

# Гигиена питания

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2019

Сычик С.И., Долгина Н.А., Федоренко Е.В., Бельшева Л.Л.

## ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УРОВНЕЙ КОНТАМИНАЦИИ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены», 220012, Минск, Республика Беларусь

**Введение.** Пищевая продукция является одним из основных путей поступления химических загрязнителей в организм человека. К таким соединениям относятся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), в частности бенз(а)пирен (БП), который согласно классификации Международного агентства по изучению рака относится к 1-й группе канцерогенных веществ для человека.

**Материал и методы.** Изучены уровни контаминации БП и суммой 4ПАУ (БП, бенз(а)антрацен (БаА), бенз(б)флуорантен (БбФ), хризен (ХР)) продуктов какао-переработки, копченых мясных и рыбных продуктов, масложировой продукции и копченых сыров. Определение указанных соединений проводилось с использованием метода высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектором. Всего исследовано 147 образцов пищевой продукции. Моделирование количественной характеристики проб, которые квалифицируются как «ниже ПО» или «не обнаружено», выполнено согласно рекомендациям FAO/WHO и EFSA.

**Результаты.** Средние уровни контаминации БП и суммой 4ПАУ по медиане составили от 0,0065 и 0,26 мкг/кг в продуктах какао-переработки до 0,20 и 3,72 мкг/кг в масложировой продукции соответственно. Высокие, приближающиеся к максимальному, уровни загрязнения БП достигали 1,29 мкг/кг в маслах растительных и жирах, а суммой 4ПАУ – 7,87 мкг/кг в копченой рыбной продукции. Наибольшие уровни контаминации БП наблюдались в какао-масле (2,11 мкг/кг), в майонезе (1,45 мкг/кг), в маргарине (1,29 мкг/кг), а суммой 4ПАУ – в чипсах из свинины сырокопченой (10,11 мкг/кг), в какао-масле (9,27 мкг/кг), в сэндвичах из мяса птицы (7,77 мкг/кг). Гигиеническая оценка полученных результатов не выявила превышения максимально допустимых уровней БП и суммы 4ПАУ во всех образцах исследованной пищевой продукции.

**Заключение.** Учитывая высокую гигиеническую значимость обсуждаемых соединений, обладающих канцерогенными свойствами, необходимо проведение оценки риска здоровью, ассоциированного с наличием указанных соединений в пищевой продукции, с учетом смеси ПАУ в зависимости от их индивидуального вклада в общий уровень алиментарной нагрузки и различной степени канцерогенной активности. Следует разрабатывать и внедрять меры по снижению их уровня в рационе.

**Ключевые слова:** пищевая продукция; полициклические ароматические углеводороды; бенз(а)пирен; бенз(а)антрацен; бенз(б)флуорантен; хризен; контаминация.

**Для цитирования:** Сычик С.И., Долгина Н.А., Федоренко Е.В., Бельшева Л.Л. Гигиеническая характеристика уровней контаминации полициклическими ароматическими углеводородами пищевой продукции. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(7): 771-776. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-7-771-776>

**Для корреспонденции:** Долгина Наталья Алексеевна, специалист лаб. комплексных проблем гигиены пищевых продуктов Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены», 220012, Минск, Республика Беларусь. E-mail: [dlginan@rambler.ru](mailto:dlginan@rambler.ru)

**Финансирование.** Подготовка статьи финансировалась за счет средств отраслевой научно-технической программы «Здоровье и среда обитания». Авторы выражают благодарность специалистам лаборатории химии пищевых продуктов республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены» за помощь при выполнении исследований.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Участие авторов:** заключительное одобрение рукописи статьи – Сычик С.И.; сбор, анализ и интерпретация данных, подготовка и доработка рукописи статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – Долгина Н.А.; разработка концепции и дизайна работы, критическое рассмотрение статьи – Федоренко Е.В.; анализ и интерпретация данных – Бельшева Л.Л.

Поступила 10.04.2018  
Принята к печати 27.05.19  
Опубликована 08.2019

Sychik S.I., Dalhina N.A., Fedorenko E.V., Belysheva L.L.

## HYGIENIC CHARACTERISTIC OF THE CONTAMINATION LEVELS BY POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS OF FOOD

Republican Unitary Enterprise Scientific-Practical Centre of Hygiene, 220012, Minsk, Republic of Belarus

**Introduction.** Foods are one of the main ways of entering chemical contaminants in the human body. Such compounds include polyaromatic hydrocarbons (PAHs), in particular, benzo(a)pyrene (BP), which according to the classification of the International Agency for Research on Cancer belongs to the I group of carcinogenic substances for humans.

**Material and methods.** The levels of contamination of BP and the sum of 4PAHs (BP, benzo(a)anthracene (BaA), benz(b)fluoranthene (BbF), chrysene (CHR)) were studied for products of cocoa processing, smoked meat and fish products, fat-and-oil products and smoked cheeses. The determination of these compounds was carried out using the high-performance liquid chromatography method with a fluorimetric detector. A total of 147 samples of food products were examined. Simulation of the quantitative characteristics of samples that are «qualified» as «below limit of detection» or «not detected» is performed in accordance with the recommendations of FAO/WHO and EFSA.

