

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

О.А. Фролова¹, Е.П. Бочаров², Е.А. Тафеева³

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 ПС и ПП 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, деоксиниваленон, 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 одностороннего действия являются кровяная 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. XX–XX. DOI: 10.17816/humeco629338 EDN: HQAXBN

Экология человека | Ekologiya cheloveka (Human Ecology)

Оригинальные исследования | Original study articles

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

EDN: HQAXBN

Рукопись поступила: 22.03.2024 Рукопись одобрена: 08.06.2025 Опубликовано online: 20.06.2025

Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International

© Эко-Вектор, 2025

Accepted for publication

Risk of developing non-carcinogenic effects from exposure to chemicals in food

Oksana A. Frolova¹, Evgeniy P. Bocharov², Elena A. Tafeeva³

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 maximum permissible doses and concentrations, may pose a risk to public health.

AIM: Assessment of non-carcinogenic risk to the health of the population of the Republic of Tatarstan caused by chemical contamination of food raw materials and food products based on regional exposure factors.

METHODS: To assess the risk, the results of studies of food raw materials and food products for the period 2008–2022, carried out by the testing laboratory center of the FBUZ "Center for Hygiene and Epidemiology in the Republic of Tatarstan (Tatarstan)" were used. Calculations were made for the following groups of food raw materials and foodstuffs: meat and meat products; fish and fish products; milk and dairy products; bread and bakery products; sugar and confectionery; vegetables and melons (excluding potatoes); potato; fruits and berries; vegetable oils; eggs.

RESULTS: As a result of hazard identification, priority substances contained in food products for subsequent assessment of carcinogenic risk were identified: α -lindane, β -lindane, bazudine, benzo(a)pyrene, heptachlor, deoxynivalenol, DDT, iron, cadmium, lindane, copper, arsenic, sodium fluoride, sodium chlorite, nitrates, nitrites, 2,4-D acid derivatives, mercury, lead, phosphamide, fluorine, zinc, cypermethrin. It has been established that the greatest likelihood of developing adverse effects from the influence of chemicals contaminating food raw materials and food products exists for the nervous system (HI up to 18.89), blood (HI up to 9.71), liver (HI up to 7.71), kidneys (HI up to 5.71), reproductive and endocrine systems (HI up to 3.94).

CONCLUSION: The development of adverse non-carcinogenic effects is caused mainly by contamination of food with phosphamide (when consuming bread and bakery products, fruits and berries), nitrates (when consuming vegetables, melons, bread and bakery products, potatoes) and lindane (when consuming milk and dairy products, bread and bakery products, vegetables and melons). The most vulnerable, from the point of view of the development of general toxic effects from exposure to chemicals of unidirectional action, are the hematopoietic and nervous systems, liver, kidneys, as well as developmental processes.

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 developing non-carcinogenic effects from exposure to chemicals in food. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(3):XX–XX. DOI: 10.17816/humeco629338 EDN: HQAXBN

Submitted: 22.03.2024

Accepted: 08.06.2025

Published online: 20.06.2025

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 [Ошибка! Источник ссылки не найден., **Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

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 заболеваний² [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

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 накапливаться как в ПС, так и в организме человека, оказывая токсическое воздействие на различные органы и системы [4–6]. Хроническое воздействие микотоксинов ассоциируется с нарушениями 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 [Ошибка! Источник ссылки не найден.–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 [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. В РФ методологию анализа риска для здоровья населения также рассматривают как один из инструментов обоснования гигиенических критериев безопасности ПП [Ошибка! Источник ссылки не найден.–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 [Ошибка! Источник ссылки не найден.–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

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 объединённых наций [интернет]. Женева: Всемирная организация объединённых наций, 2024–2024. Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/food-safety> Дата обращения: 15.03.2024.

(Р 2.1.10.3968–23)³. Расчёты проводили для концентраций ЗВ в ПС и ПП на уровне медианы (Me) и 90-го перцентиля (Р 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.

