

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ / FOOD SYSTEMS

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.52.2>

БИСФЕНОЛ А В ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ: ПУТИ ПОПАДАНИЯ, СОДЕРЖАНИЕ, ВРЕД ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ И ОГРАНИЧИТЕЛЬНЫЕ МЕРЫ

Обзор

Макаров Д.А.^{1,*}, Балагула Т.В.², Лаврухина О.И.³, Третьяков А.В.⁴

¹ORCID : 0000-0003-3834-0695;

²ORCID : 0000-0003-0583-4277;

³ORCID : 0000-0001-6248-5726;

⁴ORCID : 0000-0002-4984-9502;

^{1,3,4} Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов, Москва, Российская Федерация

² Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (phorez[at]yandex.ru)

Аннотация

Бисфенол А (БФА) – это мономер поликарбонатного пластика и эпоксидных смол, активно используемых для изготовления материалов, контактирующих с пищевой продукцией. Объёмы производства бисфенола А в мире (>10 млн тонн) и России неуклонно растут, при этом ряд стран ввёл ограничения на его использование в материалах, контактирующих с продуктами питания, вплоть до планируемого в ЕС полного запрета. Допустимые уровни для соединения в пищевой продукции пока не регламентированы, установлено только предельное значение миграции из упаковки (0,01 мг/л в России).

Пищевую продукцию бисфенол А может загрязнять на всех этапах производства – от этапа получения сырья до упаковки (например, из эпоксидной смолы выстилающей поверхности консервных банок). Среди основных методов определения содержания загрязнителя в пищевой продукции – высокоэффективная жидкостная хроматография с масс-спектрометрическим или флуоресцентным детектированием. Количество бисфенола А в растительной и животноводческой продукции находится в диапазоне от единиц до десятков мкг/кг (в консервированной продукции в разы выше). В некоторых видах морских рыб и моллюсков содержание вещества может достигать сотен мкг/кг. Загрязнитель может вносить вклад в развитие у человека нарушений работы репродуктивной, нервной, иммунной систем, печени и почек, дефектов развития плода. В 2023 г. Европейское агентство по безопасности продуктов питания (EFSA) установило новую переносимую дозу 0,2 мг/кг веса день (в 20,000 раз ниже установленной ранее) и пришло к выводу, что при потреблении большей части различных видов продукции, содержащих бисфенол А (как консервированной, так и неконсервированной) здоровью может быть нанесён вред.

Выводы: Пути загрязнения БФА пищевой продукции изучены недостаточно. В нашей стране официально утверждённые методы определения содержания БФА в пищевой продукции отсутствуют, систематических исследований содержания БФА в продуктах питания не проводилось. Разработка собственных методик анализа и мониторинговые исследования необходимы для обеспечения безопасности пищевой продукции.

Ключевые слова: бисфенол А, пищевая безопасность, пищевая продукция, загрязнение.

BISPHENOL A IN FOOD PRODUCTS: PATHWAYS OF CONTAMINATION, CONTENTS, HEALTH RISK, AND RESTRICTION MEASURES

Review article

Makarov D.A.^{1,*}, Balagula T.V.², Lavrukhhina O.I.³, Tretyakov A.V.⁴

¹ORCID : 0000-0003-3834-0695;

²ORCID : 0000-0003-0583-4277;

³ORCID : 0000-0001-6248-5726;

⁴ORCID : 0000-0002-4984-9502;

^{1,3,4} All-Russian State Center for Quality and Standardization of Medicines for Animals and Feed, Moscow, Russian Federation

² Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (phorez[at]yandex.ru)

Abstract

Bisphenol A (BPA) is a monomer of polycarbonate plastics and epoxy resins used for the manufacture of food-contact materials. BPA production volumes in the world (>10 million tons) and Russia are steadily growing, while a number of countries have introduced restrictions on its use in food-contact materials, up to a complete ban planned in the EU. Maximum levels for BPA in food products have not yet been established, only the migration limit (0.01 mg/l in Russia).

BPA can contaminate food products at all production stages – both from packaging materials, in particular from the epoxy resin lining of cans, and at the stage of raw materials from the environment. HPLC with mass spectrometric or fluorescent detection is among the main analytical methods for determining BPA in food products. The average content of BPA in plant and animal products is on the order of units and tens of micrograms/kg. It is several times higher in canned products. In some species of marine fish and shellfish, it can reach hundreds of micrograms/kg. BPA can contribute to the development of human

disorders of the reproductive, nervous, immune systems, liver and kidneys, and fetal development defects. In 2023, the European Food Safety Authority (EFSA) established a new tolerable intake of 0.2 mg/kg body weight per day (20,000 times lower than previously established) and concluded that when consuming most types of food (both canned and non-canned) health risks may occur.

Conclusions: The pathways of BPA contamination of food products have not been sufficiently studied. In Russia, there are no officially approved methods for BPA analysis in food products, and no systematic studies on BPA content in food have been conducted. The development of national methods of analysis and monitoring studies will be relevant to ensure food safety.

Keywords: bisphenol A, food safety, food products, contamination.

Введение

Бисфенол А (CAS No. 80-05-7) – это синтетическое фенольное соединение, мономер для производства поликарбонатных пластиков и эпоксидных смол (95% от объёма производства БФА) [1] и других полимерных материалов, контактирующих с пищевой продукцией [2]. В частности, из поликарбонатного пластика изготавливают тару для твёрдых и жидких продуктов, столовую посуду и кухонную утварь, контейнеры для микроволновки, а плёнкой на основе эпоксидной смолы покрывают дно консервных банок. Полимеры из БФА имеют и многочисленное непивное применение – краски, медицинские приборы, различные покрытия, чернила для печати, огнеупорные материалы, детские игрушки, термобумага для чеков и др. [1], [2], [3].

БФА был впервые синтезирован русским химиком Александром Дианиным в 1891 г. [4], а промышленное его производство началось в 1957 году [5]. Глобальный объём потребления БФА неуклонно увеличивается, в 2015 году он достиг 7,69 млн тонн., а в 2023 году, по оценкам, составил 10.2 млн тонн [6], [7]. Особенно активный рост использования БФА отмечен в Китае, Индии, России и Мексике [7]. Вещество относится к ксенобиотикам, производимым человеком в наибольших объёмах [8].

Активное производство и использование БФА делают неизбежным его попадание в окружающую среду.

Попадание БФА в окружающую среду и пищевую продукцию

Основными источниками попадания БФА в окружающую среду являются стоки предприятий, где производят сам мономер и материалы на его основе, бытовые сточные воды и свалки мусора. В окружающей среде пластик деградирует с высвобождением свободного БФА [5]. В морскую воду БФА попадает из пластика в океанах, накапливаясь в водных организмах [9].

БФА не относится к соединениям, стойким в окружающей среде. Он подвержен быстрой фотодеградаци (в течение менее 7 ч), обладает низкой летучестью, и низкой способностью к переносу на большие расстояния [5]. Соответственно, наиболее загрязнены им места вблизи источников эмиссии. Тем не менее, в небольших концентрациях его находят в воде, почве, донных осадках, воздухе и живых организмах в различных частях света, поэтому в целом он может быть признан повсеместным загрязнителем [5], [10]. БФА обнаруживается в моче 95% взрослых и детей, и в тканях плода в той же концентрации, что и в крови матери [8].

Учитывая распространение содержащих БФА материалов в быту и загрязнение им окружающей среды, попадание в пищевую продукцию может происходить на всех этапах её производства, при этом пути попадания БФА в пищевую продукцию изучены недостаточно [3], [4], [11].