**Results.** The average levels of BP contamination and the 4PAHs median were from 0.0065 µg/kg and 0.26 µg/kg in cocoa products to 0.20 µg/kg and 3.72 µg/kg in fat-and-oil products, respectively. High, approaching the maximum, contamination levels of BP reached 1.29 µg/kg in fat-and-oil products, and the sum of 4PAHs was 7.87 µg/kg in smoked fish products. The highest levels of contamination of BP were observed in cocoa butter (2.11 µg/kg), in mayonnaise (1.45 µg/kg), in margarine (1.29 µg/kg), and the sum of 4PAHs – in pork chips of smoked sausages (10.11 µg/kg), in cocoa butter (9.27 µg/kg), in poultry snacks (7.77 µg/kg). Hygienic evaluation of the results didn't reveal an excess of the maximum allowable levels of BP and the amount of 4PAH in all samples of food products studied.

**Conclusions.** Due to the high hygienic importance of the compounds under discussion with carcinogenic properties, it is necessary to assess the health risk associated with the presence of these compounds in food products, taking into account the PAH mixture, depending on their individual contribution to the overall level of nutritional load and varying degrees of carcinogenic activity. It is necessary to develop and implement measures to reduce their level in the diet.

**Key words:** foods; polyaromatic hydrocarbons; benzo(a)pyrene; benzo(a)anthracene; benzo(b)fluoranthene; chrysene; contamination.

**For citation:** Sychik S.I., Dalhina N.A., Fedorenko E.V., Belysheva L.L. Hygienic characteristic of the contamination levels by polycyclic aromatic hydrocarbons of food. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98(7): 771-776. (In Russ.). DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-7-771-776

**For correspondence:** *Natalia A. Dalhina*, MD, specialist of the Laboratory of Complex Problems of Food Hygiene of the Scientific-Practical Centre of Hygiene, Minsk, 220012, Republic of Belarus. E-mail: [dlginan@rambler.ru](mailto:dlginan@rambler.ru)

#### Information about the author:

Sychik S.I., <http://orcid.org/0000-0002-5493-9799>; Dalhina N.A., <http://orcid.org/0000-0003-4012-2507>; Fedorenko E.V., <http://orcid.org/0000-0003-1240-1234>; Belysheva L.L., <http://orcid.org/0000-0002-7245-3776>

*Conflict of interests.* The authors declare no conflict of interest.

*Acknowledgments.* Preparation of the article was financed by means of the branch scientific and technical program «Health and Environment». The authors are grateful to the specialists of the Laboratory of Food Chemistry of the Republican Unitary Enterprise «Scientific and practical center of hygiene».

*Contribution:* final approval of the article manuscript – Sychik S.I.; collection, analysis and interpretation of data, preparation and completion of the article manuscript, responsibility for the integrity of all parts of the article manuscript – Dalhina N.A.; preparation of the concept and design of work, critical revising of the article manuscript – Fedorenko E.V.; analysis and interpretation of data – Belysheva L.L.

Received: 10 April 2018

Accepted: 27 May 2019

Published: August 2019

## Введение

Обеспечение безопасности пищевой продукции является актуальной мультидисциплинарной задачей. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) представляют собой большую группу загрязнителей окружающей среды и пищевых продуктов, состоящую из двух и более ароматических конденсированных колец, являющихся жирорастворимыми. ПАУ образуются при пиролизе органических веществ и технологических процессах изготовления пищевых продуктов. Следовательно, природные и антропогенные источники ПАУ в окружающей среде многочисленны [1].

Полициклические ароматические углеводороды обладают канцерогенными, мутагенными и тератогенными свойствами. Некоторые из них (бенз[а]пирен (БП), индено[1,2,3-с,д]пирен, дибенз[а,г]антрацен и бензо[г,и]перилен) являются более стабильными и токсичными соединениями, чем другие ПАУ, которые не способствуют формированию злокачественных новообразований, но могут действовать как синергисты. Изучение механизма канцерогенного действия ПАУ на лабораторных животных и культуры клеток показало, что многие из них обладают мутагенными и генотоксическими свойствами. Указанные соединения вносят существенный вклад в развитие ряда онкологических заболеваний, таких как рак молочной железы, поджелудочной железы, лёгких и дистальных отделов толстого кишечника. В клетках ПАУ подвергаются метаболической активации диольными эпоксидами, которые ковалентно связываются с клеточными макромолекулами, включая ДНК, вызывая тем самым ошибки в её репликации и мутации, которые инициируют канцерогенез [2]. В последние десятилетия ПАУ, в том числе БП, были оценены Международной программой по химической безопасности, Научным комитетом по пищевым продуктам (НКП) и Объединённым комитетом экспертов ФАО/ВОЗ по пищевым добавкам. НКП пришёл к выводу, что 15 из 33 изученных ПАУ, а именно: бенз[а]антрацен (БаА), бенз[б]флуорантен (БбФ), бенз[и]флуорантен, бенз[к]флуорантен, бенз[г,и]перилен, бенз[а]пирен, хризен, циклопента[с,д]пирен, дибенз[а,г]антрацен, дибенз[а,е]пирен, дибенз[а,и]пирен, дибенз[а,и]пирен, дибенз[а,л]пирен, индено[1,2,3-сд]пирен и 5-метилхризен – обладают мутагенностью, генотоксичностью и канцерогенностью, что доказано на экспериментальных животных *in vivo* [3]. Со-

