DOI: https://doi.org/10.17816/humeco629338 EDN: HQAXBN

Риск развития неканцерогенных эффектов от воздействия химических веществ, поступающих с продуктами питания

О.А. Фролова[1], Е.П. Бочаров[2], Е.А. Тафеева[3]

[1] Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Казань, Россия;
[2] Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан), Казань, Россия;
[3] Казанский государственный медицинский университет, Казань, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Химическое загрязнение продовольственного сырья и продуктов питания даже на уровне ниже предельно допустимых доз и концентраций может представлять риск здоровью населения.

Цель. Оценка неканцерогенного риска для здоровья населения Республики Татарстан, связанного с загрязнением продовольственного сырья и пищевых продуктов химическими веществами, с учётом региональных факторов экспозиции.

Методы. Для оценки риска использованы результаты исследований продовольственного сырья и пищевых продуктов за период 2008–2022 гг., выполненные испытательным лабораторным центром ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)». Количество исследованных проб по группам продовольственного сырья и пищевых продуктов составило от 1179 (яйца) до 5862 (мясо и мясопродукты). Расчёты проводили по следующим группам продовольственного сырья и продуктов питания: мясо и мясопродукты; рыба и рыбопродукты; молоко и молочные продукты; хлеб и хлебобулочные изделия; сахар и кондитерские изделия; овощи и бахчевые (за исключением картофеля); картофель; фрукты и ягоды; растительные масла; яйца. Для определения фактического потребления продуктов питания опрошены 471 человек в возрасте старше 18 лет. Для оценки риска развития неканцерогенных эффектов от воздействия контаминантов рассчитывали коэффициент и индекс опасности.

Результаты. При идентификации опасности установлены приоритетные химические вещества, содержащиеся в продуктах питания, подлежащие дальнейшей оценке неканцерогенного риска: α- и β-гексахлоциклогексан, базудин, бенз(а)пирен, гептахлор, деоксиниваленол, дихлордифенилтрихлорметилметан и его метаболиты, железо, кадмий, γ-гексахлоциклогексан, медь, мышьяк, натрий фторид, натрий хлорит, нитраты, нитриты, производные 2,4-Д кислоты, ртуть, свинец, фосфамид, фтор, цинк, циперметрин. Установлено, что наибольший риск развития неблагоприятных эффектов от воздействия химических загрязнителей, присутствующих в продовольственном сырье и пищевых продуктах, отмечают в отношении следующих критических органов и систем: нервной системы (значения индекса опасности достигают до 18,89), системы крови (до 9,71), печени (до 7,71), почек (до 5,71), а также репродуктивной и эндокринной систем (до 3,94).

Заключение. Развитие неблагоприятных неканцерогенных эффектов преимущественно обусловлено загрязнением продовольственного сырья и пищевых продуктов фосфамидом (при употреблении хлеба и хлебобулочных изделий, фруктов и ягод), нитратами (при употреблении овощей и бахчевых культур, хлеба и хлебобулочных изделий, картофеля) и γ-гексахлоциклогексаном (при употреблении молока и молочных продуктов, хлеба и хлебобулочных изделий, овощей и бахчевых). Наиболее уязвимыми в отношении развития общетоксических эффектов от воздействия химических веществ однонаправленного действия являются кроветворная и нервная системы, печень, почки, а также системы, участвующие в процессах роста и развития.

Ключевые слова: продовольственное сырьё; пищевые продукты; тяжёлые металлы; пестициды; микотоксины; экспозиция; неканцерогенный риск; здоровье.

Как цитировать:
Фролова О.А., Бочаров Е.П., Тафеева Е.А. Риск развития неканцерогенных эффектов от воздействия химических веществ, поступающих с продуктами питания // Экология человека. 2025. Т. 32, № 3. С. 182–194. DOI: 10.17816/humeco629338 EDN: HQAXBN

Рукопись поступила: 22.03.2024 **Рукопись одобрена:** 08.06.2025 **Опубликована online:** 20.06.2025

ЭКО • ВЕКТОР

Распространяется на условиях лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International
© Эко-Вектор, 2025

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco629338 EDN: HQAXBN

Risk of Non-Carcinogenic Effects from Exposure to Chemical Substances Found in Food Products

Oksana A. Frolova[1], Evgeniy P. Bocharov[2], Elena A. Tafeeva[3]

[1] Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Kazan, Russia;
[2] Hygienic and Epidemiological Center in Republic of Tatarstan (Tatarstan), Kazan, Russia;
[3] Kazan State Medical University, Kazan, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Chemical contamination of food raw materials and food products, even at levels below permissible doses and concentrations, may pose a risk to public health.

AIM: The work aimed to assess the non-carcinogenic health risks to the population of the Republic of Tatarstan associated with chemical contamination of food raw materials and food products, taking into account regional exposure factors.

METHODS: The risk assessment was based on the findings of food raw material and food product studies conducted between 2008 and 2022 by the Testing Laboratory Center of the Center for Hygiene and Epidemiology in the Republic of Tatarstan. The number of samples of food raw materials and food products analyzed by group ranged from 1179 (eggs) to 5862 (meat and meat products). Calculations were performed for the following groups of food raw materials and food products: meat and meat products; fish and fish products; milk and dairy products; bread and bakery products; sugar and confectionery products; vegetables and melons (excluding potatoes); potatoes; fruits and berries; vegetable oils; eggs. Actual food consumption was assessed based on a survey of 471 individuals aged over 18 years. To assess the risk of non-carcinogenic effects of chemical contaminants, hazard quotients and hazard indices were calculated.

RESULTS: Hazard identification revealed priority chemical substances found in food products that were subject to further non-carcinogenic risk assessment: α- and β-hexachlorocyclohexane, basudin, benzo[a]pyrene, heptachlor, deoxynivalenol, DDT and its metabolites, iron, cadmium, γ-hexachlorocyclohexane, copper, arsenic, sodium fluoride, sodium chlorite, nitrates, nitrites, 2,4-D acid derivatives, mercury, lead, phosphamide, fluoride, zinc, and cypermethrin. The following critical organs and systems had the highest risk of adverse effects from exposure to chemical contaminants found in food raw materials and food products: the nervous system (hazard index up to 18.89), the hematopoietic system (up to 9.71), the liver (up to 7.71), the kidneys (up to 5.71), and the reproductive and endocrine systems (up to 3.94).

CONCLUSION: Adverse non-carcinogenic effects are primarily associated with contamination of food raw materials and food products with phosphamide (via bread and bakery products, fruits and berries), nitrates (via vegetables and melons, bread and bakery products, potatoes), and γ-hexachlorocyclohexane (via dairy products, bread and bakery products, vegetables and melons). The hematopoietic and nervous systems, liver, kidneys, and systems involved in growth and development are the most vulnerable to general toxic effects of chemical contaminants with similar mechanisms of action.

Keywords: food raw materials; food products; heavy metals; pesticides; mycotoxins; exposure; non-carcinogenic risk; health.