Наиболее значимым источником контаминации являются, по всей видимости, контактирующие с пищей материалы, из которых мигрирует как непрореагировавший остаточный мономер, так и высвобожденный при деградации материала [3], [4], [5], [11]. На миграцию БФА из упаковки критическое влияние оказывают ряд факторов. Нагревание и щелочная среда, солнечный свет, щелочные детергенты, жёсткая вода для мытья, а также повторное использование увеличивают миграцию БФА из пластиковых контейнеров для хранения и разогрева пищи [12].

Содержание БФА в консервированной продукции в среднем выше, чем в неконсервированной, в первую очередь из-за интенсивной миграции БФА из выстилающего внутреннюю поверхность консервных банок покрытия из эпоксидной смолы, на величину миграции влияет состав и толщина покрытия, время и температура хранения консервов, содержание жира, объём воздуха в банке, наличие нитратов и окислителей, температура обработки консервов [3], [4], [13].

Пища является основным путём воздействия БФА на человека [7], а на ингаляционный и дермальный пути приходится не более 5% [1]. В этой связи ряд стран ввёл ограничения на использование БФА в упаковке для пищевой продукции.

Ограничительные меры по использованию БФА

В связи с потенциальным вредом для здоровья человека ряд стран ограничивает использование БФА в производстве материалов, контактирующих с пищей, в том числе путём замены его на другие бисфенолы, производя продукцию с маркировкой «BPA-free» (не содержит БФА) [4].

С 2011 г. БФА был запрещён к использованию при производстве бутылочек для грудных младенцев на территории Европейского Союза [14], а некоторые члены ЕС запретили его в любой таре пищевой для детей до 3-х лет [6]. Во Франции с 2012 г. полностью остановлено применение и импорт содержащих БФА материалов, контактирующих с продуктами питания [15]. В 2024 году Европейская комиссия опубликовала проект директивы о полном запрете использования БФА в контактирующих с пищей материалах [16]. В США БФА с 2013 г. запрещён и в бутылочках, и другой таре для детских смесей [6], аналогичный запрет с 2011 г. действует и в Китае [17].

В ряде стран для БФА установлено предельно допустимое количество его миграции БФА из тары в пищевую продукцию. В ЕС оно составляет 0.05 мг/кг [14], в Китае – 0,6 мг/кг, во Франции – на уровне «ниже предела определения метода» [6], в нашей стране – 0,01 мг/л [18]. Показатель миграции определяется с использованием специальных сред, имитирующих продукты питания [19].

Установление допустимых уровней и другие ограничения устанавливаются на основе данных о вреде БФА для здоровья человека от попадания загрязнителя в организм.

Вред для здоровья

БФА относится к группе веществ, нарушающих работу эндокринной системы [20], в зарубежной литературе для них принят термин «endocrine disruptors» (англ. вещества, нарушающие работу эндокринной системы) [21]. БФА связывается с рецепторами тиреоидных гормонов, эстрогеновыми, андрогеновыми и рядом других клеточных рецепторов, влияя на их сигнальные пути [22].

После попадания внутрь организма человека и животных БФА быстро преобразуется в несколько неактивных метаболитов, таких как его глюкуронид и сульфат. Свободный БФА выводится в основном через кишечник, а его метаболиты с мочой [23]. Метаболизм БФА в организме человека, обезьян и мышей очень схож [8]. Токсичность БФА изучается активно, всего этому вопросу посвящено более 1600 исследований, большинство проведены в Китае и США [4]. У сотрудников, которые подвергались воздействию очень высоких доз БФА на производстве, были выявлены гормональные и репродуктивные нарушения [8].

В описании токсических свойств БФА мы будем ориентироваться в первую на отчёт Европейского управления по безопасности продуктов питания (European Food Safety Authority, EFSA) [2], поскольку, на наш взгляд, в нём представлены наиболее полные и детальные сведения от одной из наиболее авторитетных в мире организаций по вопросам пищевой безопасности.

БФА обладает низкой острой токсичностью для млекопитающих при пероральном введении [2], [8]. Генотоксические свойства были выявлены *in vitro*, но не *in vivo*. По заключению EFSA, опыты на грызунах не выявили влияния БФА на развитие опухолей [2], ряд других исследователей разделяет мнение об отсутствии доказательств связи БФА с онкологическими заболеваниями и у животных, и у человека [24]. Международное агентство по изучению рака не проводило оценку канцерогенных свойств БФА [25].

Опыты на животных показали отрицательное влияние БФА на репродуктивную систему, обусловленное взаимодействием с эстрогеновыми и андрогеновыми рецепторами и ингибированием метилирования ДНК [2], [23], на внутриутробное развитие плода, на печень и почки по механизму окислительного стресса, нервную систему, включая её развитие у плода, на поведение, а также метаболизм (содержание мочевой кислоты). Однако, самой чувствительной к воздействию БФА оказалась иммунная система. Опыты на мышах показали эффект в отношении клеток Т-хелперов 17 (Th17) – важнейших участников борьбы с внеклеточными паразитами, Th17 играют важную роль в развитии воспалений, включая аутоиммунные заболевания и воспаление лёгких [2].

EFSA не указывает, что какие-либо вредные эффекты БФА были выявлены в опытах на людях. Другие исследователи ссылаются на эпидемиологические данные, которые позволяют предполагать, что БФА может вносить вклад в развитие заболеваний у человека, например, в развитие дефицита внимания, аутизма, депрессии и других нарушений психики у детей [26], диабета и ожирения [27], женского бесплодия [28], повторных выкидышей [29], снижает подвижность сперматозоидов и качество спермы у мужчин [7], в особенности при производственном контакте. При этом отмечается, что чёткие и однозначные выводы сделать всё-таки не позволяют [7], и для решения вопроса о влиянии БФА на здоровье человека необходимы двойные слепые плацебо-контролируемые исследования [28]. При разработке мер по минимизации загрязнения, контролируемые органы используют в первую очередь данные специально установленной для этого процедуры – оценки риска, которая позволяет рассчитать переносимую дозу вещества.

Оценки риска БФА в пищевой продукции

В 2015 году Европейское агентство по безопасности продуктов питания (European Food Safety Authority, EFSA) выпустило оценку риска с выводом, что БФА не представляет риска для здоровья европейского потребителя, поскольку переносимая суточная доза в 4 мкг/кг веса в день при воздействии БФА из пищевой продукции и других источников для европейского населения не превышает [3].

В 2023 году EFSA опубликовало повторную оценку риска [2], в которой была предложена новая переносимая суточная доза в 0,2 нг/кг веса в день (в 20000 раз ниже предыдущей!) на основании воздействия на Th17 клетки мышей. Было показано, что все возрастные группы населения подвергаются воздействию БФА в дозах, на два или три порядка превышающих переносимую, что говорит о наличии риска развития воспалений и аллергических реакций [2].

Однако, некоторые исследователи критикуют пересмотр EFSA переносимой дозы 2015 года (4 мкг/кг веса в день), указывая, что новое значение в 0,2 нг/кг веса было установлено по результатам малого количества не обладающих достаточным качеством исследований только на мышах, также не предоставлено сведений о том, влияние на Т-хелперы может привести в каком-либо патологическом процессам, отсутствуют данные о корреляции между воздействием БФА и воспалениями и аллергиями у людей [1], [30].

В 2008 году Управление по безопасности продуктов питания и лекарственных средств США (Food and Drug Administration, FDA) провело оценку риска, по результатам которой установило, что Бисфенол А в продуктах питания не представляет риск для здоровья человека. В последующие годы FDA рассмотрело свежие данные, но мнения не изменило. Ограничения использованию БФА были приняты в связи с поступившими от общественности петициями. После последней оценки риска EFSA 2023 года появились призывы установить предельное значение миграции, как в ЕС [31], [32].

В России ещё в советское время было проведено исследование токсичности БФА и дано научное обоснование его ПДК в воде. Максимальная недействующая доза хронического эксперимента установлена на уровне 25 мкг/кг веса в день [33].