гласно классификации Международного агентства по изучению рака БП относится к 1-й группе канцерогенных веществ для человека, а БаА, хризен (ХР) и БбФ – к 2В группе вероятно канцерогенных веществ. В 2008 году Европейское управление безопасностью по загрязнителям в пище (CONTAM Panel), основываясь на данных о канцерогенности различных соединений указанной группы, пришло к выводу, что, наряду с БП, сумма 4ПАУ (БаА, ХР, БбФ, БП) является надёжным маркером наличия обсуждаемых веществ в пищевых продуктах. Данные рекомендации привели к изменению действующего законодательства в Европейском союзе [4]: с сентября 2012 г. согласно Регламенту комиссии (ЕС) № 1881/2006 нормируются не только предельно допустимые уровни БП, но и сумма БаА, ХР, БбФ и БП (4ПАУ)<sup>1</sup>. Таким образом, обсуждаемые вещества представляют собой одну из приоритетных групп загрязнителей в пищевой продукции с точки зрения оценки риска долгосрочных неблагоприятных последствий для здоровья населения.

Население подвергается воздействию ПАУ различными путями. Вышеназванные соединения образуются в процессе неполного сгорания топлива, изготовления пищевых продуктов и вследствие поверхностной контаминации. Уровень ПАУ зависит от вида технологического процесса, его параметров, химического состава пищевой продукции. Например, традиционные промышленные методы копчения, при которых дым от неполного сгорания древесины вступает в непосредственный контакт с продуктами, могут привести к значительной контаминации различными ПАУ, если процесс не контролируется должным образом. Уровень ПАУ в пищевой продукции зависит от процессов их приготовления: копчения, жарки, использования гриля и применения копильных ароматизаторов. Факторы, влияющие на содержание ПАУ в пищевой продукции, включают: технологические параметры (время и температура приготовления, тип используемого топлива, расстояние от источника нагрева), исходную влажность и химический состав продуктов (содержание жира) [3, 4].

<sup>1</sup> Commission Regulation (EU) No 835/2011 of 19 August 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for polycyclic aromatic hydrocarbons in foodstuffs. -- Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX: 32002R0178&qid= %201429076106145>. -- Date of access: 01.02.2018.

Таблица 1

## Уровни контаминации полиароматическими углеводородами в отдельных группах пищевых продуктов

Группа пищевых продуктов	Вид пищевого продукта	Медианы контаминации, мкг/кг		Литературный источник
		БП	4ПАУ	
Молоко и молочные продукты	Молоко	0,11	0,41	Luzardo et al., 2013 [5]
		Н/о–0,10	5,86–22,60	Girelli et al., 2014 [6]
	Сыр	0,05	0,21	Luzardo et al., 2013 [5]
	Сухое молоко	0,004	2,01	Londono et al., 2017 [7]
	Йогурт	Н/о	0,01	Luzardo et al., 2013 [5]
		0,04	0,60	Battist et al., 2015 [8]
Н/о		Н/о	Singh et al., 2016 [9]	
Сливочное масло	0,001	0,013	Luzardo et al., 2013 [5]	
Фрукты и овощи	Фрукты и овощи	< 0,01–0,87	0,82–2,24	Soceanu et al., 2015 [10]
Мукомольно-крупяные изделия	Хлеб	0,059–0,060	0,40–0,65	Rozentale et al., 2016 [11]
		0,17	0,28	Kacmaz et al., 2016 [12]
	Зерновые завтраки, крупы	0,06	0,67	Rozentale et al., 2016 [11]
		0,22	0,37	Kacmaz et al., 2016 [12]
		0,47–0,62	1,09–1,24	Olabemiwo et al., 2013 [13]
Н/о–0,15	0,02–1,76	Singh et al., 2016 [9]		
Мясо и продукты его переработки, яйца	Яйца	Н/о–0,11	0,48–0,71	Luzardo et al., 2013 [14]
		0,01	0,06	Luzardo et al., 2013 [5]
	Копчёная, жареная курица	0,47	5,38	Rozentale et al., 2015 [15]
		0,08–0,96	1,25–5,19	Zachara et al., 2017 [16]
	Копчёная, жареная свинина, говядина	0,23–0,31	1,06–3,07	Rozentale et al., 2015 [15]
0,16–1,78		1,24–24,27	Zachara et al., 2017 [16]	
0,60–0,76	3,38	Olabemiwo et al., 2013 [13]		
Рыба и продукты её переработки	Копчёная рыба	0,21–0,73	2,01–6,63	Ahmed et al., 2015 [17]
		53,9	260,6	Slámová et al., 2015 [18]
		2,43–5,88	15,05–21,04	Adeyeye et al., 2016 [19]
		0,18–0,70	1,96–4,37	Zachara et al., 2017 [16]
	Рыбные консервы	0,04–0,07	0,78–0,91	Sannino et al., 2016 [4]
		0,65–4,52	1,12–5,57	Novakov et al., 2017 [20]
		0,35–0,98	2,18–10,26	Zachara et al., 2017 [16]
Кондитерские изделия	Шоколад	0,44–0,65	5,25–8,76	Raters et al., 2014 [21]
	Какао	0,81–0,92	8,49–8,90	Raters et al., 2014 [21]
Напитки	Чай и кофе	1,10–5,80	13,0–56,4	Londono et al., 2015 [22]
		0,05–7,70	0,40–26,9	Duedahl-Olesen et al., 2014 [23]
	Н/о	5,76	Singh et al., 2015 [9]	
Алкогольные напитки	0,0003–0,0103	< 0,0001–0,13	Singh et al., 2015 [9]	
Масложировая продукция	Масла растительные	1,39–3,03	6,52–14,19	Molle et al., 2017 [24]
		< 0,12–1,98	1,21–35,03	Ciecierska et al., 2013 [25]
Майонез	0,08	0,64	Sannino et al., 2016 [4]	
Орехи	Орехи	Н/о–0,05	0,05 – 1,61	Singh et al., 2015 [9]

Контаминация ПАУ характерна для различных видов пищевой продукции, при этом уровни загрязнения согласно проведенным исследованиям весьма вариабельны (табл. 1).