To cite this article:
Frolova OA, Bocharov EP, Tafeeva EA. Risk of non-carcinogenic effects from exposure to chemical substances found in food products. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2025;32(3):182–194. DOI: 10.17816/humeco629338 EDN: HQAXBN

Submitted: 22.03.2024 **Accepted:** 08.06.2025 **Published online:** 20.06.2025

ECO•VECTOR

The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2025

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco629338 EDN: HQAXBN

通过食品摄入的化学物质暴露引发的非致癌性效应风险

Oksana A. Frolova[1], Evgeniy P. Bocharov[2], Elena A. Tafeeva[3]

[1] Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Kazan, Russia;
[2] Hygienic and Epidemiological Center in Republic of Tatarstan (Tatarstan), Kazan, Russia;
[3] Kazan State Medical University, Kazan, Russia

摘要

论证。即使在低于最高允许剂量和浓度的水平下，食品原料和食品中的化学污染物仍可能对公众健康构成风险。

目的。评估在地区性暴露因素条件下，Tatarstan共和国居民因食品原料和食品中化学污染物的摄入而产生的非致癌健康风险。

方法。风险评估基于俄罗斯联邦预算卫生机构“Testing Laboratory Center of the Center for Hygiene and Epidemiology in the Republic of Tatarstan”2008—2022年期间开展的食品原料与食品研究数据。各类食品原料与食品分组的样本数量从1179份（鸡蛋）至5862份（肉类及其制品）不等。所研究的食品原料组包括：肉类及肉制品、鱼类及水产品、奶类及乳制品、面包及烘焙食品、糖类及糖果、蔬菜及瓜类（不含土豆）、土豆、水果和浆果、植物油、鸡蛋。为获取实际食品摄入数据，调查了471名18岁以上居民。非致癌效应风险评估基于危害系数和危害指数的计算。

结果。在危害识别阶段，确定了需进一步进行非致癌风险评估的重点化学物质，包括：α-和β-六氯环己烷、巴祖丁、苯并[a]芘、七氯、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、滴滴涕及其代谢物、铁、镉、γ-六氯环己烷、铜、砷、氟化钠、亚氯酸钠、硝酸盐、亚硝酸盐、2,4-D酸衍生物、汞、铅、磷酰胺、氟、锌和氯氰菊酯。研究结果表明，存在于食品原料与食品中的化学污染物对以下关键器官和系统的不良效应风险最高：神经系统（危害指数高达18.89）、造血系统（最高达9.71）、肝脏（最高达7.71）、肾脏（最高达5.71），以及生殖系统和内分泌系统（最高达3.94）。

结论。非致癌性不良效应的发生主要与以下食品原料和食品的污染有关：磷酰胺污染（主要存在于面包及烘焙食品、水果和浆果中）、硝酸盐污染（主要存在于蔬菜和瓜类、面包及烘焙食品、土豆中）、以及γ-六氯环己烷污染（主要存在于奶类及乳制品、面包及烘焙食品、蔬菜和瓜类中）。在单向作用化学物质总体毒性影响方面，最为脆弱的系统包括：造血系统、神经系统、肝脏、肾脏，以及参与生长和发育过程的相关系统。

关键词：食品原料；食品；重金属；农药；真菌毒素；暴露；非致癌风险；健康。

引用本文：
Frolova OA, Bocharov EP, Tafeeva EA. 通过食品摄入的化学物质暴露引发的非致癌性效应风险. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2025;32(3):182–194. DOI: 10.17816/humeco629338 EDN: HQAXBN

收到: 22.03.2024 **接受:** 08.06.2025 **发布日期:** 20.06.2025

ECO•VECTOR
The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2025

ОБОСНОВАНИЕ

Согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации (РФ)[1], обеспечение безопасного питания рассматривают как важнейший элемент национальной безопасности и необходимое условие повышения качества жизни граждан. Ключевым инструментом в этой сфере является систематический мониторинг состояния продовольственного сырья (ПС) и пищевых продуктов (ПП). Профилактика заболеваний, вызванных загрязнёнными химическими веществами продуктами, входит в число приоритетных задач современной медицины [1, 2].

По оценкам Всемирной организации здравоохранения, ежегодно около 600 млн человек, то есть почти каждый десятый житель планеты, заболевают в результате потребления загрязнённых ПП, при этом порядка 420 тыс. случаев заканчивается летальным исходом. Наибольшую опасность для здоровья населения представляют токсины природного происхождения и вещества, загрязняющие окружающую среду. Химическое загрязнение ПП может приводить к острому отравлению или развитию хронических заболеваний[2] [3].

Результаты различных исследований свидетельствуют о том, что даже при содержании химических загрязнителей в ПП на уровне ниже предельно допустимых доз и концентраций, существует вероятность формирования неприемлемого риска для здоровья населения. Так, некоторые соединения металлов, наиболее распространённые в окружающей среде, при длительном воздействии в небольших дозах способны аккумулироваться как в ПС, так и в организме человека, оказывая токсическое воздействие на различные органы и системы [4–6]. Хроническое воздействие микотоксинов ассоциируется с нарушениям функционирования иммунной системы и отклонениями в нормальном развитии организма [7–9]. Остаточное содержание пестицидов в ПП представляет риск возникновения неврологических, гепатотоксических, эндокринных и других патологических изменений [10–12].

Оценка риска является концептуальной основой, которая в контексте с химической безопасностью ПП обеспечивает механизм структурированного сбора и анализа информации о принципах возникновения и развития болезней пищевого происхождения, способствует последовательному, научно обоснованному и упорядоченному принятию решений в области безопасности ПП [13]. В РФ методологию анализа риска для здоровья населения также рассматривают как один из инструментов обоснования гигиенических критериев безопасности ПП [14–17]. При этом вопросы нагрузки различными контаминантами, поступающими с ПП, и их влияние на здоровье населения на региональных уровнях являются малоизученными и представляют научный интерес, а также имеют практическую значимость [18–20].

Цель

Оценка неканцерогенного риска для здоровья населения Республики Татарстан, связанного с загрязнением ПС и ПП химическими веществами, с учётом региональных факторов экспозиции.

МЕТОДЫ

Расчёт суточных доз загрязняющих химических веществ (ЗВ) и оценку риска здоровью населения осуществляли в соответствии с Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания (Р 2.1.10.3968–23)[3]. Расчёты проводили для концентраций ЗВ в ПС и ПП на уровне медианы (Me) и 90-го процентиля (P 90). ПС и ПП классифицированы по следующим группам:

- мясо и мясопродукты;
- рыба и рыбопродукты;
- молоко и молочные продукты;
- хлеб и хлебобулочные изделия;
- сахар и кондитерские изделия;
- овощи и бахчевые (исключая картофель);
- картофель;
- фрукты и ягоды;
- растительные масла;
- яйца.

На этапе идентификации опасности проведён анализ данных о загрязняющих веществах, присутствующих в ПС и ПП. На основе этого анализа сформирован перечень приоритетных химических соединений для оценки риска развития неканцерогенных эффектов. В исследовании использованы результаты лабораторного контроля, проведённого в 2008–2022 гг., испытательным центром ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)». При анализе рассматривали 23 приоритетных ЗВ (из более чем 130 выявленных), отобранных по критериям значимости и частоты выявления. Определение содержания этих веществ проводили в образцах ПС и ПП, реализуемых на территории Республики Татарстан, как местного, так и неместного производства.

[1] Указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации». Режим доступа: https://internet.garant.ru/#/document/73438425/ Дата обращения: 09.03.2024.

[2] Безопасность пищевых продуктов; [около 4 страниц]. В: Всемирная организация здравоохранения [интернет]. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2024–2024. Режим доступа: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/food-safety Дата обращения: 15.03.2024.

[3] Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. Р 2.1.10.3968–23 (утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Поповой А.Ю. 6 сентября 2023 г.). Режим доступа: https://internet.garant.ru/#/document/408644981/ Дата обращения: 09.03.2024.

