

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco217681>

Оценка канцерогенного риска воздействия химических веществ, поступающих с пищевыми продуктами, на основе региональных факторов экспозиции

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

¹ Казанская государственная медицинская академия — филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования, Казань, Российская Федерация;

² Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан), Казань, Российская Федерация;

³ Казанский государственный медицинский университет, Казань, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время накоплено достаточно данных, свидетельствующих о рисках развития различных токсических эффектов из-за воздействия химических веществ, поступающих в организм человека с загрязнёнными продуктами питания.

Цель. Оценка канцерогенного риска здоровью населения Республики Татарстан, связанного с химическим загрязнением пищевых продуктов, на основе региональных факторов экспозиции.

Методы. Для оценки риска использованы результаты исследований продовольственного сырья и пищевых продуктов за 2006–2019 гг., выполненных в испытательном лабораторном центре ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан». Расчёты проводили по следующим группам продовольственного сырья и продуктов питания: мясо и мясopодукты; рыба и рыбopодукты; молоко и молочные продукты; хлеб и хлебобулочные изделия; сахар и кондитерские изделия; овощи и бахчевые (исключая картофель); картофель; фрукты и ягоды; растительные масла; яйца.

Результаты. В результате идентификации опасности установлено, что приоритетными для последующей оценки канцерогенного риска являются следующие вещества, содержащиеся в продуктах питания: гексахлоран, α -линдан, β -линдан, линдан, гептахлор, циперметрин, дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) и его метаболиты, бенз(а)пирен, производные 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д), мышьяк, кадмий, свинец. Установлено, что суммарный канцерогенный риск воздействия изучаемых химических веществ, загрязняющих продукты питания, колеблется от настоящего живающего ($7,9 \times 10^{-4}$) до высокого (от $2,2 \times 10^{-3}$ до $1,9 \times 10^{-2}$) для различных схем экспозиции.

Заключение. Суммарный канцерогенный риск формируется преимущественно в результате загрязнения пестицидами (гептахлор, α -линдан, β -линдан, линдан) и мышьяком, поступающими в основном с овощами, хлебом и хлебобулочными изделиями, молоком и молочными продуктами.

Ключевые слова: продовольственное сырьё; пищевые продукты; тяжёлые металлы, пестициды; экспозиция; канцерогенный риск; здоровье.

Как цитировать:

Фролова О.А., Бочаров Е.П., Тафеева Е.А. Оценка канцерогенного риска воздействия химических веществ, поступающих с пищевыми продуктами, на основе региональных факторов экспозиции // Экология человека. 2023. Т. 30, № 5. С. 385–394. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco217681>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco217681>

Assessment of carcinogenic risk associated with chemical exposure from food products

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

¹ Kazan State Medical Academy — Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Kazan, Russian Federation;

² Center for Hygiene and Epidemiology in the Republic of Tatarstan (Tatarstan), Kazan, Russian Federation;

³ Kazan State Medical University, Kazan, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: A substantial amount of data has been accumulated on the risks of developing toxic effects caused by exposure to chemicals that enter the human body with contaminated food items.

AIM: To assess the carcinogenic risk posed to the population's health in the Republic of Tatarstan due to chemical contamination in food products, considering regional exposure factors

METHODS: Data were obtained from the studies of food raw materials and food products performed by the testing laboratory center of the Center for Hygiene and Epidemiology in the Republic of Tatarstan (Tatarstan) in 2006–2019. Calculations of the carcinogenic risks were performed for the following food categories: meat and meat products, fish and fish products, milk and dairy products, bread and bakery products, sugar and confectionery, vegetables and melons (excluding potatoes), potatoes, fruits and berries, vegetable oils, and eggs.

RESULTS: Based on the hazard identification, it has been determined that the following substances present in food require immediate attention for the assessment of their potential carcinogenic risk: hexachlorane, α -lindane, β -lindane, lindane, heptachlor, cypermethrin, dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and its metabolites, benzo(a)pyrene, derivatives of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), arsenic, cadmium, and lead. The total carcinogenic risk from exposure to the studied chemicals that contaminate food products ranges from worrying (7.9×10^{-4}) to high (from 2.2×10^{-3} to 1.9×10^{-2}) for various exposure schemes.

CONCLUSION: The overall carcinogenic risk primarily arises from contamination with pesticides: heptachlor, α -lindane, β -lindane, lindane and arsenic originating mainly from vegetables, bread and bakery products, milk and dairy products.