Целью данного исследования является гигиеническая оценка уровней контаминации отдельных видов пищевой продукции ПАУ.

## Материал и методы

Определение ПАУ проводилось согласно ГОСТ 31745-2012 «Продукты пищевые. Определение содержания ПАУ методом высокоэффективной жидкостной хроматографии». В соответствии с вышеназванной методикой предел обнаружения (ПО) составляет для различных ПАУ от 0,1 до 5,0 мкг/кг, а предел количественного определения (ПКО) – 2,0 мкг/кг. Однако валида-

ция метода позволила установить ПКО для БаА и БП на уровне 0,01 мкг/кг, а для БбФ и ХР – 0,1 мкг/кг. ПО составил 0,003 мкг/кг для БаА и БП, 0,03 мкг/кг – БбФ и ХР [26]. Хроматограммы смеси стандартных растворов ПАУ и количественного определения 4ПАУ в оливковом масле представлены на рис. 1 и 2.

Контаминанты в пищевой продукции могут содержаться в количествах ниже ПО или ПКО. Данные значения важны при оценке экспозиции, поэтому в отношении таких веществ необходимо проводить моделирование количественной характеристики проб, которые квалифицируются как «ниже ПО» или «не обнаружено» [3]. Нами использованы модели оценки низкоконтаминированных проб согласно рекомендациям FAO/WHO [3] и EFSA [27], в которых оцениваются нижняя (НГ) и верхняя (ВГ) границы, а также средний уровень (СУ). Для НГ значения при-

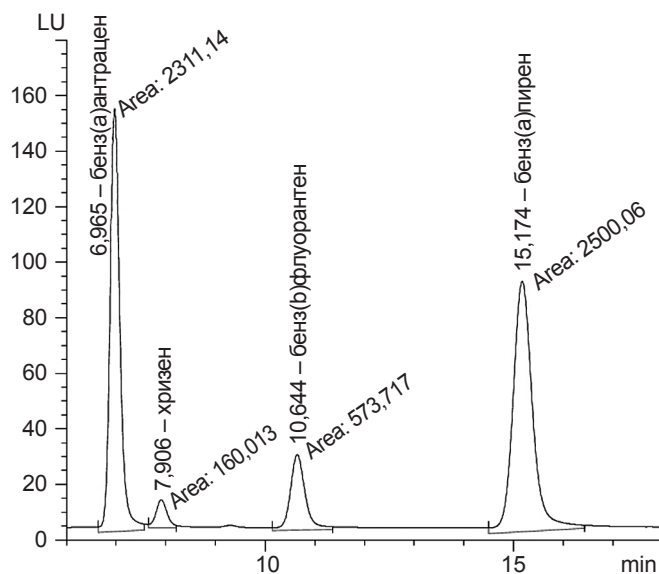


Рис. 1. Хроматограмма смеси стандартных растворов полициклических ароматических углеводородов концентраций 10 нг/см<sup>3</sup> каждого.

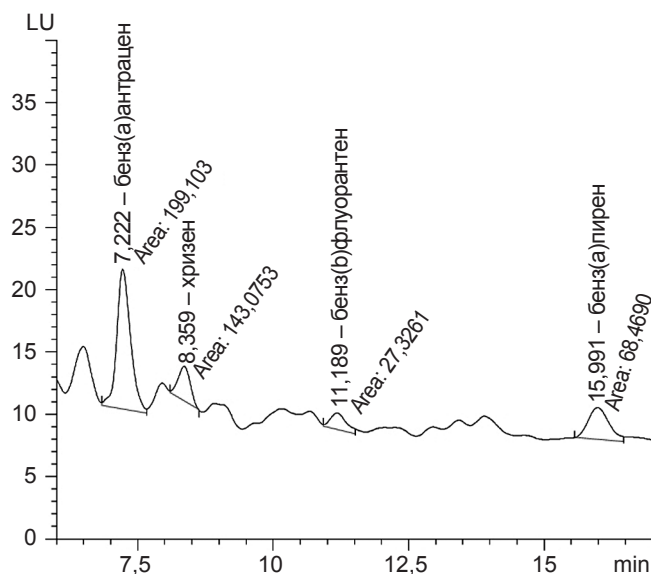


Рис. 2. Хроматограмма, полученная при определении суммы четырех полициклических ароматических углеводородов в оливковом масле.

равниваются к ПО, для ВГ к ПКО, а для СУ они составляют (ПО + ПКО)/2.

Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью пакета STATISTICA 12.0. Оценка соответствия полученных данных нормальному распределению осуществлялась с использованием критериев *W* теста Шапиро–Уилка (Shapiro–Wilk *W* test) и Колмогорова–Смирнова с поправкой Лиллиефорса (Kolmogorov–Smirnov & Lilliefors test for normality). Распределение данных считалось отличным от нормального (непараметрическим) при уровне значимости  $p < 0,05$ . Для характеристики уровня контаминации ПАУ пищевой продукции использованы медиана (*Me*), интерквартильный размах ( $25 \div 75\%$ ) и 95-й перцентиль (95P). Достоверность различий между верхней и нижней границами по отношению к среднему уровню контаминации пищевой продукции по медиане определялась при уровне значимости  $p < 0,05$  по *U*-критерию Манна–Уитни.