Критерии отбора химических веществ в список приоритетных для последующего анализа, а также условия исключения применяли в соответствии с рекомендациями, изложенными в Р 2.1.10.3968–23[3]. В список приоритетных для оценки риска развития хронических неканцерогенных эффектов вошли следующие вещества, содержащиеся в ПС и ПП: α-гексахлоциклогексан (ГХЦГ), β-ГХЦГ, базудин, бенз(а)пирен, гептахлор, деоксиниваленол, дихлордифенилтрихлорметилметан (ДДТ) и его метаболиты, железо, кадмий, γ-ГХЦГ, медь, мышьяк, натрий фторид, натрий хлорит, нитраты, нитриты, производные 2,4-Д кислоты, ртуть, свинец, фосфамид, фтор, цинк, циперметрин.

На этапе оценки зависимости доза–эффект проанализированы сведения о параметрах неканцерогенной опасности (референтные дозы, критические органы и системы при хроническом воздействии). При оценке экспозиции проведён анализ фактических пищевых привычек питания населения Республики Татарстан, что позволило установить различные варианты воздействия загрязняющих веществ. Всего рассмотрено шесть сценариев (рис. 1). Источником данных по обследованию бюджетов домашних хозяйств (ОБХД) была официальная информация Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Татарстан. В расчётах использовали сведения, собранные за период 2018–2022 гг. Фактическое количество потребляемых населением Республики Татарстан ПП определяли на основе анализа частоты потребления пищи с использованием стандартизированного опросника А.Н. Мартинчика и соавт. [21], после получения от респондентов информированного согласия (протокол исследования одобрен этическим комитетом Казанского государственного медицинского университета, (протокол № 1 от 23.11.2021). Общее количество респондентов составило 471 человек в возрасте старше 18 лет.

Для оценки экспозиционной нагрузки и уровней риска в различных сценариях использованы данные о потреблении ПП населением Республики Татарстан (табл. 1). При расчёте по данным ОБДХ (V и VI сценарий) использовали стандартные значения массы тела человека (70 кг), тогда как для сценариев, учитывающих региональные факторы экспозиции (I–IVсценарии), применяли медианное значение массы тела респондентов — 64 кг. В табл. 2 представлено количество исследованных проб по группам ПП и содержание в них основных загрязняющих веществ на уровне Me и P 90.

Расчёт экспозиции население контаминантами, содержащимися в ПП, осуществляли по следующей формуле:

$$Exp = \frac{\sum_{i=1}^{N}(C_i \times M_i)}{BW}, \quad (1)$$

где *Exp* — значение экспозиции контаминантом, миллиграмм на килограмм массы тела в сутки/неделю/месяц; C_i — содержание контаминанта в *i*-м продукте, мг/кг; M_i — потребление *i*-го продукта, кг/сут (кг/нед., кг/год); *BW* — масса тела человека, кг (стандартное значение — 70 кг); *N* — общее количество продуктов, включённых в исследование.

Вклад ПП в общее значение экспозиции контаминантом рассчитывали по формуле:

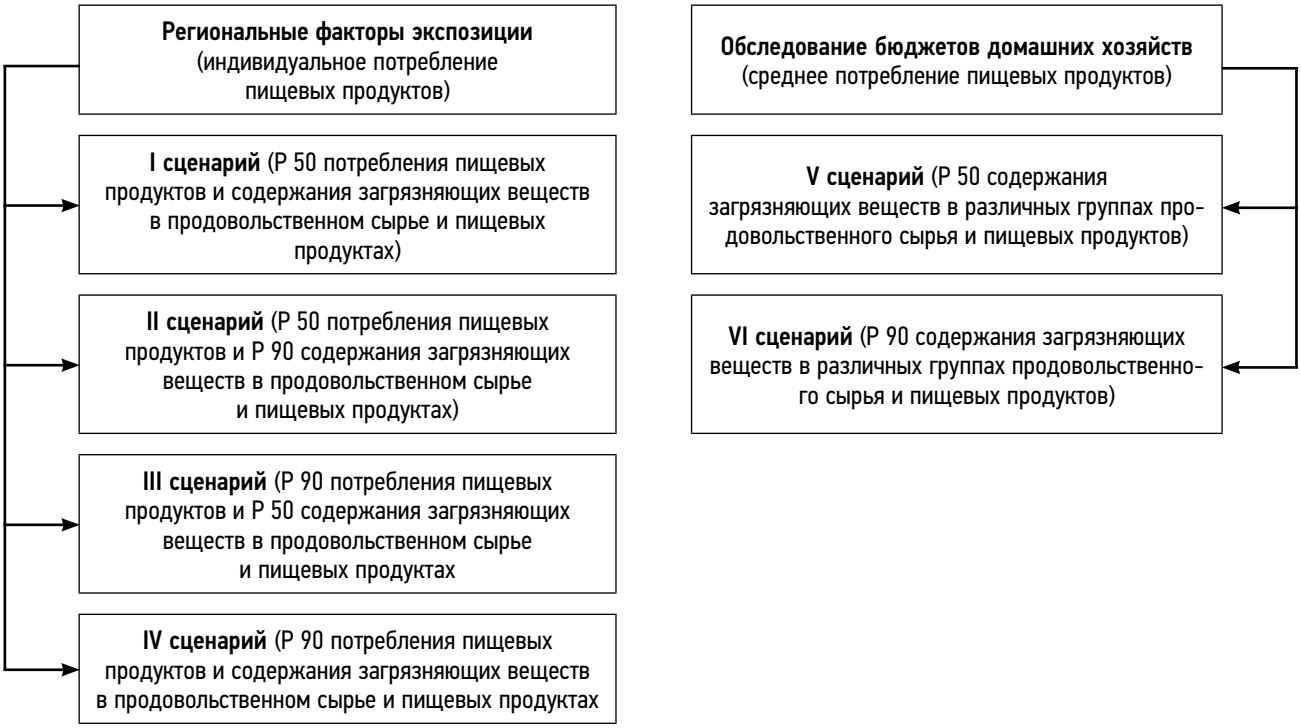

Рис. 1. Сценарии экспозиции, используемые при оценке риска: Me — медиана; P 90 — 90-й процентиль.
Fig. 1. Exposure scenarios used for risk assessment: Me, median; P_{90}, 90th percentile.

Таблица 1. Количество пищевых продуктов, потребляемое населением Республики Татарстан, кг/день
Table 1. Daily consumption of food products by the population of the Republic of Tatarstan, kg/day

Пищевые продукты	Индивидуальное фактическое потребление		ОБДХ, 95% доверительная граница среднего значения
	Me	P 90	
Мясо и мясопродукты	0,10	0,25	0,22
Рыба и рыбопродукты	0,01	0,03	0,05
Молоко и молочные продукты	0,18	0,52	0,79
Хлеб и хлебобулочные изделия	0,27	0,62	0,28
Сахар и кондитерские изделия	0,04	0,11	0,09
Овощи и бахчевые (исключая картофель)	0,29	0,85	0,29
Картофель	0,04	0,16	0,25
Фрукты и ягоды	0,21	0,63	0,23
Растительные масла	0,01	0,03	0,02
Яйца	0,01	0,03	0,04

Примечание. ОБДХ — обследование бюджетов домашних хозяйств; Me — медиана; P 90 — 90-й процентиль.

$$Contr_i = \frac{C_i \times M_i}{\sum_{i=1}^{N} C_i \times M_i} \times 100\%, \quad (2)$$

где $Contr_i$ — вклад *i*-го продукта в общее значение экспозиции; C_i — содержание контаминанта в продукте *i*, мг/кг; M_i — потребление продукта *i*, кг/сут (кг/нед., кг/год); *N* — общее количество продуктов, включённых в исследование.