Ограничительные меры, обусловленные вредом БФА для здоровья, требуют контроля его содержания в продуктах питания, для чего была создана необходимая методологическая база.

Методы определения БФА в пищевой продукции

Описанная в литературе методология аналитического определения БФА в пищевой продукции отличается значительным разнообразием. Процедура может включать следующие этапы: пробоподготовка (экстракция и очистка) и собственно аналитическое определение. Для жидких видов продукции, таких как, напитки, супы, соусы, молоко, имитационные среды пробоподготовка проще и включает в себя фильтрацию, центрифугирование и осаждение белков [34]. Для твёрдых образцов (мясо, рыба, овощи, фрукты, детское питание и т.д.) необходима гомогенизация, лиофильная сушка, для сложных матриц (мясные продукты), может потребоваться удаление белков и жиров [35]. Для жидких матриц проводится жидкостно-жидкостная экстракция, твердофазная экстракция и микроэкстракция, сорбционная экстракция с магнитной мешалкой, для твёрдых – жидкостная экстракция, микроволновая экстракция, жидкостная экстракция под давлением, матричное твердофазное диспергирование [36], [37]. В очистке экстрактов предложены подходы на основе твердофазной экстракции и жидкостно-жидкостной экстракции. Для непосредственно анализа в литературе описаны методики как на основе газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием, так и жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим, флуоресцентным, диодно-матричным и электрохимическим детектированием. Также предложены иммунохимические методы и поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия [34], [36], [37]. Чаще всего для определения содержания БФА в пищевой продукции используют методы на основе ВЭЖХ с масс-спектрометрическим или флуоресцентным детектированием [1], [35].

В нашей стране был разработан метод определения содержания БФА в консервированных пищевых продуктах, воде, напитках и морепродуктах на основе экстракции ацетонитрилом, дисперсионной жидкостно-жидкостной микроэкстракции тетрахлорметаном и газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием [38], [39]. Однако, государственная аттестация данной методики проведена не была. В Федеральном реестре аттестованных методик (методов) измерений (ФГИС «Аршин» [40]) методики для анализа БФА в продуктах питания пока отсутствуют.

Разработанные в разных странах методы были применены в ряде исследований реальных образцов, позволивших оценить уровни загрязнения БФА различных видов как консервированной, так и неконсервированной продукции.

Содержание БФА в продуктах питания

В таблице 1 приведены значения содержания БФА в некоторых видах консервированной и неконсервированной продукции из разных стран.

Таблица 1 - Содержание БФА в пищевой продукции

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.52.2.1>

| Страна | Вид продукции | Среднее значение/диапазон концентраций, мкг/кг |
|--|--|--|
| Консервированная продукция | | |
| Евросоюз (EFSA) | Консервированные овощи и грибы | 23,5 (0-116,3) [3] |
| | Консервированные бобовые, орехи и маслосемена | 34,6 (0-137,0) [3] |
| | Консервированные фрукты | 13,4 (0-107,0) [3] |
| | Консервированная мясная продукция | 31,5 (0-203,0) [3] |
| | Консервированная рыбная продукция | 37,0 (0-169,3) [3] |
| | Консервированная молочная продукция | 4,9 (0-15,2) [3] |
| Южная Корея | Консервированное мясо, ветчина, рыба, овощи и фрукты | 1,41–278,50 [41] |
| Китай | Консервированное мясо, морепродукты, грибы, фрукты и овощи | 0,3–837 [42] |
| Канада | Консервированная рыба | 28,0 [1,0-265,0] [43] |
| Россия | Консервированные овощи (кукуруза, горошек, фасоль) | 0-770 [38] |
| Россия | Консервированное мясо, горошек | 19,4-42,9 [44] |
| Различные виды неконсервированной продукции | | |
| Франция | Говяжьи стейки | 3,40 (0,11–26,91) [45] |
| | Свинина | 16,95 (4,09–40,09) [45] |
| | Баранина | 7,76 (1,71–22,74) [45] |

| Страна | Вид продукции | Среднее значение/диапазон концентраций, мкг/кг |
|---|-----------------------------|--|
| | Телятина | 34,41 (3,68–223,52) [45] |
| ЕС (EFSA) | Рыбная и рыбная продукция | 8,5 (0-11,2) [3] |
| | Мясо и мясная продукция | 9,5 (0-394,8) [3] |
| | Молоко и молочная продукция | 0,3 (0-6,1) [3] |
| | Яйца и яичная продукция | 0,9 (0-4,5) [3] |
| | Злаки | 1 (0-11,9) [3] |
| | Овощи | 1,2 (0-5,3) [3] |
| | Фрукты и фруктовые соки | 0,3 (0-6,0) [3] |
| Бразилия | Молоко | 0,12-0,36 [46] |
| Китай | Молоко | 0 -10,8 [47] |
| Иран | Молоко | 0,47 - 1,01 [48] |
| Некоторые употребляемые в пищу рыбах и водных беспозвоночных | | |
| Греция | Мидия средиземноморская | 453,6 (342,8-611,9) [51] |
| Польша-Россия (Балтийское море) | Треска | 236,3 (25,4-798,4) [52] |
| Польша-Россия (Балтийское море) | Сельдь | 98,6 [52] |
| Польша-Россия (Балтийское море) | Камбала | 430 (98,3-755,7) [52] |
| Польша-Россия (Балтийское море) | Мидии | 43,3 (6,8-197,2) [52] |
| Франция | Лещ | 19,8 [53] |
| Испания | Карп | 37,3 (0-223,9) [54] |
| Китай (о. Тайвань) | Тилапия | 33,6 (0,1-102,1) [55] |
| Китай (Материковый) | Карп | 23,5 [56] |
| Иран | Карп | 1,6 (1,3-1,8) [57] |

Как следует из таблицы, в неконсервированной продукции содержание БФА ниже, чем в консервированной в несколько раз.

Интересно, что французские исследователи в работе [11] не обнаружили в мясе и мясной продукции глюкуроидных метаболитов БФА, только его свободную форму. Ирландские учёные полагают, что метаболиты не были обнаружены в образцах пищевой продукции, поскольку они нестабильны и быстро переходят обратно в родительское соединения [35]. При этом они ссылаются на исследование, проведенное на крысах, показавшее, что в гомогенатах плаценты и тканей плода метаболиты стабильны только в течение 24 ч [49]. Нами не было обнаружено исследований о стабильности метаболитов БФА в продукции животноводства.

Ни EFSA, ни французские исследователи не делают вывода о том, как бисфенол А попадает в мясо: после смерти животного в результате контакта мяса с выделяющими загрязнитель материалами или прижизненно через корм, воду и т.д. [3], [11].

В уже упомянутом выше исследовании [11] был проведён анализ БФА в продукции, продаваемой в упаковке и на развес. Среднее содержание БФА в упакованном и на развес мясе и рыбе отличалось несущественно, а в птице, печени и мясных деликатесах на развес содержание БФА оказалось выше, чем в упакованном. Авторы делают вывод, что миграция из упаковки может быть далеко не основной причиной загрязнения продукции. Среди других путей загрязнения авторы указывают разделочные доски, плёнку для заворачивания мяса, косметику с рук работниц [11].

Аналогичная ситуация и с молочной продукцией. Итальянские исследователи показали, что в упакованном молоке содержание БФА оказалось ниже, чем в исходном сырье. Авторы полагают, что причина загрязнения – корм и объекты окружающей среды [50]. Возможно, отличие связано с липофильными свойствами БФА и меньшим содержанием жира в молоке из упаковки [1]. В другом исследовании в молоке из стальных цистерн с резиновыми прокладками БФА оказалось больше, чем в сыром [50].