## Результаты

Методические подходы, описанные выше, позволили определить уровни контаминации отдельных видов пищевой продукции ПАУ.

Моделирование незначимых результатов, которые квалифицируются как «ниже ПО» или «не обнаружено», с использованием замещающих значений вместо уровней контаминации ниже ПКО согласно рекомендациям FAO/WHO [27] и EFSA [28] позволило для некоторых пищевых продуктов определить диапазоны значений загрязнения БП и суммой 4ПАУ.

Характеристика уровней контаминации БП различных видов пищевой продукции представлена в табл. 2.

Наибольшее количество образцов, содержание БП в которых было выше ПКО, выявлено в масложировой продукции – 45 образцов или 100% соответственно, а наименьшее – в продуктах какао-переработки (21 образец, или 44,19%). Максимальные уровни контаминации БП выявлены в масложировой продукции: в какао-масле (2,11 мкг/кг), в майонезе (1,45 мкг/кг), в маргарине (1,29 мкг/кг), что связано с технологическими процессами сушки и обжарки семян масличных культур, применяемых при производстве отдельных ингредиентов, используемых при изготовлении вышеназванных пищевых продуктов.

Диапазоны уровней загрязнения продуктов какао-переработки и копчёных сыров БП составили от 0,003 до 0,01 мкг/кг и от 0,009 до 0,0013 мкг/кг соответственно. Статистическая значимость различий между ВГ и НГ по отношению к СУ контаминации БП установлена только в продуктах какао-переработки ( $U = 733, p < 0,05$ ). В остальных группах исследованной пищевой продукции отличий в изучаемых показателях не выявлено вследствие малого размера выборок и большого количества значений выше ПКО используемого метода.

Средние уровни контаминации БП по медиане составили для масложировой продукции 0,20 мкг/кг, для копчёной рыбной продукции – 0,05 мкг/кг, для копчёной мясной продукции – 0,02 мкг/кг, для копчёных сыров – 0,01 мкг/кг и продуктов какао-переработки – 0,0065 мкг/кг соответственно.

Таблица 2

### Характеристика уровней контаминации бенз(а)пиреном различных видов пищевой продукции (мкг/кг)

Вид пищевой продукции	N	> ПКО		Min–max	Me (25 ÷ 75%)			95P		
		абс.	%		НГ	СУ	ВГ	НГ	СУ	ВГ
Масложировая продукция	45	0	0	0,08–2,11		0,20 (0,12 ÷ 0,60)				1,29
Продукты какао-переработки	43	24	55,81	0,003–0,30	0,003* (0,003 ÷ 0,03)	0,0065 (0,0065 ÷ 0,03)	0,01* (0,01 ÷ 0,03)			0,28
Копчёные рыбные продукты	30	6	20	0,003–1,09		0,05 (0,02 ÷ 0,21)				0,58
Копчёные мясopодукты	30	8	26,67	0,003–1,00	0,02 (0,003 ÷ 0,06)	0,02 (0,0065 ÷ 0,06)	0,02 (0,01 ÷ 0,06)			0,99
Копчёные сыры	10	5	50	0,003–0,61	0,009 (0,003 ÷ 0,05)	0,011 (0,0065 ÷ 0,05)	0,013 (0,01 ÷ 0,05)			0,61

Примечание. Здесь и в табл. 3: \* – достоверность различий между НГ, СУ, ВГ ( $p < 0,05$ ).



Таблица 3

## Характеристика уровней контаминации 4ПАУ (в мкг/кг) отдельных групп пищевой продукции

Вид пищевой продукции	N	Min-max	Me (25 ÷ 75%)			95P			
			НГ	СУ	ВГ	НГ	СУ	ВГ	
Масложировая продукция	45	1,43–9,37		3,72 (3,09 ÷ 4,49)			5,75		
Продукты какао переработки	43	0,09–4,02	0,19* (0,16 ÷ 0,44)	0,26 (0,24 ÷ 0,51)	0,33* (0,31 ÷ 0,58)		3,17		
Копчёная рыбная продукция	30	0,10–7,16	0,60 (0,20 ÷ 1,40)	0,65 (0,27 ÷ 1,28)	0,70 (0,34 ÷ 1,31)	4,35	4,42	4,49	
Копчёная мясная продукция	30	0,07–10,21	0,70 (0,42 ÷ 1,45)	0,75 (0,46 ÷ 1,49)	0,81 (0,50 ÷ 1,52)	7,80	7,84	7,87	
Копчёные сыры	10	0,08–5,91	0,54 (0,18 ÷ 1,07)	0,58 (0,25 ÷ 1,11)	0,62 (0,32 ÷ 1,14)	5,84	5,88	5,91	

Наиболее значимое, приближающееся к максимальному (95-й процентиль), содержание обсуждаемого вещества достигало 1,29 мкг/кг в образцах масел и жиров растительных.

Характеристика уровней контаминации суммой 4ПАУ различных видов пищевой продукции представлена в табл. 3.