На последнем этапе выполнены расчёты коэффициента опасности (HQ) для анализа риска развития неканцерогенных эффектов от воздействия отдельных ЗВ, а также индекса опасности (HI) для оценки неканцерогенного риска при их одновременном поступлении, представлена характеристика установленных рискаов. Коэффициент опасности рассчитывали по формуле:

$$HQ_i = \frac{AD_i}{RfD_i}, \quad (3)$$

где *HQ* — коэффициент опасности воздействия вещества *i*; AD_i — потенциальная доза поступления вещества *i*, мг/кг; RfD_i — безопасный уровень воздействия вещества *i*, мг/кг.

Индексы опасности рассчитывали по формуле:

$$HI_k = \Sigma HQ_i, \quad (4)$$

где HI_k — индекс опасности развития нарушения функций критических органов и систем *k*; HQ_i — коэффициенты опасности; для отдельных компонентов *i* смеси веществ, воздействующих на критические органы и системы *k*.

Риск оценивали как:

- минимальный — при HQ ⩽0,1 и HI ⩽1,0;
- допустимый (приемлемый) — при HQ от 0,11 до 1,0 и HI от 1,1 до 3,0;
- настораживающий — при HQ от 1,1 до 3,0 и HI от 3,1 до 6,0;
- высокий — при HQ >3,0 и HI >6,0.

Расчёты проводили с использованием программы Microsoft Office Excel® (Microsoft, Соединённые Штаты Америки).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнительный анализ среднесуточных доз при поступлении ЗВ с ПС и ПП показал, что при содержании их на уровне Me наибольшая дозовая нагрузка по большинству ЗВ отмечена при III сценарии (за исключением α- и β-ГХЦГ, железа, мышьяка, натрия фторида, фтора). При концентрациях химических веществ, соответствующих P 90, максимальные нагрузки, как правило, формируются при IV сценарии (за исключением бенз(а)пирена, железа, фторида натрия и фтора). Для фторида натрия, фтора и железа наибольшие значения зафиксированы при VI сценарии, тогда как для α- и β-ГХЦГ, а также мышьяка — при IV сценарии (табл. 3).

Во всех моделируемых сценариях основным источником поступления деоксиниваленола (100%) являются хлеб и хлебобулочные изделия. Фторид натрия и фтор (100%), а также железо (94,8–99,0%) поступают преимущественно с молоком и молочными продуктами. Нитриты (100%) — с мясом и мясопродуктами. Основными путями поступления базудина (100%) и циперметрина (50,0–88,3%) служат овощи и бахчевые (за исключением картофеля). Вклад в суммарную экспозицию хлорита натрия обеспечивают преимущественно овощи и бахчевые (33,2–60,7%) и мясные продукты (24,0–55,0%). Для нитратов основным источником поступления выступают овощи и бахчевые культуры (29,9–75,7%), на долю хлебобулочных изделий приходится 9,7–20,3%, а в V и VI сценариях значительный вклад вносит картофель (18,3–35,2%). Суммарная доза кадмия в сценариях I–IV формируется в основном за счёт потребления хлеба и хлебобулочных изделий

Таблица 2. Содержание в продуктах загрязняющих веществ (Me/P 90), мг/кг

Table 2. Levels of contaminants in food products (Me/P90), mg/kg

Химические вещества	Группы пищевых продуктов									
	1 *n*=5862	2 *n*=2205	3 *n*=4601	4 *n*=5842	5 *n*=2334	6 *n*=5374	7 *n*=4960	8 *n*=3918	9 *n*=2471	10 *n*=1179
α-Гексахлорциклогексан	0/0,025	0,025/0,025	0/0,025	0/0,025	0,025/0,05	0,005/0,05	0,005/0,005	0,003/0,003	0,013/0,05	0/0,001
β-Гексахлорциклогексан	0/0,033	0,025/0,025	0/0,025	0/0,025	0,004/0,05	0/0,038	0,005/0,025	0/0	0/0,05	—
Базудин	—	—	—	—	—	0/0,054	—	—	—	—
Бенз(а)пирен	0,0001/0,0002	0,00005/0,0005	0/0,0004	—	0,0001/0,001	—	—	—	0,0001/0,0008	—
Гептахлор	0,007/0,007	0,007/0,007	0,007/0,007	0,007/0,01	0,007/0,007	0,003/0,007	0,007/0,025	0,004/0,007	—	0,007/0,007
Деоксиниваленол	—	—	—	0,1/0,1	—	—	—	—	—	—
ДДТ и его метаболиты	0,002/0,025	—	0,002/0,025	0,00005/0,01	0,0025/0,02	0,003/0,025	0,003/0,025	0,003/0,025	—	0,001/0,025
Железо (Fe)	—	—	0,8//3,4	—	—	—	—	—	0,8/3,98	—
Кадмий (Cd)	0,001/0,01	0,002/0,02	0,0005/0,01	0,001/0,01	0,001/0,01	0,001/0,01	—	0,001/0,01	0,001/0,01	0,00/0,01
γ-Гексахлорциклогексан	0,005/0,025	0,003/0,025	0,001/0,02	0,001/0,025	0,003/0,05	0,001/0,025	—	0,001/0,004	0,002/0,047	0,001/0,05
Медь (Cu)	0,13/0,98	0,09/0,09	0,085/0,675	0,082/1,944	—	0,14/1,855	—	—	0,05/0,202	—
Мышьяк (As)	0,004/0,08	0,005/0,08	0,0025/0,013	0,001/0,014	0,001/0,08	—	0/0,004	0/0,08	0,0001/0,06	0,006/0,08
Натрий фторид	—	—	2,46/2,67	—	—	—	—	—	—	—
Натрий хлорит	1,575/2,6	5,735/7,922	—	—	—	0,81/1,938	—	—	—	—
Нитраты	14,6/72,83	—	2,5/15,3	29,9/90,51	—	76,85/583,45	84,3/175,0	30,0/56,7	—	—
Нитриты	0,005/30,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Производные 2,4-Д кислоты	0/0,08	0/0,007	0/0,02	0/0,002	—	—	0,01/0,01	0/0,001	—	—
Ртуть (Hg)	0,001/0,004	0,0015/0,008	0/0,0005	0,00025/0,004	0,001/0,006	0/0,0001	0,014/0,07	0,001/0,0004	0,001/0,004	0,001/0,004
Свинец (Pb)	0,014/0,095	0,021/0,109	0,01/0,04	0,018/0,1	0,01/0,068	—	—	0,007/0,057	0,01/0,05	0,01/0,059
Фосфамид	—	—	—	0,00005/0,003	—	0/0,02	0,005/0,035	0/0,02	—	—
Фтор (F)	—	—	1,29/3,17		—	—	—	—	—	—
Цинк (Zn)	0,355/2492	—	0,57/7,5	0,74/8,7	—	—	—	—	—	—
Циперметрин	—	—	—	—	—	0,005/0,005	0,005/0,015	—	—	—

Примечание. 1 — Мясо и мясопродукты; 2 — Рыба и рыбопродукты; 3 — Молоко и молочные продукты; 4 — Хлеб и хлебобулочные изделия; 5 — Сахар и кондитерские изделия; 6 — Овощи и бахчевые (исключая картофель); 7 — Картофель; 8 — Фрукты и ягоды; 9 — Растительные масла; 10 — Яйца; ДДТ — дихлордифенилтрихлорметилметан; Me — медиана; P 90 — 90-й процентиль.