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

To cite this article:

Frolova OA, Bocharov YeP, Tafeeva EA. Assessment of carcinogenic risk associated with chemical exposure from food products. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(5):385–394. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco217681>

Received: 10.02.2023

Accepted: 07.08.2023

Published online: 22.08.2023

ВВЕДЕНИЕ

За последние 40 лет достигнуты значительные успехи в понимании того, как химические вещества и токсины, содержащиеся в продуктах питания (ПП), могут самым разнообразным образом воздействовать на здоровье человека [1]. Влияние питания на организм человека рассматривается не только с точки зрения обеспечения физиологических потребностей в пищевых веществах и энергии, но и с позиции потенциальных рисков, обусловленных антропогенными контаминантами [2, 3].

В настоящее время накоплено много данных, свидетельствующих о рисках развития токсических эффектов, обусловленных воздействием химических веществ, поступающих в организм человека с загрязнёнными ПП. К ним относятся риски развития заболеваний сердечно-сосудистой системы, связанные с поступлением мышьяка [4]; когнитивные нарушения и нейротоксические эффекты, обусловленные воздействием свинца [5]; нарушения роста и веса детей, а также иммунные дисфункции, вызванные поступлением микотоксинов [6, 7]; хронические заболевания почек, обусловленные воздействием кадмия и охратоксина А [8].

Опасность тяжёлых металлов (ТМ) заключается в том, что благодаря способности накапливаться в жизненно важных органах (печень, почки, сердце, головной мозг) они способны нарушать основные метаболические процессы, оказывают негативное воздействие на функции центральной нервной системы, активность ферментов и гормонов. Оксидативный стресс, возникающий в результате воздействия ТМ, может привести к различным видам рака, неврологическим расстройствам, повреждению функции печени, почек, а также эндокринным нарушениям [9–11].

Методология оценки риска здоровью является важным инструментом при регулировании отношений в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения (организации риск-ориентированного надзора (контроля)) в самых разных сферах, в том числе при обеспечении безопасности пищевой продукции [12, 13].

Цель исследования. Оценка канцерогенного риска здоровью населения Республики Татарстан, связанного с химическим загрязнением пищевых продуктов, на основе региональных факторов экспозиции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Оценку риска здоровью населения проводили в соответствии с Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920-04)¹.

Для оценки риска были использованы результаты исследований продовольственного сырья (ПС) и ПП за 2006–2019 гг., выполненные в испытательном лабораторном центре ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)».

При определении экспозиции и канцерогенного риска ПС и ПП были распределены на следующие группы: мясо и мясopодукты; рыба и рыбopодукты; молоко и молочные продукты; хлеб и хлебобулочные изделия; сахар и кондитерские изделия; овощи и бахчевые (исключая картофель); картофель; фрукты и ягоды; растительные масла; яйца. Суточные дозы химических веществ рассчитывали по методике, представленной в Методических указаниях МУ 2.3.7–2519–09 «Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население»². Расчёты были проведены для концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в ПС и ПП на уровне медианы и 90-го перцентиля. С учётом того факта, что при лабораторных исследованиях определяется общее содержание мышьяка, а канцерогеном является неорганический мышьяк, при проведении расчётов канцерогенного риска нами были использованы соответствующие коэффициенты для различных групп продуктов (от установленного значения общего содержания мышьяка) [14].

При определении фактического количества потребляемых населением Республики Татарстан ПП применяли метод изучения фактического питания по анализу частоты потребления пищи с использованием стандартизированного опросника [15].

Риск здоровью оценивали для шести различных вариантов экспозиции: I вариант — на основе медианных значений (Me) индивидуального потребления ПП и содержания ЗВ в различных группах ПС и ПП (для определения среднего уровня поступления ЗВ); II вариант — по Me индивидуального потребления ПП и 90-му перцентилю (P 90) содержания ЗВ в различных группах ПС и ПП (для определения уровня воздействия ЗВ при верхней границе контаминации); III вариант — на основе P 90 индивидуального потребления ПП и Me содержания ЗВ в различных группах ПС и ПП (для определения уровня поступления ЗВ при употреблении повышенного количества ПП); IV вариант — на основе значений P 90 индивидуального потребления ПП и содержания ЗВ в различных группах ПС и ПП (для «наихудшего» сценария — при потреблении населением повышенного количества ПП в сочетании с загрязнением ПС и ПП на уровне верхней границы контаминации); V вариант — на основе среднего уровня потребления ПП, определённого при выборочном обследовании бюджетов домашних хозяйств (ОБДХ) и Me