Максимальные уровни контаминации суммой 4ПАУ наблюдались в отдельных видах пищевой продукции: чипсах из свинины сырокопчёных (10,11 мкг/кг), в какао-масле (9,27 мкг/кг), снеках из мяса птицы (7,77 мкг/кг), шпротах (7,09 мкг/кг).

Уровень загрязнения продуктов какао-переработки, копчёной рыбной и мясной продукции, копчёных сыров суммой 4ПАУ варьировал от 0,19 до 0,33 мкг/кг, от 0,60 до 0,70 мкг/кг, от 0,70 до 0,81 мкг/кг и от 0,54 до 0,62 мкг/кг соответственно. Статистическая значимость различий между ВГ и НГ по отношению к СУ контаминации суммой 4ПАУ установлена только в продуктах какао-переработки ( $U = 733, p < 0,05$ ).

Средние уровни контаминации (по медиане) суммой 4ПАУ составили для масложировой продукции 3,72 мкг/кг, для копчёной мясной продукции – 0,75 мкг/кг, для копчёной рыбной продукции – 0,65 мкг/кг, для копчёных сыров – 0,58 мкг/кг и продуктов какао-переработки – 0,26 мкг/кг соответственно. Высокие уровни (95-й процентиль) загрязнения обсуждаемыми веществами достигал 7,84 мкг/кг в копчёной мясной продукции.

Доля отдельных ПАУ в общем уровне контаминации изученных пищевых продуктов была различной, что связано со спецификой технологических процессов, их параметрами, химическим составом пищевой продукции. Наибольший вклад в загрязнение масложировой продукции внёс ХР (70,03%), а остальных групп обсуждаемых пищевых продуктов – БаА (42,28% в продуктах какао-переработки, 68,97% в копчёной рыбной продукции, 54,05% в копчёной мясной продукции, 63,94% в копчёных сырах). Вклад БП как приоритетного химического загрязнителя в обсуждаемой группе веществ составил 5,60, 2,75, 8,62, 3,60, 2,81% соответственно (рис. 3).

Гигиеническая оценка уровней контаминации показала отсутствие превышения максимальных допустимых уровней БП и суммы 4ПАУ, установленных в Республике Беларусь<sup>2</sup>, Евразийском экономическом союзе и Европейском союзе во всех исследованных образцах пищевых продуктов.

## Обсуждение

Исследования масложировой продукции, продуктов какао-переработки, копчёных мясных, рыбных продуктов и сыров показали, что уровень контаминации БП закономерно увеличивается при применении ряда последовательных технологических процедур. Например, наибольшее влияние на возрастание уровня загрязнения вышеперечисленным веществом масложировой продукции могли оказать последовательные процессы сушки и обжарки семян масличных культур вследствие высоких температур (60–350°C), применяемых на указанных этапах. Стоит

<sup>2</sup> Показатели безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов [Электронный ресурс] : гигиен. норматив : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 21 июня 2013 г. № 52 / Респ. центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья. – 2013. – Режим доступа: [http://minzdrav.gov.by/dadvfiles/000358\\_263484\\_PostMZ\\_N52\\_2013\\_GigNormatives.zip](http://minzdrav.gov.by/dadvfiles/000358_263484_PostMZ_N52_2013_GigNormatives.zip). – Дата доступа: 02.02.2018.

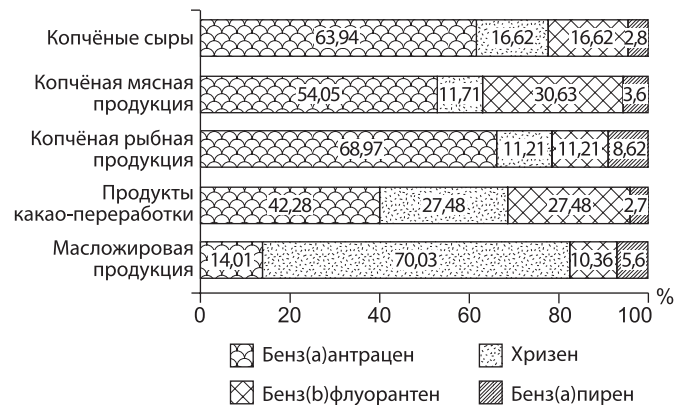


Рис. 3. Структура контаминации пищевой продукции суммой четырёх полициклических ароматических углеводородов (по медиане).

отметить, что в копчёных пищевых продуктах содержание БП было значительно ниже (в 4–18 раз), чем в образцах масел и жиров растительных, что связано с особенностями технологии производства таких продуктов – применением ароматизаторов дыма или современных копильных установок, которые позволяют контролировать условия приготовления копчёных продуктов. Уменьшение уровней применения ароматизаторов дает возможность снизить концентрацию обсуждаемых веществ в готовом продукте. Копильные ароматизаторы вносят вклад в увеличение уровней контаминации, но значения загрязнения ПАУ пищевых продуктов ниже, чем при копчении, что связано с высокой степенью очистки данных препаратов.