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco629338

(19,1–32,3%), овощей и бахчевых (17,3–26%), а также фруктов и ягод (12,6–19,3%). В сценариях V и VI ведущим источником кадмия становятся молочные продукты (24–34,9%) и хлебобулочными изделиями (12,7–17,5%). Основной вклад в суммарную дозу мышьяка обеспечивает молоко и молочные продукты (9,7–65,1%), мясо и мясопродукты (19,5–27,9%), а также хлеб и хлебобулочные изделия (7,2–20,5%). Дополнительно, в сценариях II, IV, VI, значимый вклад вносит сахар и кондитерские изделия (14–15,7%). Для ртути основными источниками являются хлебобулочные изделия (27,4–48,7%) и мясные продукты (14–29,9%). В сценариях II, IV, VI — фрукты и ягоды (18,1–28,9%). Свинец поступает с хлебом и хлебобулочными изделиями (20,0–37,2%), овощами и бахчевыми (9,1–26,5%), молочными продуктами (8,6–28,2%) и мясом (10,0–15,4%). Вклад в суммарную дозу меди зависит от сценария: в сценариях I, III и V доминируют мясо и мясопродукты (50,5–58,7%); в сценариях II, IV — хлебобулочные изделия (43,8–49,5%) и овощи с бахчевыми (20,9–23,6%); в сценарии VI основную долю обеспечивают молочные продукты (37,2%) и хлеб (30,2%). Суммарная доза цинка при всех сценариях воздействия формируется в основном за счёт потребления хлеба и хлебобулочных изделий (22,4–65,6%). Существенный вклад также вносят молочные продукты (10,5–35,1%) и овощи с бахчевыми (за исключением картофеля) (8,8–33,4%). В сценариях I, III, V основными источниками бенз(а)пирена выступают мясо и мясопродукты (47,1–53,3%), а также сахар и кондитерские изделия (40,7–41,5%). В сценариях II, IV, VI преобладающее значение имеют молочные продукты (51,7–65,8%), в меньшей степени — кондитерские изделия (21,4–31,8%). Поступление производных 2,4-Д кислоты регистрируют только при сценариях II, IV, VI (при содержании на уровне P 90), при этом основная доля приходится на мясную продукцию (40,3–45,8%), молоко (19,4–36,4%), а также овощи и бахчевые (5,9–17,3%). Для фосфамида в сценариях I,

Таблица 3. Среднесуточная доза веществ, загрязняющих пищевые продукты, мг/кг в сут

Table 3. Average daily dose of food contaminants, mg/kg/day

Химические вещества	Сценарий экспозиции					
	I	II	III	IV	V	VI
α-Гексахлорциклогексан	$2{,}2\times10^{-5}$	$6{,}9\times10^{-4}$	$8{,}1\times10^{-5}$	$1{,}9\times10^{-3}$	$1{,}0\times10^{-4}$	$1{,}1\times10^{-3}$
β-Гексахлорциклогексан	$1{,}9\times10^{-5}$	$5{,}5\times10^{-4}$	$8{,}5\times10^{-5}$	$1{,}5\times10^{-3}$	$1{,}1\times10^{-4}$	$9{,}8\times10^{-4}$
Базудин	—	$1{,}9\times10^{-4}$	—	$5{,}6\times10^{-4}$	—	$1{,}5\times10^{-4}$
Бенз(а)пирен	$1{,}5\times10^{-7}$	$2{,}0\times10^{-6}$	$4{,}1\times10^{-7}$	$5{,}7\times10^{-6}$	$3{,}3\times10^{-7}$	$6{,}4\times10^{-6}$
Гептахлор	$1{,}3\times10^{-4}$	$1{,}5\times10^{-4}$	$3{,}5\times10^{-4}$	$4{,}3\times10^{-4}$	$2{,}2\times10^{-4}$	$3{,}0\times10^{-4}$
Деоксиниваленол	$4{,}2\times10^{-4}$	$4{,}2\times10^{-4}$	$9{,}8\times10^{-4}$	$9{,}8\times10^{-4}$	$4{,}1\times10^{-4}$	$4{,}1\times10^{-4}$
ДДТ и его метаболиты	$3{,}4\times10^{-5}$	$3{,}7\times10^{-4}$	$1{,}0\times10^{-4}$	$1{,}1\times10^{-3}$	$6{,}6\times10^{-5}$	$6{,}9\times10^{-4}$
Железо (Fe)	$2{,}2\times10^{-3}$	0,011	0,007	0,031	0,009	0,042
Кадмий (Cd)	$1{,}3\times10^{-5}$	$1{,}8\times10^{-4}$	$3{,}6\times10^{-5}$	$5{,}1\times10^{-4}$	$2{,}4\times10^{-5}$	$3{,}2\times10^{-4}$
γ-Гексахлорциклогексан	$9{,}4\times10^{-6}$	$3{,}5\times10^{-4}$	$2{,}7\times10^{-5}$	$9{,}9\times10^{-4}$	$2{,}3\times10^{-5}$	$6{,}8\times10^{-4}$
Медь (Cu)	$2{,}3\times10^{-3}$	0,016	0,006	0,041	0,004	0,025
Мышьяк (As)	$1{,}4\times10^{-5}$	$2{,}5\times10^{-4}$	$3{,}8\times10^{-5}$	$6{,}5\times10^{-4}$	$4{,}0\times10^{-5}$	$4{,}9\times10^{-4}$
Натрий фторид	$6{,}8\times10^{-3}$	0,007	0,02	0,022	0,028	0,03
Натрий хлорит	$6{,}5\times10^{-3}$	0,014	0,019	0,042	0,009	0,021
Нитраты	0,617	3,138	1,796	9,122	0,857	3,489
Нитриты	$8{,}1\times10^{-3}$	0,055	0,019	0,131	0,016	0,109
Производные 2,4-Д кислоты	—	$2{,}8\times10^{-4}$	—	$7{,}7\times10^{-4}$	—	$6{,}2\times10^{-4}$
Ртуть (Hg)	$4{,}3\times10^{-6}$	$3{,}8\times10^{-5}$	$1{,}1\times10^{-5}$	$1{,}0\times10^{-4}$	$7{,}5\times10^{-6}$	$5{,}6\times10^{-5}$
Свинец (Pb)	$2{,}3\times10^{-4}$	$1{,}3\times10^{-3}$	$6{,}1\times10^{-4}$	$3{,}5\times10^{-3}$	$4{,}0\times10^{-4}$	$2{,}1\times10^{-3}$
Фосфамид	$3{,}1\times10^{-5}$	$1{,}2\times10^{-3}$	$9{,}3\times10^{-5}$	$3{,}0\times10^{-3}$	$4{,}0\times10^{-5}$	$1{,}5\times10^{-3}$
Фтор (F)	$3{,}6\times10^{-3}$	$7{,}2\times10^{-3}$	0,011	0,021	0,015	0,029
Цинк (Zn)	0,013	0,075	0,035	0,193	0,021	0,108
Циперметрин	$2{,}5\times10^{-5}$	$2{,}8\times10^{-5}$	$7{,}9\times10^{-5}$	$9{,}1\times10^{-5}$	$3{,}7\times10^{-5}$	$5{,}5\times10^{-5}$

Примечание. ДДТ — дихлордифенилтрихлорметилметан.