В таблице 1 также приведены сведения о содержании БФА в некоторой употребляемой в пищу рыбе и водных беспозвоночных. В рыбе и водных беспозвоночных БФА может накапливаться в относительно больших количествах. В целом, в морской рыбе БФА выявляется в более высоких, чем в пресноводной, концентрациях [9].

В ряде исследований показан потенциал БФА к биомагнификации, т.е. увеличению содержания по мере продвижения вверх по пищевой цепи [5], [58]. Другие источники говорят о наиболее высоких его концентрациях на низких трофических уровнях, в особенности в организмах, контактирующих с ресуспендированными осадками, т.е. в фильтраторах [52]. Важным источников БФА в организме водных животных также являются поглощаемые ими частицы микропластика [58], [59].

Нами не было обнаружено результатов проведённых в нашей стране систематических исследований содержания БФА в продуктах питания. Данные по некоторым видам консервированной продукции пока получены всего на нескольких образцах [38], [44].

Заключение

БФА относится к широко используемым в промышленности мономерам при производстве пластика. До последнего времени в аспекте пищевой безопасности он считался представляющим относительно небольшой риск для здоровья. Однако результаты оценки риска EFSA 2023 года снизили переносимую дозу в 20000 раз до 0,2 нг/кг веса в день по сравнению с оценкой 2015 года. По данным 2015 года для европейского населения доза, воздействующая на население доза (по самым оптимистичным сценариям) составила более 100 нг/кг веса в день [3], т.е. превышала переносимую в более, чем в 500 раз. Простой расчёт показывает, что потребление в сутки более 200 г пищи, содержащей более 0,6 мкг/кг БФА (при модельном весе человека, используемом в расчётах ВОЗ – 60 кг [60]) переносимая доза может быть превышена. Сравнение данного значения со средними концентрациями БФА в пищевой продукции показывает, что она может быть ниже только для потребляемого молока и молочной продукции (неконсервированных). При этом люди подвергаются воздействию БФА не только из пищи, но и из воды, воздуха, и через кожу при контакте с содержащими мономер материалами [3], [5].

Даже несмотря на критику снижения EFSA переносимой дозы, выводы последней оценки риска привели к планируемому запрету в ЕС использования БФА для производства материалов, контактирующих с пищевой продукцией [16]. В мире ЕС рассматривается как локомотив мер в области обеспечения пищевой безопасности, вероятно, его примеру запрета БФА последуют и другие страны. При этом данные убедительно показывают, что помимо упаковки контаминация сырья также вносит существенный вклад в загрязнение пищевой продукции (например, в случае морской рыбы). До сих пор нигде в мире не установлены допустимые уровни содержания БФА в продовольственном сырье, для их появления в будущем необходим в первую очередь мониторинг его содержания.

В нашей стране растут объёмы применения БФА [7], законодательные ограничительные меры по его использованию пока не приняты. В настоящее время отсутствуют официально утверждённые аттестованные методики определения содержания БФА в пищевой продукции, нами не было обнаружено данных каких-либо систематических исследований.

В этой связи актуальными являются разработка и государственная аттестация методик анализа и реализация целевых мониторинговых программ, которые могли бы стать основой для проведения собственной оценки риска и разработки мер контроля для БФА, а также дальнейшее изучение путей загрязнения пищевой продукции.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Ghahremani M.H. Bisphenol A in dairy products, amount, potential risks, and the various analytical methods: a systematic review / M.H. Ghahremani, M. Ghazi-Khansari, Z. Farsi [et al.] // Food Chem X. — 2024. — Vol. 21. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101142.
2. Scientific opinion on the re-evaluation of the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs // EFSA Journal. — 2023. — Vol. 21. — № 4. — 392 p. DOI: 10.2903/j.efsa.2023.6857.
3. Scientific opinion on the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs: Executive summary // EFSA Journal. — 2015. — Vol. 13. — № 1. — 23 p. DOI: 10.2903/j.efsa.2015.3978.
4. Ni M. Bibliometric analysis of the toxicity of bisphenol A / M. Ni, X. Li, L. Zhang [et al.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. — 2022. — Vol. 19. — № 13. DOI: 10.3390/ijerph19137886.
5. Corrales J. Global assessment of bisphenol A in the environment: Review and analysis of its occurrence and bioaccumulation / J. Corrales, L.A. Kristofco, W.B. Steele [et al.] // Dose-Response. — 2015. — Vol. 13. — № 3. DOI: 10.1177/1559325815598308.
6. Manzoor M.F. An insight into bisphenol A, food exposure and its adverse effects on health: A review / M.F. Manzoor, T. Tariq, B. Fatima [et al.] // Frontiers in Nutrition. — 2022. — Vol. 9. DOI: 10.3389/fnut.2022.1047827.
7. Abraham A. A review on sources and health impacts of bisphenol A / A. Abraham, P. Chakraborty // Reviews on Environmental Health. — 2020. — Vol. 35. — P. 201–210. DOI: 10.1515/revh-2019-0034.
8. Жолдакова З.И. Современное состояние вопроса о токсичности бисфенола А при воздействии в дозах, близких к признанным безопасными / З.И. Жолдакова, О.О. Сеницына, Н.В. Харчевникова // Токсикологический вестник. — 2012. — № 4(115). — С. 19–25.
9. Repossi A. Bisphenol A in edible part of seafood / A. Repossi, F. Farabegoli, T. Gazzotti [et al.] // Italian Journal of Food Safety. — 2016. — Vol. 5. — № 2. DOI: 10.4081/ijfs.2016.5666.
10. Czarny-Krzywińska K. Bisphenol A and its substitutes in the aquatic environment: Occurrence and toxicity assessment / K. Czarny-Krzywińska, B. Krawczyk, D. Szczukocki // Chemosphere. — 2023. — Vol. 315. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.137763.