Анализ результатов вышеперечисленной пищевой продукции выявил тенденцию к изменению уровней загрязнения суммой 4ПАУ (БаА, БбФ, ХР и БП), схожую с контаминацией БП. Содержание вышеперечисленных веществ увеличивается в 4,96–14,3 раза при последовательном применении ряда технологических процессов, таких как обжарка, а также сушка семян масличных культур дымовыми газами, содержащими продукты неполного сгорания топлива. Стоит отметить, что наименьшие уровни контаминации суммой 4ПАУ зафиксированы в продуктах какао-переработки, что может быть связано с низкими температурами (110°C) обжарки какао-бобов. Однако обработка транспортной упаковки текстильным маслом и замена при приготовлении шоколада молотых бобов на масло какао, состоящее из 52–56% жира, может оказать значительное влияние на увеличение содержания обсуждаемых соединений в готовом продукте. Так, в какао-масле максимальный уровень загрязнения суммой 4ПАУ на 34% выше, чем в какао-порошке, что также может быть обусловлено вышеперечисленными особенностями технологического процесса.

В связи с высокой опасностью для здоровья в Республике Беларусь и Евразийском экономическом союзе в пищевой продукции нормируются максимально допустимые уровни содержания БП, а в Европейском союзе – и суммы 4ПАУ. Сравнительный анализ нормирования БП, представленный в табл. 4, свидетельствует о различиях в нормативных требованиях в Республике Беларусь<sup>2</sup> и Европейском союзе.

Таблица 4

**Максимальные уровни полиароматических углеводородов в соответствии с Регламентом Европейского союза (ЕС) № 1881/2006 и их сопоставление с действующими нормами в Республике Беларусь (РБ)**

Вид пищевого продукта	Допустимый уровень, мкг/кг		
	БП		сумма 4ПАУ
	РБ	ЕС	
Масложировая продукция (за исключением какао-масла)	1,0	2,0	10,0
Какао-бобы и продукты их переработки	–	5,0	30,0
Кокосовое масло	–	2,0	20,0
Копчёные мясо и мясопродукты	1,0	2,0	12,0
Копчёные сыры, сырные продукты	1,0	–	–
Зерно продовольственное	1,0	–	–
Мускульная ткань копчёного мяса рыбы и копчёных продуктов рыболовства	5,0	2,0	12,0
Шпроты и консервы из копчёных шпрот ( <i>Sprattus sprattus</i> ); двусторчатые моллюски (свежие, охлаждённые или замороженные)	5,0	5,0	30,0
Двусторчатые моллюски (копчёные)	–	6,0	35,0
Детское питание на зерновой и молочной основе, специализированные пищевые продукты для питания детей раннего возраста	Не допускается (< 0,2 мкг/кг)	1,0	1,0

**Заключение**

1. ПАУ, обладающие канцерогенными свойствами, относятся к приоритетным химическим загрязнителям пищевой продукции с точки зрения оценки риска долгосрочных неблагоприятных последствий для здоровья населения, что подтверждается высокой частотой их обнаружения и вероятностью поступления с рационами.

2. Средние уровни контаминации БП и суммой 4ПАУ по медиане составили от 0,0065 и 0,26 мкг/кг в продуктах какао-переработки до 0,20 и 3,72 мкг/кг в масложировой продукции соответственно. Близкие к максимальным уровни загрязнения БП (95-й перцентиль) достигали 1,29 мкг/кг в маслах растительных и жирах, а суммой 4ПАУ 7,87 мкг/кг – в копчёной рыбной продукции.

3. Гигиеническая оценка полученных результатов не выявила превышения максимально допустимых уровней БП и 4ПАУ во всех образцах исследованной пищевой продукции.

4. В отношении изученных веществ необходимо проводить оценку риска здоровью населения с учётом смеси ПАУ в зависимости от их индивидуального вклада в общий уровень алиментарной нагрузки и различной степени канцерогенной активности, а также разрабатывать меры по их снижению.

**Литература (п.п. 1–25, 27, 28 см. References)**

26. Бельшева Л.Л., Полянских Е.И., Федорова Т.А., Филатченкова Е.В., Башун Т.В. Определение содержания низких концентраций полиароматических углеводородов в пищевых продуктах. *Здоровье и окружающая среда*. 2017; (27): 223-6.

**References**

1. Tongo I., Ogebeide O., Ezemonye L. Human health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in smoked fish species from markets in Southern Nigeria. *Toxicology Reports*. 2017; 4: 55–61.  
2. Li G., Wu S., Wang L., Akoh C. Concentration, dietary exposure and health risk estimation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in youtiao, a Chinese traditional fried food. *Food Control*. 2016; 59: 328–36.