III, V наибольший вклад обеспечивают фрукты и ягоды (63,9–79,9%), тогда как в сценариях II, IV, VI — хлеб и хлебобулочные изделия (65,0–81,7%). Суммарная доза α-ГХЦГ в сценариях I, III, V преимущественно обусловлена поступлением с картофелем (68,5–91,7%). В сценариях II, IV, VI основной вклад вносят хлебобулочные изделия (18,9–30,5%), молочные продукты (10,0–25,9%), овощи и бахчевые (за исключением картофеля) (13,4–26,1%) и фрукты с ягодами (11,4–18,8%). Для β-ГХЦГ в сценариях I, III, V основными источниками являются картофель (72,4–82,7%) и рыбные продукты (17,3–27,6%). В сценариях II, IV, VI распределение вклада смещено в сторону хлеба и хлебобулочных изделий (21,1–38,1%), молока и молочной продукции (12,5–28,9%), овощей и бахчевых (9,4–22,6%), а также мясной продукции (13,1–16,3%). Формирование суммарной дозы γ-ГХЦГ происходит преимущественно за счёт молока и молочных продуктов (15,5–49,9%), овощей и бахчевых культур (за исключением картофеля) (8,1–31,6%), а также хлебобулочных изделий (9,1–29,5%). Основные источники ДДТ и его метаболитов — молоко и молочные продукты (18,7–42,5%), овощи и бахчевые (13,2–33,3%), а также фрукты и ягоды (12,2–24,7%). В сценариях I–IV наибольший вклад в дозовую нагрузку гептахлора обеспечивают хлеб и хлебобулочные изделия (19,3–28,2%), овощи и бахчевые (21,2–26,3%), а также фрукты с ягодами (15,5–19,5%). В сценариях V и VI ведущими источниками выступают молочные продукты (26,1–35,2%), картофель (11,4–30,2%) и хлебобулочные изделия (12,8–13,6%).

Анализ хронического неканцерогенного действия приоритетных веществ, загрязняющих ПП, на основании проведённых расчётов (HQ), показал, что для сценария I значения HQ для всех веществ находятся на допустимом уровне (табл. 4). При этом установлено, что экспозиция базудином и производными 2,4-Д кислоты отсутствует, а значения HQ для бенз(а)пирена, ДДТ и его метаболитов,

Таблица 4. Коэффициент опасности химических веществ в зависимости от сценария экспозиции

Table 4. Hazard quotients of chemical substances according to exposure scenarios

Химические вещества	Сценарий					
	I	II	III	IV	V	VI
α-Гексахлорциклогексан	0,004	0,14	0,02	0,38	0,02	0,22
β-Гексахлорциклогексан	0,04	1,1	0,17	2,94	0,22	1,95
Базудин	0	0,21	0	0,62	0	0,17
Бенз(а)пирен	0,0003	0,004	0,002	0,01	0,001	0,01
Гептахлор	0,25	0,3	0,71	0,85	0,45	0,61
Деоксиниваленол	0,42	0,42	0,98	0,98	0,41	0,41
ДДТ и его метаболиты	0,07	0,73	0,2	2,11	0,13	1,39
Железо (Fe)	0,01	0,04	0,02	0,1	0,03	0,14
Кадмий (Cd)	0,03	0,36	0,07	1,0	0,05	0,65
γ-Гексахлорциклогексан	0,03	1,18	0,09	3,31	0,08	2,27
Медь (Cu)	0,12	0,81	0,31	2,14	0,22	1,31
Мышьяк (As)	0,05	0,83	0,13	2,16	0,13	1,62
Натрий фторид	0,14	0,15	0,4	0,43	0,55	0,60
Натрий хлорит	0,22	0,46	0,62	1,39	0,3	0,69
Нитраты	0,39	1,96	1,12	5,7	0,54	2,18
Нитриты	0,08	0,55	0,18	1,31	0,16	1,0
Производные 2,4-Д кислоты	0	0,03	0	0,08	0	0,06
Ртуть (Hg)	0,01	0,13	0,04	0,34	0,02	0,19
Свинец (Pb)	0,06	0,36	0,18	1,0	0,11	0,59
Фосфамид	0,16	5,89	0,46	14,77	0,2	7,28
Фтор (F)	0,06	0,12	0,17	0,35	0,24	0,49
Цинк (Zn)	0,04	0,25	0,12	0,64	0,07	0,36
Циперметрин	0,003	0,003	0,01	0,01	0,004	0,01

Примечание. ДДТ — дихлордифенилтрихлорметилметан.

железа, γ-, α- и β-ГХЦГ, кадмия, мышьяка, нитритов, цинка, ртути, свинца, фтора, циперметрина находятся на минимальном (целевом) уровне (HQ <0,1). Наибольшие значения HQ зафиксированы для деоксиниваленола и нитратов (см. табл. 4).

Во II сценарии значения HQ варьируют от минимальных [для бенз(а)пирена, железа, производных 2,4-Д кислоты, циперметрина] до настораживающих (для нитратов, γ- и β-ГХЦГ), при этом для фосфамида регистрируют высокий уровень риска.

В III сценарии экспозиция базудином и производными 2,4-Д кислоты не выявлена, а значения HQ для всех приоритетных веществ, кроме нитратов, находятся на допустимом уровне. В свою очередь, значение HQ для нитратов составило 1,12, что оценили как настораживающий риск.

В IV сценарии значения HQ варьируют от допустимых (для деоксиниваленола, натрия фторида, фтора, базудина, гептахлора, кадмия, свинца, цинка, ртути, α-ГХЦГ) до настораживающих (для β-ГХЦГ, мышьяка, ДДТ и его метаболитов, меди, нитритов, натрия хлорита), при этом для фосфамида, нитратов и γ-ГХЦГ регистрируют высокий уровень риска.

В V сценарии экспозиция базудином и производными 2,4-Д кислоты не выявлена, а значения HQ по всем приоритетным веществам находятся на допустимом уровне.

В VI сценарии значения HQ варьируют от минимальных [для бенз(а)пирена, производных 2,4-Д кислоты, циперметрина] до настораживающих (для γ-ГХЦГ, нитратов, β-ГХЦГ, мышьяка, ДДТ и его метаболитов, меди, нитритов), при этом для фосфамида регистрируют высокий уровень риска.

Анализ значений HI для химических веществ однонаправленного действия при содержании ЗВ в ПП на уровне Me в соответствии со сценариями I, III и V показал, что риск возникновения хронических неканцерогенных эффектов со стороны различных критических органов и систем у взрослого населения Республики Татарстан остаётся в пределах минимального и допустимого диапазона. Содержание загрязняющих веществ в ПП на уровне P 90 (сценарии II, IV и VI) формирует повышенные риски развития неблагоприятных эффектов для некоторых органов и систем. В сценарии II и IV отмечен настораживающий уровень риска для системы крови, связанный с поступлением нитратов (вклад в HQ 61 и 54% соответственно); для печени (вклад в HQ 50%) и почек, обусловленный присутствием γ-ГХЦГ (вклад в HQ 56 и 63% соответственно). Кроме того, зафиксирован высокий риск для нервной системы, связанный с содержанием фосфамида (вклад в HQ 79 и 74% соответственно). В IV сценарии (повышенное потребление ПП, содержащих химические вещества по верхнему уровню контаминации — «наихудшая ситуация») установлен настораживающий риск развития неканцерогенных эффектов для почек, обусловленный содержанием γ-ГХЦГ (вклад в HQ 58%); а также для процессов роста и развития, связанный с присутствием мышьяка и хлорита натрия (вклад в HQ 44 и 25% соответственно). Выявлен настораживающий риск для репродуктивной и эндокринной систем, обусловленный присутствием β-ГХЦГ (вклад в HQ 75%), а также высокий риск для крови (нитраты, вклад в HQ 65%), печени (ДДТ и его метаболитов, γ-ГХЦГ — вклад в HQ 31 и 48% соответственно) и нервной системы (фосфамида, вклад в HQ 78%). Риск воздействия на центральную нервную систему, желудочно-кишечный тракт, сердечно-сосудистую, иммунную и мышечную системы при всех рассматриваемых сценариях воздействия оценивается как минимальный и допустимый (табл. 5).