11. Gorecki S. EDEN mother-child cohort study group. Human health risks related to the consumption of foodstuffs of animal origin contaminated by bisphenol A / S. Gorecki, N. Bemrah, A.C. Roudot [et al.] // *Food Chemistry and Toxicology*. — 2017. — Vol. 110. — P. 333–339. DOI: 10.1016/j.fct.2017.10.045.
12. Khalili Sadrabad E. Bisphenol A release from food and beverage containers: A review / E. Khalili Sadrabad, S.A. Hashemi, A. Nadjarzadeh [et al.] // *Food Science & Nutrition*. — 2023. — Vol. 11. — № 7. — P. 3718–3728. DOI: 10.1002/fsn3.3398.
13. El Moussawi S.N. Simultaneous migration of bisphenol compounds and trace metals in canned vegetable food / S.N. El Moussawi, R. Ouaini, J. Matta [et al.] // *Food Chemistry*. — 2019. — Vol. 288. — P. 228–238. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.122228.
14. No 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food Text with EEA relevance // Commission Regulation (EU). — URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32011R0010> (accessed: 26.08.2024).
15. French Law Banning Bisphenol A in Food Containers Enacted // USDA Foreign Agriculture Service. — URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=French%20Law%20Banning%20Bisphenol%20A%20in%20Food%20Containers%20Enacted_Paris_France_2-5-2013.pdf (accessed: 26.08.2024).
16. Food safety — restrictions on bisphenol A (BPA) and other bisphenols in food contact materials // European Commission. — URL: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13832-Food-safety-restrictions-on-bisphenol-A-BPA-and-other-bisphenols-in-food-contact-materials_en (accessed: 26.08.2024).
17. China bans BPA in infant feeding bottles // SGS Consumer Testing Services. — URL: <https://newsletter.sgs.com/eNewsletterPro/uploadedimages/000006/SGS-Safeguards-10311-China-bans-BPA-in-infant-feeding-bottles-A4-EN-11.pdf> (accessed: 26.08.2024).
18. ГН 2.3.3.972-00. 2.3.3. Гигиена питания. Тара, посуда, упаковка, оборудование и другие виды продукции, контактирующие с пищевыми продуктами. Предельно допустимые количества химических веществ, выделяющихся из материалов, контактирующих с пищевыми продуктами. Гигиенические нормативы"; утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 29.04.2000. — 2001. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_101580/64d3f281b96e7db77df718e4db0d2091afc39c80/ (дата обращения: 26.08.2024).
19. Simoneau C. Practical guidelines on the application of migration modelling for the estimation of specific migration / C. Simoneau, E.J. Hoekstra, R. Brandsch [et al.] // *EUR 27529 EN*. — 2020. DOI: 10.2788/04517.
20. Салтанова И.В. Эндокринные дисрапторы – химические вещества, нарушающие функции эндокринной системы: рассказ о бисфеноле А / И.В. Салтанова, Е.А. Пигарова // *Ожирение и метаболизм*. — 2013. — Т. 10, № 3. — С. 55–57.
21. Endocrine Disruptors // National Institutes of Health (NIH). — URL: <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/endocrine> (accessed: 26.08.2024).
22. Дергачева Н.И. Бисфенол А и болезни человека. Механизмы действия / Н.И. Дергачева, Е.Л. Паткин, И.О. Сучкова [и др.] // *Экологическая генетика*. — 2019. — № 3. — С. 88–98. DOI: 10.17816/ecogen17387-98.
23. Ганичев П.А. Влияние бисфенола А на здоровье населения. Краткий литературный обзор / П.А. Ганичев, О.Л. Маркова, Г.Б. Еремин [и др.] // *Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения*. — 2020. — № 1. — С. 239–248.
24. Prueitt R.L. Evidence evaluated by the European Food Safety Authority does not support lowering the temporary tolerable daily intake for bisphenol A / R.L. Prueitt, J.E. Goodman // *Toxicological Sciences*. — 2024. — Vol. 198, № 2. — P. 185–190. DOI: 10.1093/toxsci/kfad136.
25. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. — URL: <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications/> (accessed: 28.06.2024).
26. Costa H.E. Effect of bisphenol A on the neurological system: a review update / H.E. Costa, E. Cairrao // *Archives of Toxicology*. — 2024. — Vol. 98, № 1. — P. 1–73. DOI: 10.1007/s00204-023-03614-0.
27. Pérez-Bermejo M. The role of bisphenol A in diabetes and obesity / M. Pérez-Bermejo, I. Mas-Pérez, M.T. Murillo-Llorente // *Biomedicines*. — 2021. — Vol. 9, № 6. DOI: 10.3390/biomedicines9060666.
28. Silva A.B.P. The role of endocrine disruptors in female infertility / A.B.P. Silva, F. Carreiró, F. Ramos [et al.] // *Molecular Biology Reports*. — 2023. — Vol. 50, № 8. — P. 7069–7088. DOI: 10.1007/s11033-023-08583-2.
29. Agarwal A. Food contamination from packaging material with special focus on Bisphenol A / A. Agarwal, S. Gandhi, A.D. Tripathi [et al.] // *Critical Reviews in Biotechnology*. — 2024. — P. 1–11. DOI: 10.1080/07388551.2024.2344571.
30. Kimber I. TH17 cells, and allergy: a commentary / I. Kimber, N. Woeffen, K. Sondenheimer // *Journal of Immunotoxicology*. — 2022. — Vol. 19, № 1. — P. 93–99. DOI: 10.1080/1547691X.2022.2113842.
31. Food and Drug Administration. Bisphenol A (BPA). — URL: <https://www.fda.gov/food/food-packaging-other-substances-come-contact-food-information-consumers/bisphenol-bpa> (accessed: 28.06.2024).
32. US FDA urged to limit bisphenol A in food packaging again. — URL: <https://cen.acs.org/safety/consumer-safety/US-FDA-urged-limit-bisphenol-A-in-food-packaging-again/100/web/2022/01> (accessed: 28.06.2024).
33. Федянина В.Н. Экспериментальные санитарно-токсикологические исследования дифенилолпропана в связи с нормированием его в водоемах / В.Н. Федянина // *Гигиена и сан.* — 1968. — № 7. — С. 25–30.
34. Voutsas D. Analytical methods for determination of bisphenol A / D. Voutsas // In: *Topics in Analytical Chemistry*. — 2014. — DOI: 10.1007/978-3-642-29687-1_2.
35. Siddique M.A.B. Bisphenol A and metabolites in meat and meat products: Occurrence, toxicity, and recent development in analytical methods / M.A.B. Siddique, S.M. Harrison, F.J. Monahan [et al.] // *Foods*. — 2021. — Vol. 10, № 4. — P. 714. DOI: 10.3390/foods10040714.

