	5,6	9,7	1,7	3,7	1,1	2,0	5,2	9,3
ДЭ	6,5×10 ⁵	3,4×10 ⁵ ₅	1,0×10 ⁶ ₆	6,0×10 ⁵ ₅	3,0×10 ⁵	1,8×10 ⁵	1,0×10 ⁶ ₆	4,6×10 ⁵	1,5×10 ⁶	8,6×10 ⁵	3,3×10 ⁵	1,8×10 ⁵

Учитывая низкие концентрации отдельных ПБДЭ, регистрируемые, согласно литературным данным, в пищевых продуктах, важной прикладной задачей рассматривается моделирование алиментарного поступления с

учетом имеющейся чувствительности метода определения, что было реализовано путем расчета моделей экспозиции 7–12, основываясь на структуре потребления в 2011–2013 гг. (таблица 6).

Таблица 6 – Алиментарная экспозиция и значения ДЭ для отдельных конгенов ПБДЭ (период 2011–2013 гг.) с учетом ПКО разработанного метода определения

Алиментарная нагрузка	Модель					
	7		7		7	
БДЭ-47						
Всего, нг/сутки	26,7	46,6	10,8	20,3	39,1	73,3
Всего, нг/кг МТ/сутки	0,4	0,6	0,1	0,3	0,5	1,0
ДЭ	484	277	1192	637	330	176
БДЭ-99						
Всего/сутки	31,8	58,1	11,7	25,1	41,2	86,0
Всего, нг/кг МТ/сутки	0,4	0,8	0,2	0,3	0,5	1,1
ДЭ	9,9	5,4	27,0	12,6	7,6	3,7
БДЭ-209						
Всего нг/сутки	3,9	6,2	2,1	3,2	7,5	11,3
Всего, нг/кг МТ/сутки	430 930	274 074	817 499	525 076	226 652	150 325
ДЭ	$4,3 \times 10^5$	$2,7 \times 10^5$	$8,2 \times 10^5$	$5,3 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$

Полученные значения алиментарной экспозиции подтвердили достаточную чувствительность метода определения БДЭ-47 в рыбе и рыбной продукции [3], поскольку ПКО значительно ниже по сравнению с выявленными уровнями контаминации согласно литературным данным [1]. Иной характер прогнозируемого поступления с рационом с учетом фактически зарегистрированных значений (таблица 3) закономерно был выявлен для БДЭ-99 и БДЭ-209 – рассчитанные показатели

имели тенденцию к повышению по сравнению с моделями, основанными на фактических данных контаминации. ДЭ для БДЭ-99 был наименьшим и составил 3,7–27. Учитывая, что для указанного конгенера и в реалистичных моделях, основанных на значениях, фактически определенных в пищевой продукции, также наблюдались наиболее низкие значения ДЭ (от 2,7), данный показатель был дополнительно рассчитан для периода 2018–2023 гг. (таблица 7)

Таблица 7 – Алиментарная экспозиция и значения ДЭ БДЭ-99 (период 2018–2023 гг.) с учетом ПКО разработанного метода определения

Алиментарная нагрузка	Модель					
	7	8	9	10	11	12
Всего/сутки	28,34	51,37	11,75	21,95	79,61	125,34
Всего, нг/кг МТ/сутки	0,38	0,68	0,16	0,29	1,06	1,67
ДЭ	11,1	6,1	26,8	14,4	4,0	2,5

Полученные значения свидетельствуют о сохранении негативной тенденции и озабоченности относительно рисков здоровью, ассоциированных с потенциальной контаминацией пищевой продукции БДЭ-99, поскольку в аггравированной модели 12 значение ДЭ составляет 2,5, то есть равно критерию приемлемости рисков здоровью.

Допущения, принятые нами при проведении оценки рисков здоровью приоритетными ПБДЭ, формируют неопределенности, включающие использование значений контаминации пищевой продукции ПБДЭ на основании данных литературы, различную степень дифференцировки и группирования пищевых продуктов при оценке структуры потребления, ограниченную информацию о токсических свойствах конгенов и, соответственно, использованных критериев оценки (хронической алиментарной нагрузки, body burden), отсутствие информации о концентрациях в пищевой продукции иных конгенов ПБДЭ и учета их комбинированного действия. Учитывая описанные выше предпосылки, проведенную оценку можно рассматривать как консервативную, то есть «переоценивающую» риск здоровью.

Сравнение наших результатов с данными, полученными в иных регионах, показало, что в целом прогнозируемая алиментарная нагрузка отдельными ПБДЭ с учетом национальных особенностей потребления находится в сопоставимом диапазоне значений. Усредненные оценки, проведенные в Европе, показали, что средняя алиментарная экспозиция для БДЭ-47 варьирует от 0,29 до 1,91 нг/кг МТ/сутки, для БДЭ-99 достигает 0,18–0,35 нг/кг МТ/сутки, для БДЭ-209 находится в диапазоне 0,35–2,82 нг/кг МТ/сутки [7], а прогнозируемый национальный уровень составляет 0,3–1,2, 0,1–0,3 и 1,6–2,6 нг/кг МТ/сутки

соответственно (таблица 5). Как и в европейском регионе, согласно нашим данным БДЭ-99 является конгеном, вызывающим наибольшую обеспокоенность с точки зрения рисков для здоровья.