Критерии отбора химических веществ в список приоритетных для последующего анализа, а также условия исключения применяли в соответствии с рекомендациями, изложенными в Р 2.1.10.3968–23³. 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 (ОБДХ) 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 стандартизованного опросника А.Н. Мартинчика с соавт. [Ошибка! Источник ссылки не найден.], 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–IV сценарии), 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 Р 90.

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

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.

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

, (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:

$$Contr_i = \frac{C_i \times M_i}{\sum_{i=1}^N C_i \times M_i} \times 100\%$$

, (2)

где $Contr_i$ — вклад i -го продукта в общее значение экспозиции; C_i — содержание контаминанта в i -м продукте, мг/кг; M_i — потребление i -го продукта, 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 рисков. Коэффициент опасности рассчитывали по формуле:

$$HQ_i = \frac{AD_i}{RfD_i}$$

, (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:

$$HI_k = \sum HQ_i$$

, (4)

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

Риск оценивали как:

- минимальный — при $HQ \leq 0,1$ и $HI \leq 1,0$;
- 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 Р 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 (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 Р 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, 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 (НҚ), показал, что для сценария I значения НҚ для всех веществ находятся на допустимом уровне (табл. 4). При этом установлено, что экспозиция базудином и производными 2,4-Д кислоты отсутствует, а значения НҚ для бенз(а)пирена, ДДТ и его метаболитов, железа, γ -, α - и β -ГХЦГ, кадмия, мышьяка, нитритов, цинка, ртути, свинца, фтора, циперметрина находятся на минимальном (целевом) уровне (НҚ < 0,1). Наибольшие значения НҚ зафиксированы для деоксиниваленола и нитратов (см. табл. 4).

Во II сценарии значения НҚ варьируют от минимальных (для бенз(а)пирена, железа, производных 2,4-Д кислоты, циперметрина) достораживающих (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 НҚ для всех приоритетных веществ, кроме нитратов, находятся на допустимом уровне. В свою очередь, значение НҚ для нитратов составило 1,12, что оценили какстораживающий риск.

В IV сценарии значения НҚ варьируют от допустимых (для деоксиниваленола, натрия фторида, фтора, базудина, гептахлора, кадмия, свинца, цинка, ртути, α -ГХЦГ) достораживающих (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 НҚ 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 одностороннего 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 среднелюдиного годового потребления ПП, так и индивидуального среднегодового потребления, полученные в результате оценки фактического питания. Последний подход более точно отражает степень влияния алиментарных контаминантов [Ошибка! Источник ссылки не найден., 23].

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. [Ошибка! Источник ссылки не найден., 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 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 23.11.21). 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

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](https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.01) EDN: [YUGRWH](https://doi.org/10.17816/humeco629338)

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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1186/s12199-019-0825-5) EDN: [XDAHGP](#)
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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.4.04) EDN: [YLYTUA](#)
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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.21149/12297) EDN: [GZNGWB](#)
12. Scorza FA, Beltramini L, Bombardi LM. Pesticide exposure and human health: toxic legacy. *Clinics*. 2023;78:100249. doi: [10.1016/j.clinsp.2023.100249](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1007/978-981-19-7834-0_8)
14. Zaitseva NV. Analysis of population health risks in the Russian Federation caused by food products contamination. *Health Risk Analysis*. 2018; (4):13–23. doi: [10.21668/health.risk/2018.4.02](https://doi.org/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](https://doi.org/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 substances in 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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.05) EDN: [MWCAZI](#)

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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-4-65-75) EDN: [HUNCOP](#)