36. Sarkis N. A new analytical method for determination of bisphenol A in canned meat / N. Sarkis, J. Shaghel // *Research Square*. — 2022. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1485337/v1.
37. Shahvandi S. Development of a new method for determination of bisphenol A based on stirrer-assisted switchable hydrophilic solvent-based liquid phase microextraction coupled with electrochemical sensor / S. Shahvandi, M. Ghaedi, H. Ahmar [et al.] // *Food Control*. — 2023. — Vol. 158. — Article 110213. DOI: 10.1016/j.foodcont.2023.110213.
38. Королёв Д.С. Сочетание пробоподготовки QuEChERS и дисперсионной жидкостно-жидкостной микроэкстракции при определении в пищевых продуктах загрязнителей эстрогенного характера методом газожидкостной хроматографии / Д.С. Королёв, В.Г. Амелин, А.В. Третьяков // *Вестник Московского университета. Серия 2. Химия*. — 2013. — № 5. — С. 267–277.
39. Королёв Д.С. Газожидкостная хроматография и дисперсионная жидкостно-жидкостная микроэкстракция при определении бисфенола А и диэтилстильбэстрола в воде и напитках / Д.С. Королёв, В.Г. Амелин, А.В. Третьяков // *Сорбционные и хроматографические процессы*. — 2019. — Т. 13, № 3. — С. 267–272.
40. *Федеральный реестр аттестованных методик (методов) измерений*. — Москва : Федеральная служба по аккредитации, 2023. — URL: <https://www.fsa.gov.ru> (дата обращения: 28.06.2024).
41. Choi S.J. Concentrations of bisphenols in canned foods and their risk assessment in Korea / S.J. Choi, E.S. Yun, J.M. Shin [et al.] // *Journal of Food Protection*. — 2018. — Vol. 81. — P. 903–916. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-17-569.
42. Cao P. Exposure to bisphenol A and its substitutes, bisphenol F and bisphenol S from canned foods and beverages on the Chinese market / P. Cao, H.N. Zhong, K. Qiu [et al.] // *Food Control*. — 2021. — Vol. 120. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107502.
43. Cao X.L. Bisphenol A and three other bisphenol analogues in canned fish products from the Canadian market 2014 / X.L. Cao, S. Popovic // *Journal of Food Protection*. — 2015. — Vol. 78. — P. 1402–1407. DOI: [dx.doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-055](https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-055).
44. Sergeev O. Bisphenol A in Russian foods / O. Sergeev, D. Feshin, A. Shelepchikov [et al.]. — 2010. — URL: <https://slideplayer.com/slide/5776996/> (accessed: 26.08.2024).
45. Bemrah N. Assessment of dietary exposure to bisphenol A in the French population with a special focus on risk characterisation for pregnant French women / N. Bemrah, J. Jean, G. Rivière [et al.] // *Food Chemistry and Toxicology*. — 2014. — Vol. 72. — P. 90–97. DOI: 10.1016/j.fct.2014.06.018.
46. Souza P.S. Simplified QuEChERS technique followed by UHPLC-MS/MS analysis for the determination of bisphenol A in whole and powdered milk / P.S. Souza, T.M. Krauss, A.V. Sartori [et al.] // *International Food Research Journal*. — 2023. — Vol. 30, № 2. — P. 524–535. DOI: 10.47836/ifrj.30.2.21.
47. Liao C. A survey of bisphenol A and other bisphenol analogues in foodstuffs from nine cities in China / C. Liao, K. Kannan // *Food Additives & Contaminants: Part A*. — 2014. — Vol. 31, № 2. — P. 319–329. DOI: 10.1080/19440049.2013.868611.
48. Hadjmohammadi M.R. Determination of bisphenol A in Iranian packaged milk by solid-phase extraction and HPLC / M.R. Hadjmohammadi, I. Saeidi // *Monatshefte für Chemie*. — 2010. — Vol. 141, № 5. — P. 501–506. DOI: 10.1007/s00706-010-0297-1.
49. Waechter J. Factors affecting the accuracy of bisphenol A and bisphenol A-monoglucuronide estimates in mammalian tissues and urine samples / J. Waechter, C. Thornton, D. Markham [et al.] // *Toxicology Mechanisms and Methods*. — 2007. — Vol. 17, № 1. — P. 13–24. DOI: 10.1080/15376510600803581.
50. Santonicola S. Study on endocrine disruptors levels in raw milk from cow's farms: Risk assessment / S. Santonicola, M.C. Ferrante, G.D. Leo [et al.] // *Italian Journal of Food Safety*. — 2018. — Vol. 7, № 3. — Art. 7668. DOI: 10.4081/ijfs.2018.7668.
51. Gatidou G. Bioconcentration of selected endocrine disrupting compounds in the Mediterranean mussel, *Mytilus galloprovincialis* / G. Gatidou, E. Vassalou, N.S. Thomaidis // *Marine Pollution Bulletin*. — 2010. — Vol. 60. — P. 2111–2116. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.07.003.
52. Staniszewska M. Bisphenol A, 4-tert-Octylphenol, and 4-Nonylphenol in the Gulf of Gdansk (Southern Baltic) / M. Staniszewska, L. Falkowska, P. Grabowski [et al.] // *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. — 2014. — Vol. 67. — P. 335–347. DOI: 10.1007/s00244-014-0023-9.
53. Miege C. Occurrence of priority and emerging organic compounds in fishes from the Rhône River (France) / C. Miege, A. Peretti, P. Labadie [et al.] // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. — 2012. — Vol. 404. — P. 2721–2735. DOI: 10.1007/s00216-012-6187-0.
54. Jakimska A. Development of a liquid chromatography-tandem mass spectrometry procedure for determination of endocrine disrupting compounds in fish from Mediterranean rivers / A. Jakimska, B. Huerta, Z. Bargańska [et al.] // *Journal of Chromatography A*. — 2013. — Vol. 1306. — P. 44–58. DOI: 10.1016/j.chroma.2013.07.050.
55. Chen W.L. Distribution of feminizing compounds in the aquatic environment and bioaccumulation in wild tilapia tissues / W.L. Chen, J.C. Gwo, G.S. Wang [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. — 2014. — Vol. 21. — P. 11349–11360. DOI: 10.1007/s11356-014-3062-x.
56. Zheng B. Phenolic endocrine-disrupting chemicals and intersex in wild crucian carp from hun River, China / B. Zheng, R. Liu, Y. Liu [et al.] // *Chemosphere*. — 2015. — Vol. 120. — P. 743–749. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.10.049.
57. Mortazavi S. Occurrence of endocrine disrupting chemicals (bisphenol A, 4-nonylphenol, and octylphenol) in muscle and liver of *Cyprinus carpio* from Anzali Wetland, Iran / S. Mortazavi, A.R. Bakhtiari, A.E. Sari [et al.] // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. — 2013. — Vol. 90. — P. 578–584. DOI: 10.1007/s00128-013-0964-0.
58. Akhbarizadeh R. Occurrence, trophic transfer, and health risk assessment of bisphenol analogues in seafood from the Persian Gulf / R. Akhbarizadeh, F. Moore, C. Monteiro [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. — 2020. — Vol. 154. — Art. 111036. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111036.

59. Alberghini L. Microplastics in fish and fishery products and risks for human health: A review / L. Alberghini, A. Truant, S. Santonicola [et al.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. — 2022. — Vol. 20, № 1. — Article 789. — DOI: 10.3390/ijerph200100789.
60. Guidance document for WHO monographers and reviewers evaluating veterinary drug residues in food. Version 1.0 // Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). — URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/246173/9789241511155-eng.pdf?sequence=1> (accessed: 28.06.2024).

Список литературы на английском языке / References in English

- Ghahremani M.H. Bisphenol A in dairy products, amount, potential risks, and the various analytical methods: a systematic review / M.H. Ghahremani, M. Ghazi-Khansari, Z. Farsi [et al.] // *Food Chem X*. — 2024. — Vol. 21. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101142.
- Scientific opinion on the re-evaluation of the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs // *EFSA Journal*. — 2023. — Vol. 21. — № 4. — 392 p. DOI: 10.2903/j.efsa.2023.6857.
- Scientific opinion on the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs: Executive summary // *EFSA Journal*. — 2015. — Vol. 13. — № 1. — 23 p. DOI: 10.2903/j.efsa.2015.3978.
- Ni M. Bibliometric analysis of the toxicity of bisphenol A / M. Ni, X. Li, L. Zhang [et al.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. — 2022. — Vol. 19. — № 13. DOI: 10.3390/ijerph19137886.
- Corrales J. Global assessment of bisphenol A in the environment: Review and analysis of its occurrence and bioaccumulation / J. Corrales, L.A. Kristofco, W.B. Steele [et al.] // *Dose-Response*. — 2015. — Vol. 13. — № 3. DOI: 10.1177/1559325815598308.
- Manzoor M.F. An insight into bisphenol A, food exposure and its adverse effects on health: A review / M.F. Manzoor, T. Tariq, B. Fatima [et al.] // *Frontiers in Nutrition*. — 2022. — Vol. 9. DOI: 10.3389/fnut.2022.1047827.
- Abraham A. A review on sources and health impacts of bisphenol A / A. Abraham, P. Chakraborty // *Reviews on Environmental Health*. — 2020. — Vol. 35. — P. 201–210. DOI: 10.1515/reveh-2019-0034.
- Zholdakova Z.I. Sovremennoe sostoyanie voprosa o toksichnosti bisfenola A pri vozdeystvii v dozakh, blizkikh k priznannym bezopasnymi [The current state of the issue of bisphenol A toxicity at doses close to recognized safe levels] / Z.I. Zholdakova, O.O. Sinicyna, N.V. Kharchevnikova // *Toksikologicheskij vestnik [Toxicological Bulletin]*. — 2012. — № 4(115). — P. 19–25. [in Russian]
- Reposi A. Bisphenol A in edible part of seafood / A. Reposi, F. Farabegoli, T. Gazzotti [et al.] // *Italian Journal of Food Safety*. — 2016. — Vol. 5. — № 2. DOI: 10.4081/ijfs.2016.5666.
- Czarny-Krzymińska K. Bisphenol A and its substitutes in the aquatic environment: Occurrence and toxicity assessment / K. Czarny-Krzymińska, B. Krawczyk, D. Szczukocki // *Chemosphere*. — 2023. — Vol. 315. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.137763.
- Gorecki S. EDEN mother-child cohort study group. Human health risks related to the consumption of foodstuffs of animal origin contaminated by bisphenol A / S. Gorecki, N. Bemrah, A.C. Roudot [et al.] // *Food Chemistry and Toxicology*. — 2017. — Vol. 110. — P. 333–339. DOI: 10.1016/j.fct.2017.10.045.
- Khalili Sadrabad E. Bisphenol A release from food and beverage containers: A review / E. Khalili Sadrabad, S.A. Hashemi, A. Nadjarzadeh [et al.] // *Food Science & Nutrition*. — 2023. — Vol. 11. — № 7. — P. 3718–3728. DOI: 10.1002/fsn3.3398.
- El Moussawi S.N. Simultaneous migration of bisphenol compounds and trace metals in canned vegetable food / S.N. El Moussawi, R. Ouaini, J. Matta [et al.] // *Food Chemistry*. — 2019. — Vol. 288. — P. 228–238. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.122228.
- No 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food Text with EEA relevance // *Commission Regulation (EU)*. — URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32011R0010> (accessed: 26.08.2024).
- French Law Banning Bisphenol A in Food Containers Enacted // *USDA Foreign Agriculture Service*. — URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=French%20Law%20Banning%20Bisphenol%20A%20in%20Food%20Containers%20Enacted_Paris_France_2-5-2013.pdf (accessed: 26.08.2024).
- Food safety — restrictions on bisphenol A (BPA) and other bisphenols in food contact materials // *European Commission*. — URL: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13832-Food-safety-restrictions-on-bisphenol-A-BPA-and-other-bisphenols-in-food-contact-materials_en (accessed: 26.08.2024).
- China bans BPA in infant feeding bottles // *SGS Consumer Testing Services*. — URL: <https://newsletter.sgs.com/eNewsletterPro/uploadedimages/000006/SGS-Safeguards-10311-China-bans-BPA-in-infant-feeding-bottles-A4-EN-11.pdf> (accessed: 26.08.2024).
- GN 2.3.3.972-00. Gigena pitaniya. Tara, posuda, upakovka, oborudovanie i drugie vidy produkcii, kontaktiruyushchie s pishchevymi produktami. Predel'no dopustimye kolichestva khimicheskikh veshchestv, vydelyayushchikhsya iz materialov, kontaktiruyushchikh s pishchevymi produktami. Gigienicheskie normativy [Nutrition hygiene: Containers, utensils, packaging, equipment, and other product types in contact with food. Maximum allowable chemical substance levels released from materials contacting food]; app. by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on April 29, 2000. — 2001. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_101580/64d3f281b96e7db77df718e4db0d2091afc39c80/ (accessed: 26.08.2024). [in Russian]
- Simoneau C. Practical guidelines on the application of migration modelling for the estimation of specific migration / C. Simoneau, E.J. Hoekstra, R. Brandsch [et al.] // *EUR 27529 EN*. — 2020. DOI: 10.2788/04517.