Заключение. Используемая методология оценки рисков является гибким и адаптируемым инструментом для оценки алиментарной химической нагрузки различными контаминантами химической природы, позволяет на основе фактических, прогнозируемых или нормируемых значений контаминации и национальной структуры потребления рассматривать модели, охватывающие различные варианты и диапазоны экспозиции, в том числе в аггравированных условиях.

Проведенная оценка риска здоровью населения, ассоциированная с прогнозируемым алиментарным поступлением приоритетных полибромированных соединений свидетельствует, что наименьшие значения алиментарной экспозиции характерны для БДЭ-99 (0,1–1,6 нг/кг МТ/сутки), наибольшие – для БДЭ-209 (от 1,1 до 9,7 нг/кг МТ/сутки), а уровни риска здоровью могут рассматриваться как приемлемые, поскольку ДЭ по всем оцененным моделям составляет более 2,5. Приоритетным источником БДЭ-47 является рыбная продукция, БДЭ-99 – мясная, молочная продукция и яйца (суммарно), БДЭ-209 – продукты растительного происхождения.

Полученные данные об уровнях риска и их сопоставление с результатами исследований в иных странах свидетельствуют о необходимости адаптации аналитического метода для оценки содержания ПБДЭ в иных видах пищевой продукции животного происхождения, снижения его чувствительности и расширения спектра определяемых конгенов ПБДЭ, проведения оценки рисков здоровью, связанных с комбинированным воздействием указанных контаминантов.

Список цитированных источников

1. Scientific Opinion on Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Food [Electronic resource] / J. Alexander [et al.] // EFSAJ. – 2011. – Vol. 9, iss. 5. – Mode of access: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2011.2156>. – Date of access: 28.05.2024.
2. Дроздова, Е. В. Научное обоснование актуализации гигиенических нормативов безопасности питьевой воды / Е. В. Дроздова // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. трудов / редкол.: С. И. Сычик (гл. ред.), Г. Е. Косяченко (зам. гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2022. – Вып. 32. – С. 219–240.
3. Тимофеева, О. Н. Методика определения полибромдифениловых эфиров в рыбе и рыбной продукции методом газожидкостной хроматографии / О. Н. Тимофеева, И. С. Гринкевич, О. В. Шуляковская // Анализ риска здоровью. – 2016. – № 3. – С. 70–79.
4. Оценка алиментарной химической нагрузки на население: инструкция по применению: утв. Гл. гос. санитар. врачом Респ. Беларусь 15.12.2011, № 018-1211 / разраб.: Е. В. Федоренко, В. Г. Цыганков, Т. Г. Холупко. – Минск, 2011. – 14 с.

5. Уровни содержания нитратов, нитритов, нитрозаминов и полиароматических углеводородов в отдельных видах пищевой продукции : база данных : утв. Науч.-инж. респ. унитар. предприятием «Ин-т прикл. прогр. систем» 05.11.2019 г., № 1761919955 / Е. В. Федоренко [и др.]. – Минск, 2019.

6. Изучение фактического питания на основе метода частоты потребления пищевых продуктов : инструкция по применению : утв. Гл. гос. санитар. врачом Респ. Беларусь 15.12.2011, № 017-1211 / разработ.: Е. В. Федоренко [и др.]. – Минск, 2011. – 21 с.

7. Principles for the assessment of risks to human health from exposure to chemicals [Electronic resource] / World Health Organization. – 1999. – Mode of access: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc210.htm>. – Date of access: 25.05.2024.

Assessing the health risks associated with the dietary intake of selected polybrominated compounds

Fedorenko E. V.

Republican Unitary Enterprise «Scientific Practical Centre of Hygiene, Minsk, Republic of Belarus

Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) are persistent organic pollutants. They are widely used as flame retardants in the manufacture of various products commodities. These lipophilic, bioaccumulative compounds affect the endocrine, reproductive and nervous systems. The PBDE congeners BDE-47, BDE-99 and BDE-209 are the most important for dietary intake. The main source of these chemicals is fish products. National hygiene regulations limit the presence of these compounds in fish above the analytical method limit of quantification. Studies show a high likelihood of food contamination with PBDEs. The predicted dietary exposure to BDE-47, BDE-99 and BDE-209 was estimated using national food consumption data for adults. The assessment of the health risk associated with the expected dietary intake of the priority PBDEs shows the lowest dietary exposure levels for BDE-99 (0.1 to 1.6 ng/kg bw per day) and the highest — for PBDE-209 (1.1 to 9.7 ng/kg bw per day). The health risk levels based on margin of exposure can be considered acceptable.

Keywords: polybrominated diphenyl ethers, food, predicted dietary exposure, health risks, margin of exposure.

Поступила 05.06.2024