ОБ АВТОРАХ/ AUTHORS' INFO

Автор, ответственный за переписку:	
* Фролов 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	* 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
Соавторы:	
Бочаров Евгений Павлович , канд. мед. наук; ORCID: 0000-0003-0672-5603 ; eLibrary SPIN: 5136-5976; e-mail: e-bocharov@yandex.ru	Evgeniy P. Bocharov , MD, Cand. Sci. (Medicine); ORCID: 0000-0003-0672-5603 ; eLibrary SPIN: 5136-5976; e-mail: e-bocharov@yandex.ru
Тafeeva Елена Анатольевна , д-р мед. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-4161-2463 ; eLibrary SPIN: 2265-1810; e-mail: tafeeva@mail.ru	Elena A. Tafeeva , MD, Dr. Sci. (Medicine), Assistant Professor; ORCID: 0000-0002-4161-2463 ; eLibrary SPIN: 2265-1810; e-mail: tafeeva@mail.ru

РИСУНКИ

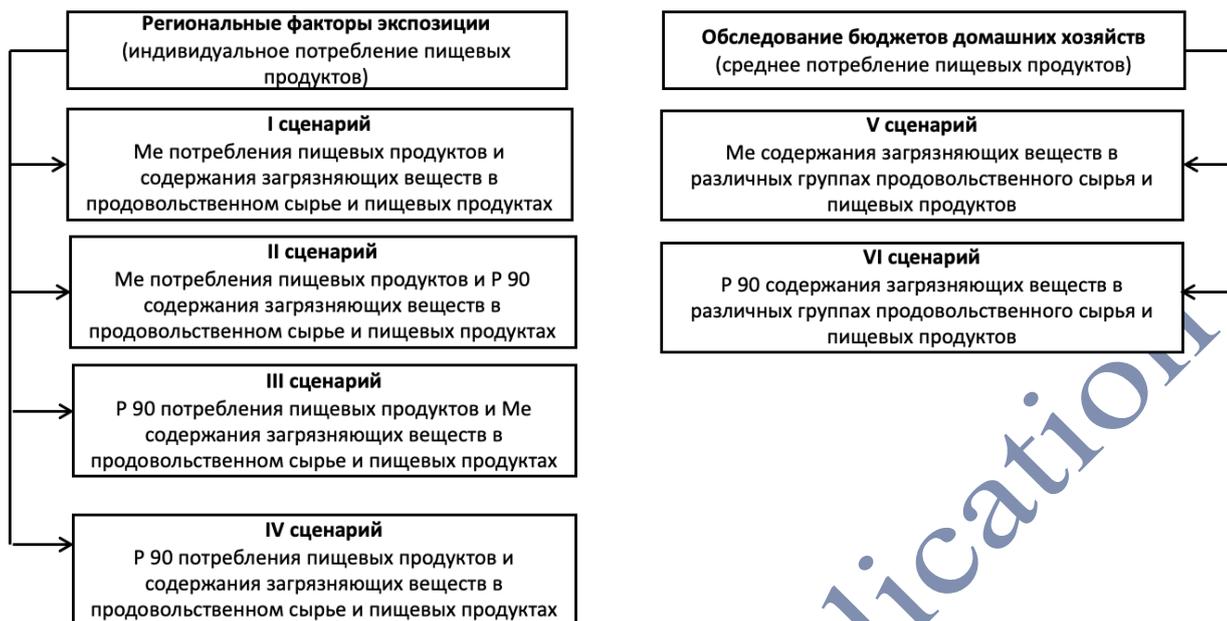


Рис. 1 Сценарии экспозиции, используемые при оценке риска: Ме — медиана; P 90 — 90-й процентиль.

Fig. 1 Exposure scenarios used in risk assessment

ТАБЛИЦЫ**Таблица 1.** Количество пищевых продуктов, потребляемое населением Республики Татарстан, кг/день**Table 1.** The amount of food consumed 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.

Accepted for publication

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

Table 2 – The content of pollutants in products (P_50/P_90), 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.