20. Saltanova I.V. Endokrinnye disraptory — khimicheskie veshchestva, narushayushchie funktsii endokrinnoy sistemy: rasskaz o bisfenole A [Endocrine disruptors — chemical substances disrupting endocrine system functions: a story about bisphenol A] / I.V. Saltanova, E.A. Pigarova // *Ozhirenie i metabolizm [Obesity and Metabolism]*. — 2013. — Vol. 10, № 3. — P. 55–57. [in Russian]
21. Endocrine Disruptors // National Institutes of Health (NIH). — URL: <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/endocrine> (accessed: 26.08.2024).
22. Dergačeva N.I. Bisfenol A i bolezni cheloveka. Mexanizmy deystviya [Bisphenol A and Human Diseases. Mechanisms of Action] / N.I. Dergačeva, E.L. Patkin, I.O. Sučkova [et al.] // *Jekologicheskaja genetika [Ecological Genetics]*. — 2019. — № 3. — P. 88–98. DOI: 10.17816/ecogen17387-98. [in Russian]
23. Ganičev P.A. Vliyanie bisfenola A na zdorov'ye naseleniya. Kratkij literaturnyj obzor [The Effect of Bisphenol A on Public Health. A Brief Literature Review] / P.A. Ganičev, O.L. Markova, G.B. Eremin [et al.] // *Zdorov'e — osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ih reshenija [Health — The Foundation of Human Potential: Issues and Solutions]*. — 2020. — № 1. — P. 239–248. [in Russian]
24. Prueitt R.L. Evidence evaluated by the European Food Safety Authority does not support lowering the temporary tolerable daily intake for bisphenol A / R.L. Prueitt, J.E. Goodman // *Toxicological Sciences*. — 2024. — Vol. 198, № 2. — P. 185–190. DOI: 10.1093/toxsci/kfad136.
25. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. — URL: <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications/> (accessed: 28.06.2024).
26. Costa H.E. Effect of bisphenol A on the neurological system: a review update / H.E. Costa, E. Cairrao // *Archives of Toxicology*. — 2024. — Vol. 98, № 1. — P. 1–73. DOI: 10.1007/s00204-023-03614-0.
27. Pérez-Bermejo M. The role of bisphenol A in diabetes and obesity / M. Pérez-Bermejo, I. Mas-Pérez, M.T. Murillo-Llorente // *Biomedicines*. — 2021. — Vol. 9, № 6. DOI: 10.3390/biomedicines9060666.
28. Silva A.B.P. The role of endocrine disruptors in female infertility / A.B.P. Silva, F. Carreiró, F. Ramos [et al.] // *Molecular Biology Reports*. — 2023. — Vol. 50, № 8. — P. 7069–7088. DOI: 10.1007/s11033-023-08583-2.
29. Agarwal A. Food contamination from packaging material with special focus on Bisphenol A / A. Agarwal, S. Gandhi, A.D. Tripathi [et al.] // *Critical Reviews in Biotechnology*. — 2024. — P. 1–11. DOI: 10.1080/07388551.2024.2344571.
30. Kimber I. TH17 cells, and allergy: a commentary / I. Kimber, N. Woeffen, K. Sondenheimer // *Journal of Immunotoxicology*. — 2022. — Vol. 19, № 1. — P. 93–99. DOI: 10.1080/1547691X.2022.2113842.
31. Food and Drug Administration. Bisphenol A (BPA). — URL: <https://www.fda.gov/food/food-packaging-other-substances-come-contact-food-information-consumers/bisphenol-bpa> (accessed: 28.06.2024).
32. US FDA urged to limit bisphenol A in food packaging again. — URL: <https://cen.acs.org/safety/consumer-safety/US-FDA-urged-limit-bisphenol-A-in-food-packaging-again/100/web/2022/01> (accessed: 28.06.2024).
33. Fedyanina V.N. Eksperimental'nye sanitarno-toksikologicheskie issledovaniya difenilolpropana v svyazi s normirovaniem ego v vodoemakh [Experimental Sanitary-Toxicological Studies of Diphenylpropane in Relation to Its Regulation in Water Bodies] / V.N. Fedyanina // *Gigiena i san. [Hygiene and Sanitation]*. — 1968. — № 7. — P. 25–30. [in Russian]
34. Voutsas D. Analytical methods for determination of bisphenol A / D. Voutsas // In: *Topics in Analytical Chemistry*. — 2014. — DOI: 10.1007/978-3-642-29687-1_2.
35. Siddique M.A.B. Bisphenol A and metabolites in meat and meat products: Occurrence, toxicity, and recent development in analytical methods / M.A.B. Siddique, S.M. Harrison, F.J. Monahan [et al.] // *Foods*. — 2021. — Vol. 10, № 4. — P. 714. DOI: 10.3390/foods10040714.
36. Sarkis N. A new analytical method for determination of bisphenol A in canned meat / N. Sarkis, J. Shaghel // *Research Square*. — 2022. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1485337/v1.
37. Shahvandi S. Development of a new method for determination of bisphenol A based on stirrer-assisted switchable hydrophilic solvent-based liquid phase microextraction coupled with electrochemical sensor / S. Shahvandi, M. Ghaedi, H. Ahmar [et al.] // *Food Control*. — 2023. — Vol. 158. — Article 110213. DOI: 10.1016/j.foodcont.2023.110213.
38. Korolyov D.S. Sochetanie probopodgotovki QuEChERS i dispercionnoj zhidkostno-zhidkostnoj mikroekstrakcii pri opredelenii v pishchevykh produktakh zagryazniteley estrogenogo kharaktera metodom gazozhidkostnoj khromatografii [Combination of QuEChERS sample preparation and dispersive liquid-liquid microextraction for the determination of estrogenic contaminants in food products by gas-liquid chromatography] / D.S. Korolyov, V.G. Amelin, A.V. Tretyakov // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2. Himija [Moscow University Bulletin. Series 2. Chemistry]*. — 2013. — № 5. — P. 267–277. [in Russian]
39. Korolyov D.S. Sochetanie probopodgotovki QuEChERS i dispercionnoj zhidkostno-zhidkostnoj mikroekstrakcii pri opredelenii v pishchevykh produktakh zagryazniteley estrogenogo kharaktera metodom gazozhidkostnoj khromatografii [Combination of QuEChERS sample preparation and dispersive liquid-liquid microextraction for the determination of estrogenic contaminants in food products by gas-liquid chromatography] / D.S. Korolyov, V.G. Amelin, A.V. Tretyakov // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2. Himija [Moscow University Bulletin. Series 2. Chemistry]*. — 2013. — № 5. — P. 267–277. [in Russian]
40. Federal'nyj reestr attestovannyh metodik (metodov) izmerenij [Federal Register of Accredited Methods (Techniques) of Measurements]. — Moscow : Federal Accreditation Service, 2023. — URL: <https://www.fsa.gov.ru> (accessed: 28.06.2024). [in Russian]
41. Choi S.J. Concentrations of bisphenols in canned foods and their risk assessment in Korea / S.J. Choi, E.S. Yun, J.M. Shin [et al.] // *Journal of Food Protection*. — 2018. — Vol. 81. — P. 903–916. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-17-569.