3. *The EFSA Journal* (2008). Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2008.724/epdf> (accessed 1 February 2018).  
4. Sannino A. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Italian preserved food products in oil. *Food Addit Contam B*. 2017; 9(2): 98–105. Doi: 10.1080/19393210.2016.1145148.  
5. Luzardo P.O., Zumbado M., Boada D.L. Concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons and organohalogenated contaminants in selected foodstuffs from Spanish market basket: Estimated intake by the population from Spain. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2013; 11(3, 4): 437–43.  
6. Girelli A.M., Sperati D., Tarola A.M. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in Italian milk by HPLC with fluorescence detection. *Food Addit Contam A*. 2014; 31(4): 703–10. Doi: 10.1080/19440049.2013.878959.  
7. Londoño V.A.G., Reynoso C.M., Resnik S. Polycyclic aromatic hydrocarbons in milk powders marketed in Uruguay. *Food Addit Contam B*. 2017; 10(4): 284–91. Doi: 10.1080/19393210.2017.1349191.  
8. Battisti C., Girelli A.M., Tarola A.M. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in yogurt samples. *Food Addit Contam B*. 2015; 8(1): 50–5. Doi: 10.1080/19393210.2014.968880.  
9. Singh, L., Varshney, J.G., Agarwal, T., Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Formation and Occurrence in Processed Food. *Food Chemistry*. 2015; 199: 768–81. Doi: 10.1016/j.foodchem.2015.12.074.  
10. Soceanu A., Dobrinas S., Popescu V. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Romanian Baby Foods and Fruits, Polycyclic Aromatic Compounds. *Polycyclic Aromatic Compounds*. 2015; 36(4): 364–75. Doi: 10.1080/10406638.2014.988275.  
11. Rozentale I., Zacs D., Perkons I., Bartkevics V. A comparison of gas chromatography coupled to tandem quadrupole mass spectrometry and high-resolution sector mass spectrometry for sensitive determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in cereal products. *Food Chemistry*. 2016; 221: 1291–7. Doi: 10.1016/j.foodchem.2016.11.027.  
12. Kaemaz S. Polycyclic aromatic hydrocarbons in cereal products on the Turkish market. *Food Addit Contam B*. 2016; 9(3): 191–7. Doi: 10.1080/19393210.2016.1164761.  
13. Olabemiwo M.O., Tella C.A., Omodara B.N., Esan O.A., Oladapo A. Polycyclic aromatic hydrocarbons in three local snacks in ogbomosho. *Am. J. Food. Nutr.* 2013; 3(2): 90–7.  
14. Luzardo P. O., Rodríguez-Hernández Á., Quesada-Tacoronte Y., Ruiz-Suárez N., Almeida-González M. et al. Influence of the method of production of eggs on the daily intake of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine contaminants: An independent study in the Canary Islands (Spain). *Food and Chemical Toxicology*. 2013; 60: 455–62. Doi: 10.1016/j.fct.2013.08.003.  
15. Rozentale I., Stumpe-Viksna I., Zacs D., Siksnā I., Melngaila A. et al. Assessment of dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons from smoked meat products produced in Latvia. *Food Control*. 2015; 54: 16–22. Doi: 10.1016/j.foodcont.2015.01.017.  
16. Zachara A., Galkowska D., Juszcak L. Contamination of smoked meat and fish products from Polish market with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Food Control*. 2017; 80: 45–51. Doi: 10.1016/j.foodcont.2017.04.024.  
17. Ahmed M. T., Malhat F., Loutfy N. Residue Levels, Profiles, Emission Source and Daily Intake of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Based on Smoked Fish Consumption, An Egyptian Pilot Study. *Polycyclic Aromatic Compounds*. 2016; 36(3): 183–96. Doi: 10.1080/10406638.2014.957405.  
18. Slámová T., Fraňková A., Hubáčková A., Banout J. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Cambodian smoked fish. *Food Addit Contam B*. 2017; 10(4): 248–55. Doi: 10.1080/19393210.2017.1342700.  
19. Adeyeye S.A.O., Oyewole O.B., Obadina O., Adeniran O.E., Oyedele H.A. et al. Effect of smoking methods on microbial safety, polycyclic aromatic hydrocarbon, and heavy metal concentrations of traditional smoked fish from Lagos State, Nigeria. *Journal of Culinary Science & Technology*. 2016; 14(2): 91–106. Doi: 10.1080/15428052.2015.1080644.  
20. Novakov J.N., Mihaljev A.Z., Kartalović D.B., Blagojević J.B., Petrović M.J. et al. Heavy metals and PAHs in canned fish supplies on the Serbian market. *Food Addit Contam B*. 2017; 10(3): 208–15. Doi: 10.1080/19393210.2017.1322150.  
21. Raters M., Matissek R. Quantitation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH4) in Cocoa and Chocolate Samples by an HPLC-FD Method. *J. Agric. Food Chem.* 2014; 62(44): 10666–71. Doi: 10.1021/jf5028729.  
22. Londoño V.A.G., Reynoso C.M., Resnik S. L. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) survey on tea (*Camellia sinensis*) commercialized in Argentina. *Food Control*. 2015; 50: 31–7.  
23. Duedahl-Olesen L., Navaratnam M.A., Jewula J., Jensen A.H. PAH in Some Brands of Tea and Coffee. *Polycyclic Aromatic Compounds*. 2015; 35(1): 74–90. Doi: 10.1080/10406638.2014.918554.  
24. Molle R.D.D., Abballe C., Gomes M.L.F., Furlani P.Z.R., Tfouni A.V.S. Polycyclic aromatic hydrocarbons in canola, sunflower and corn oils and estimated daily intake. *Food Control*. 2017; 81: 96–100. Doi: 10.1016/j.foodcont.2017.05.045.  
25. Ciecierska M., Obiedzinski M.W. Polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetable oils from unconventional sources. *Food Control*. 2013; 30: 556–62. Doi: 10.1016/j.foodcont.2012.07.046.  
26. Belysheva L.L., Polyanskiy E.I., Fedorova T.A., Filatchenkova E.V., Bashun T.V. Determination of low concentrations of polyaromatic hydrocarbons in food. *Health and environment*. 2017; (27): 223–6. (in Russian)  
27. World Health Organization (2009). Available at: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44065/9/WHO\\_EHC\\_240\\_9\\_eng\\_Chapter6.pdf?ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44065/9/WHO_EHC_240_9_eng_Chapter6.pdf?ua=1) (accessed 1 February 2018).  
28. The EFSA Journal (2010). Available at: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2010.1557> (accessed 1 February 2018).