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

Table 3. The average daily dose of substances polluting PP (mg/kg per day)

Химические вещества	Сценарий экспозиции					
	I	II	III	IV	V	VI
α-Гексахлорциклогексан	$2,2 \times 10^{-5}$	$6,9 \times 10^{-4}$	$8,1 \times 10^{-5}$	$1,9 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-3}$
β-Гексахлорциклогексан	$1,9 \times 10^{-5}$	$5,5 \times 10^{-4}$	$8,5 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-4}$	$9,8 \times 10^{-4}$
Базудин	—	$1,9 \times 10^{-4}$	—	$5,6 \times 10^{-4}$	—	$1,5 \times 10^{-4}$
Бенз(а)пирен	$1,5 \times 10^{-7}$	$2,0 \times 10^{-6}$	$4,1 \times 10^{-7}$	$5,7 \times 10^{-6}$	$3,3 \times 10^{-7}$	$6,4 \times 10^{-6}$
Гептахлор	$1,3 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-4}$	$4,3 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-4}$	$3,0 \times 10^{-4}$
Деоксиниваленол	$4,2 \times 10^{-4}$	$4,2 \times 10^{-4}$	$9,8 \times 10^{-4}$	$9,8 \times 10^{-4}$	$4,1 \times 10^{-4}$	$4,1 \times 10^{-4}$
ДДТ и его метаболиты	$3,4 \times 10^{-5}$	$3,7 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$6,6 \times 10^{-5}$	$6,9 \times 10^{-4}$
Железо (Fe)	$2,2 \times 10^{-3}$	0,011	0,007	0,031	0,009	0,042
Кадмий (Cd)	$1,3 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-4}$	$3,6 \times 10^{-5}$	$5,1 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-5}$	$3,2 \times 10^{-4}$
γ-Гексахлорциклогексан	$9,4 \times 10^{-6}$	$3,5 \times 10^{-4}$	$2,7 \times 10^{-5}$	$9,9 \times 10^{-4}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$6,8 \times 10^{-4}$
Медь (Cu)	$2,3 \times 10^{-3}$	0,016	0,006	0,041	0,004	0,025
Мышьяк (As)	$1,4 \times 10^{-5}$	$2,5 \times 10^{-4}$	$3,8 \times 10^{-5}$	$6,5 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-5}$	$4,9 \times 10^{-4}$
Натрий фторид	$6,8 \times 10^{-3}$	0,007	0,02	0,022	0,028	0,03
Натрий хлорит	$6,5 \times 10^{-3}$	0,014	0,019	0,042	0,009	0,021
Нитраты	0,617	3,138	1,796	9,122	0,857	3,489
Нитриты	$8,1 \times 10^{-3}$	0,055	0,019	0,131	0,016	0,109
Производные 2,4-Д кислоты	—	$2,8 \times 10^{-4}$	—	$7,7 \times 10^{-4}$	—	$6,2 \times 10^{-4}$
Ртуть (Hg)	$4,3 \times 10^{-6}$	$3,8 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$7,5 \times 10^{-6}$	$5,6 \times 10^{-5}$
Свинец (Pb)	$2,3 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$6,1 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-3}$
Фосфамид	$3,1 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$9,3 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-3}$
Фтор (F)	$3,6 \times 10^{-3}$	$7,2 \times 10^{-3}$	0,011	0,021	0,015	0,029
Цинк (Zn)	0,013	0,075	0,035	0,193	0,021	0,108
Циперметрин	$2,5 \times 10^{-5}$	$2,8 \times 10^{-5}$	$7,9 \times 10^{-5}$	$9,1 \times 10^{-5}$	$3,7 \times 10^{-5}$	$5,5 \times 10^{-5}$

Примечание. ДДТ — дихлордифенилтрихлорметилметан.

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

Table 4. HQ of chemical substances according to exposure scrips

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.

Таблица 5. Распределение критических органов и систем по величине индекса опасности для веществ одностороннего действия

Table 5. Distribution of critical organs and systems by HI value for substances with unidirectional 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

Экология человека | Ekologiya cheloveka (Human Ecology)

Оригинальные исследования | Original study articles

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

EDN: HQAXBN

Accepted for publication