42. Cao P. Exposure to bisphenol A and its substitutes, bisphenol F and bisphenol S from canned foods and beverages on the Chinese market / P. Cao, H.N. Zhong, K. Qiu [et al.] // *Food Control*. — 2021. — Vol. 120. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107502.
43. Cao X.L. Bisphenol A and three other bisphenol analogues in canned fish products from the Canadian market 2014 / X.L. Cao, S. Popovic // *Journal of Food Protection*. — 2015. — Vol. 78. — P. 1402–1407. DOI: dx.doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-055.
44. Sergeev O. Bisphenol A in Russian foods / O. Sergeev, D. Feshin, A. Shelepchikov [et al.]. — 2010. — URL: <https://slideplayer.com/slide/5776996/> (accessed: 26.08.2024).
45. Bemrah N. Assessment of dietary exposure to bisphenol A in the French population with a special focus on risk characterisation for pregnant French women / N. Bemrah, J. Jean, G. Rivière [et al.] // *Food Chemistry and Toxicology*. — 2014. — Vol. 72. — P. 90–97. DOI: 10.1016/j.fct.2014.06.018.
46. Souza P.S. Simplified QuEChERS technique followed by UHPLC-MS/MS analysis for the determination of bisphenol A in whole and powdered milk / P.S. Souza, T.M. Krauss, A.V. Sartori [et al.] // *International Food Research Journal*. — 2023. — Vol. 30, № 2. — P. 524–535. DOI: 10.47836/ifrj.30.2.21.
47. Liao C. A survey of bisphenol A and other bisphenol analogues in foodstuffs from nine cities in China / C. Liao, K. Kannan // *Food Additives & Contaminants: Part A*. — 2014. — Vol. 31, № 2. — P. 319–329. DOI: 10.1080/19440049.2013.868611.
48. Hadjmohammadi M.R. Determination of bisphenol A in Iranian packaged milk by solid-phase extraction and HPLC / M.R. Hadjmohammadi, I. Saeidi // *Monatshefte für Chemie*. — 2010. — Vol. 141, № 5. — P. 501–506. DOI: 10.1007/s00706-010-0297-1.
49. Waechter J. Factors affecting the accuracy of bisphenol A and bisphenol A-monoglucuronide estimates in mammalian tissues and urine samples / J. Waechter, C. Thornton, D. Markham [et al.] // *Toxicology Mechanisms and Methods*. — 2007. — Vol. 17, № 1. — P. 13–24. DOI: 10.1080/15376510600803581.
50. Santonicola S. Study on endocrine disruptors levels in raw milk from cow's farms: Risk assessment / S. Santonicola, M.C. Ferrante, G.D. Leo [et al.] // *Italian Journal of Food Safety*. — 2018. — Vol. 7, № 3. — Art. 7668. DOI: 10.4081/ijfs.2018.7668.
51. Gatidou G. Bioconcentration of selected endocrine disrupting compounds in the Mediterranean mussel, *Mytilus galloprovincialis* / G. Gatidou, E. Vassalou, N.S. Thomaidis // *Marine Pollution Bulletin*. — 2010. — Vol. 60. — P. 2111–2116. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.07.003.
52. Staniszevska M. Bisphenol A, 4-tert-Octylphenol, and 4-Nonylphenol in the Gulf of Gdansk (Southern Baltic) / M. Staniszevska, L. Falkowska, P. Grabowski [et al.] // *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. — 2014. — Vol. 67. — P. 335–347. DOI: 10.1007/s00244-014-0023-9.
53. Miege C. Occurrence of priority and emerging organic compounds in fishes from the Rhône River (France) / C. Miege, A. Peretti, P. Labadie [et al.] // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. — 2012. — Vol. 404. — P. 2721–2735. DOI: 10.1007/s00216-012-6187-0.
54. Jakimska A. Development of a liquid chromatography-tandem mass spectrometry procedure for determination of endocrine disrupting compounds in fish from Mediterranean rivers / A. Jakimska, B. Huerta, Z. Bargańska [et al.] // *Journal of Chromatography A*. — 2013. — Vol. 1306. — P. 44–58. DOI: 10.1016/j.chroma.2013.07.050.
55. Chen W.L. Distribution of feminizing compounds in the aquatic environment and bioaccumulation in wild tilapia tissues / W.L. Chen, J.C. Gwo, G.S. Wang [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. — 2014. — Vol. 21. — P. 11349–11360. DOI: 10.1007/s11356-014-3062-x.
56. Zheng B. Phenolic endocrine-disrupting chemicals and intersex in wild crucian carp from hun River, China / B. Zheng, R. Liu, Y. Liu [et al.] // *Chemosphere*. — 2015. — Vol. 120. — P. 743–749. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.10.049.
57. Mortazavi S. Occurrence of endocrine disrupting chemicals (bisphenol A, 4-nonylphenol, and octylphenol) in muscle and liver of *Cyprinus carpio* from Anzali Wetland, Iran / S. Mortazavi, A.R. Bakhtiari, A.E. Sari [et al.] // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. — 2013. — Vol. 90. — P. 578–584. DOI: 10.1007/s00128-013-0964-0.
58. Akhbarizadeh R. Occurrence, trophic transfer, and health risk assessment of bisphenol analogues in seafood from the Persian Gulf / R. Akhbarizadeh, F. Moore, C. Monteiro [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. — 2020. — Vol. 154. — Art. 111036. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111036.
59. Alberghini L. Microplastics in fish and fishery products and risks for human health: A review / L. Alberghini, A. Truant, S. Santonicola [et al.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. — 2022. — Vol. 20, № 1. — Article 789. — DOI: 10.3390/ijerph200100789.
60. Guidance document for WHO monographers and reviewers evaluating veterinary drug residues in food. Version 1.0 // Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). — URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/246173/9789241511155-eng.pdf?sequence=1> (accessed: 28.06.2024).