ОБСУЖДЕНИЕ

В проведённом исследовании дозы, рассчитанные на основе ОБДХ, по некоторым веществам [железо, натрий фторид, фтор, бенз(а)пирен, α- и β-ГХЦГ] выше, чем дозы, рассчитанные по индивидуальному потреблению даже на уровне P 90, что говорит о вероятном переучёте экспозиционной нагрузки по вышеуказанным веществам и недоучёте по другим загрязнителям. При оценке риска развития неблагоприятных эффектов, обусловленных содержанием загрязняющих веществ в ПП, используют как статистические данные среднедушевого годового потребления ПП, так и индивидуального среднегодового потребления, полученные в результате оценки фактического питания. Последний подход более точно отражает степень влияния алиментарных контаминантов. Полученные в различных исследованиях результаты свидетельствуют о том, что контаминация ПП формирует повышенные риски для здоровья потребителей разных возрастных и социальных групп. Химические факторы (пестициды, нитраты, тяжёлые металлы и др.) создают риски возникновения патологий пищеварительной, нервной, иммунной, эндокринной систем, крови и др. [1, 24, 25]. Установлено, что наибольшая вероятность развития неблагоприятных эффектов от влияния химических веществ, загрязняющих ПС и ПП, существует для нервной системы (HI до 18,89), крови (HI до 9,71), печени (HI до 7,71), почек (HI до 5,71), репродуктивной и эндокринной систем (HI до 3,94). Полученные значения для сценария IV, отражающего «наихудшую ситуацию», являются сигналом для лиц, принимающих управленческие решения о необходимости организации мер профилактики с целью минимизации воздействия данных факторов риска на здоровье населения республики.

Ограничения исследования

Неопределённости результатов проведённой оценки риска связаны с использованием в расчётах значений стандартных факторов экспозиции, результатов социально-гигиенического мониторинга качества ПС и ПП, неполнотой информации о содержании остаточных количеств применяемых в сельском хозяйстве пестицидов ввиду

Таблица 5. Распределение критических органов и систем по величине индекса опасности для веществ однонаправленного действия
Table 5. Distribution of target organs and systems by hazard index for substances with similar mechanisms of action

Критические органы и системы	Сценарий					
	I	II	III	IV	V	VI
Кровь	0,99	3,57	2,58	9,71	1,29	4,6
Печень	0,774	2,8	2,0	7,71	1,09	4,96
Почки	0,49	2,12	1,18	5,71	0,56	2,98
Центральная нервная система	0,28	0,82	0,8	2,39	0,41	1,28
Нервная система	0,28	7,42	0,81	18,89	0,4	9,85
Желудочно-кишечный тракт	0,193	0,973	0,51	2,6	0,494	1,95
Влияние на процессы развития	0,34	1,784	0,972	4,9	0,561	3,1
Сердечно-сосудистая система	**0,05**	**0,83**	**0,13**	**2,16**	**0,13**	**1,62**
Репродуктивная система	0,1	1,96	0,35	3,94	0,33	2,54
Эндокринная система	0,1	1,96	0,35	3,94	0,33	2,54
Иммунная система	**0,04**	**0,25**	**0,12**	**0,64**	**0,07**	**0,36**
Мышечная система	**0,14**	**0,15**	**0,4**	**0,43**	**0,55**	**0,60**

того, что контроль направлен на поиск прежде всего глобальных загрязнителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка риска развития хронических неканцерогенных эффектов на основании HQ приоритетных химических веществ, загрязняющих ПС и ПП, показала, что значения HQ по всем веществам для сценариев экспозиции I, V, а также III, за исключением нитратов, не превышают допустимый уровень (HQ <1). Значения HQ для некоторых веществ по сценариям экспозиции, при расчёте которых учитывали содержание ЗВ в соответствующих группах ПП на уровне P 90, свидетельствуют о настораживающем уровне риска (β- и γ-ГХЦГ, нитраты — сценарий II; β-ГХЦГ, ДДТ и его метаболиты, медь, мышьяк, натрий хлорит, нитриты — сценарий IV; β-ГХЦГ, ДДТ и его метаболиты, γ-ГХЦГ, медь, мышьяк, нитраты — сценарий VI), а также высоком уровне (фосфамид для сценариев II, IV, VI, дополнительно нитраты и γ-ГХЦГ для сценария IV).

Развитие неблагоприятных неканцерогенных эффектов обусловлено преимущественно загрязнением ПС и ПП фосфамидом (при употреблении хлеба и хлебобулочных изделий, фруктов и ягод), нитратами (при употреблении овощей с бахчевыми, хлеба и хлебобулочных изделий, картофеля) и γ-ГХЦГ (при употреблении молока и молочных продуктов, хлеба и хлебобулочных изделий, овощей и бахчевых). Наиболее уязвимыми, с точки зрения развития общетоксических эффектов от воздействия химических веществ однонаправленного действия, загрязняющих ПП, являются кроветворная и нервная системы, печень, почки, а также системы, участвующие в процессах роста и развития.

Таким образом, по результатам проведённого исследования установлено, что расчёт значений неканцерогенного риска для здоровья населения от влияния химических веществ, поступающих с ПП, с учётом региональных факторов экспозиции, является предпочтительным в сравнении с ОБДХ. Полученные результаты возможно использовать местными органами власти при разработке мероприятий по совершенствованию системы безопасности ПП и проектов управленческих решений для снижения бремени алиментарно-зависимых заболеваний у населения Республики Татарстан.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. О.А. Фролова — концепция и дизайн исследования, участие в обсуждении полученных результатов; Е.П. Бочаров — сбор и статистическая обработка первичных данных, написание текста рукописи; Е.А. Тафеева — обобщение материала, анализ и обсуждение результатов, редактирование текста рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом Казанского государственного медицинского университета, (протокол № 1 от 23.11.2021). Все респонденты подписали форму информированного добровольного согласия.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Все данные, полученные в настоящем исследовании, доступны в статье.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: O.A. Frolova: conceptualization, investigation; E.P. Bocharov: data curation, formal analysis, writing—original draft; E.A. Tafeeva: formal analysis, writing—review & editing. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: The study was approved by the Local Ethics Committee of Kazan State Medical University (Minutes No. 1 of November 23, 2021). All participants provided written informed consent.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: All data generated during this study are available in this article.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Popova AYu. Risk analysis as a strategic sphere in providing food products safety. *Health Risk Analysis.* 2018;(4):4–12. doi: 10.21668/health.risk/2018.4.01 EDN: YUGRWH
2. Tutelyan VA. Healthy food for public health. *Public Health.* 2021;1(1):56–64. doi: 10.21045/2782-1676-2021-1-1-56-64 EDN: MOMMXI
3. Gizaw Z. Public health risks related to food safety issues in the food market: a systematic literature review. *Environmental Health and Preventive Medicine.* 2019;24(1):68. doi: 10.1186/s12199-019-0825-5 EDN: XDAHPG
4. Khotimchenko SA, Bessonov VV, Bagryantseva OV, Gmoshinsky IV. Safety of food products: new problems and ways of solution. *Medicina truda i jekologija cheloveka*. 2015;(4):7–14. EDN: UWALFB
5. Lyzhina AV, Unguryanu TN, Rodimanov AV. Health risk assessment associated with contamination by heavy metals of food products. *Public Health and Life Environment.* 2018;(7):4–7. doi: 10.35627/2219-5238/2018-304-7-4-7 EDN: XUZGXB
6. Fomina SF, Stepanova NV. Non-carcinogenic risk for children population health in kazan caused by food products and food raw materials contamination. *Health Risk Analysis.* 2017; (4):42–48. doi: 10.21668/health.risk/2017.4.04 EDN: YLTYUA
7. Açar Y, Akbulut G. Evaluation of aflatoxins occurrence and exposure in cereal-based baby foods: an update review. *Current Nutrition Reports.* 2024;13(1):59–68. doi: 10.1007/s13668-024-00519-x EDN: ZARCFQ
8. Mishra S, Srivastava S, Dewangan J, et al. Global occurrence of deoxynivalenol in food commodities and exposure risk assessment in humans in the last decade: a survey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 2019;60(8):1346–1374. doi: 10.1080/10408398.2019.1571479 EDN: MAAKRL
9. Tan T, Chen T, Zhu W, et al. Adverse associations between maternal deoxynivalenol exposure and birth outcomes: a prospective cohort study in China. *BMC Medicine.* 2023;21(1):328. doi: 10.1186/s12916-023-03011-5 EDN: KECAUP
10. Eliseev YuYu, Spirin VF, Chechomov SY, Eliseeva JV. Potential health risk associated with consumption of local food containing pesticide residues for the rural population. *Hygiene and sanitation.* 2021;100(5):482–488. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-482-488 EDN: ZIPZIW
11. Díaz-Vallejo J, Barraza-Villarreal A, Yañez-Estrada L, Hernández-Cadena L. Plaguicidas en alimentos: riesgo a la salud y marco regulatorio en Veracruz, México. *Salud Pública de México.* 2021;63(4):486–497. doi: 10.21149/12297 EDN: GZNGWB
12. Scorza FA, Beltramim L, Bombardi LM. Pesticide exposure and human health: toxic legacy. *Clinics.* 2023;78:100249. doi: 10.1016/j.clinsp.2023.100249 EDN: QKPVQA
13. Basak S, Lewis J, Vemula SR, Halady PS. Safety and risk assessment of food items. In: Mohanan PV, Kappalli S, editors. *Biomedical Applications and toxicity of nanomaterials.* Singapore: Springer; 2023. P. 203–227. doi: 10.1007/978-981-19-7834-0_8
14. Zaitseva NV. Analysis of population health risks in the Russian Federation caused by food products con-tamination. *Health Risk Analysis.* 2018; (4):13–23. doi: 10.21668/health.risk/2018.4.02 EDN: YUGRWX
15. Tutelyan VA, Nikityuk DB, Khotimchenko SA. Normative base for food quality and safety assessment. *Russian Journal of Rehabilitation Medicine*. 2017;(2):74–120. EDN: YNBHHH
16. Shur PZ, Zaitseva NV. Health risk assessment when giving grounds for hygienic criteria of food products safety. *Health Risk Analysis.* 2018;(4):43–56. doi: 10.21668/health.risk/2018.4.05 EDN: YUGRYL
17. Shur PZ, Zaitseva NV, Khotimchenko SA, et al. On the issue of establishing acceptable daily intake of chemical substancesin food products according to health risk criteria. *Hygiene and sanitation.* 2019;98(2):189–195. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-189-195 EDN: YZNATZ
18. Boev VM, Kryazheva EA, Begun DN, et al. Hygienic assessment of population health risks caused by combined oral introduction of heavy metals. *Health Risk Analysis.* 2019;(2):35–43. doi: 10.21668/health.risk/2019.2.04 EDN: ZCHOOD
19. Gorbachev DO, Sazonova OV, Gavryushin MY, Borodina LM. Hygienic assessment of public health risks caused by food contamination with organochlorine pesticides. *Russian Bulletin of Hygiene.* 2021;(1):35–39. doi: 10.24075/rbh.2021.006 EDN: ISAZQM
20. Kiku PF, Anan'ev VY, Kislitsina LV, et al. The risk of impact on the health of the population of primorye territory contaminant chemical in food. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2017;24(11):18–22. doi: 10.33396/1728-0869-2017-11-18-22 EDN: ZSKCHR
21. Martinchik AN, Baturin AK, Baeva VS, et al. Examining dietary intake using food frequency analysis: questionnaire development and validation of the method. *Profilaktika zabolevanij i ukreplenie zdorov'ja*. 1998;(5):14–19.
22. Gorbachev DO, Sazonova OV, Borodina LM, et al. Analyzing health risks for employable population caused by food products contamination (experience gained in Samara region). *Health Risk Analysis.* 2019; (3):42–49. doi: 10.21668/health.risk/2019.3.05 EDN: MWCAZJ
23. Frolova OA, Bocharov YP, Tafeeva EA. Assessment of carcinogenic risk associated with chemical exposure from food products. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2023;30(5):385–394. doi: 10.17816/humeco217681 EDN: ZDRUBZ
24. Bogdanova OG, Efimova NV, Bagaeva ME, et al. Risk assessment for public health associated with nitrate content in crop products. *Problems of Nutrition.* 2021;90(3):40–49. doi: 10.33029/0042-8833-2021-90-3-40-49 EDN: FWWDOQ
25. Myslyva TN, Levshuk ON. Carcinogenic and non-carcinogenic risk for the population from the consumption of potatoes and vegetables growing within the limits of agro-residential landscapes. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2021;(4):65–75. doi: 10.46646/2521-683X/2021-4-65-75 EDN: HUNCOP

ОБ АВТОРАХ

*** Фролова Оксана Александровна,** д-р мед. наук, профессор;
адрес: Россия, 420012, Казань, ул. Бутлерова, д. 36;
ORCID: 0000-0002-6675-0563;
eLibrary SPIN: 1920-0311;
e-mail: frolova_oa@mail.ru

Бочаров Евгений Павлович, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0003-0672-5603;
eLibrary SPIN: 5136-5976;
e-mail: e-bocharov@yandex.ru

Тафеева Елена Анатольевна, д-р мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-4161-2463;
eLibrary SPIN: 2265-1810;
e-mail: tafeeva@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Oksana A. Frolova,** MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
address: 36 Butlerov st, Kazan, Russia, 420012;
ORCID: 0000-0002-6675-0563;
eLibrary SPIN: 1920-0311;
e-mail: frolova_oa@mail.ru

Evgeniy P. Bocharov, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-0672-5603;
eLibrary SPIN: 5136-5976;
e-mail: e-bocharov@yandex.ru

Elena A. Tafeeva, MD, Dr. Sci. (Medicine), Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-4161-2463;
eLibrary SPIN: 2265-1810;
e-mail: tafeeva@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author