¹ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04 (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 5 марта 2004 г.). Дата обращения: 15.11.2022. Доступ по ссылке: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399>

² Методические указания МУ 2.3.7-2519-09 «Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 5 июня 2009 г.). Дата обращения: 15.11.2022. Доступ по ссылке: <https://docs.cntd.ru/document/1200080418>

содержания ЗВ в различных группах ПС и ПП (для определения уровня ЗВ при индивидуальном уровне потребления ПП и среднем уровне поступления ЗВ с ПС и ПП); VI вариант — на основе среднего уровня потребления ПП, определённого при выборочном ОБДХ, и Р 90 содержания ЗВ в различных группах ПС и ПП (для определения уровня поступления ЗВ при индивидуальном уровне потребления ПП с поступлением ЗВ на уровне верхней границы контаминации ПС и ПП).

РЕЗУЛЬТАТЫ

На 1-м этапе оценки риска (идентификация опасности) установлен перечень приоритетных для оценки риска развития канцерогенных эффектов веществ. Эти вещества отбирали из 130 химических веществ, обнаруживаемых при лабораторных испытаниях в ПС и ПП. Критерии отбора химических веществ в список приоритетных для последующего анализа, а также условия исключения применяли в соответствии с рекомендациями (см. Р 2.1.10.1920-04). Список приоритетных для последующего анализа включал следующие вещества, содержащиеся в ПС и ПП: гексахлоран, α -линдан, β -линдан, линдан, гептахлор, циперметрин, дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) и его метаболиты, бенз(а)пирен, производные 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д), мышьяк, кадмий, свинец.

На 2-м этапе (оценка зависимости доза-эффект) использовали значения факторов наклона (канцерогенного потенциала) для перорального поступления канцерогенов,

отражающие рост вероятности развития канцерогенного эффекта при увеличении дозы на 1 мг/кг. Из учтённых канцерогенных веществ наиболее высокими значениями фактора наклона характеризуются бенз(а)пирен ($SF_0=7,3$ (мг/(кг×сут))⁻¹), α -линдан ($SF_0=6,3$), гептахлор ($SF_0=4,5$), гексахлоран ($SF_0=1,8$), β -линдан ($SF_0=1,8$) и мышьяк ($SF_0=1,5$).

На 3-м этапе оценки риска (оценка экспозиции) установлены различные варианты экспозиции, проведена оценка фактического питания населения Республики Татарстан.

На заключительном этапе рассчитан риск и дана его характеристика. Количество потребляемых взрослым населением республики ПП, использованное для расчёта риска в соответствии с различными вариантами экспозиции, представлено в табл. 1.

Суммарный индивидуальный канцерогенный риск (ICR), рассчитанный по варианту I, оценивается как настояжывающий — $7,90 \times 10^{-4}$. Основные вещества, вносящие наибольший вклад в развитие ICR: гептахлор (71,40%), α -линдан (17,30%), β -линдан (4,40%), As (2,70%), линдан (1,50%), ДДТ (1,50%), Cd (0,60%) (табл. 2). Вклад ПП в величину ICR составил: за счёт овощей и бахчевых — 22,60% ($1,8 \times 10^{-4}$); хлеба и хлебобулочных изделий — 18,0% ($1,4 \times 10^{-4}$); картофеля — 17,80% ($1,4 \times 10^{-4}$); фруктов и ягод — 13,60% ($1,1 \times 10^{-4}$); молока и молочных продуктов — 13,0% ($1,0 \times 10^{-4}$); мяса и мясopодуков — 7,80% ($6,1 \times 10^{-5}$); сахара и кондитерских изделий — 2,70% ($2,1 \times 10^{-5}$); растительных масел — 1,90% ($1,5 \times 10^{-5}$); рыбы

Таблица 1. Количество продуктов питания, потребляемых взрослым населением Республики Татарстан, кг/день

Table 1. The amount of food consumed by the adult population of the Republic of Tatarstan (kg/day)

Пищевые продукты Food products	Фактическое потребление The actual consumption		ОБДХ — 95% верхняя доверительная граница среднего значения HBS — 95% upper confidence limit of the mean value (M)
	Me	P 90	
Мясо и мясopодуки Meat and meat products	0,10	0,25	0,22
Рыба и рыбopодуки Fish and fish products	0,01	0,03	0,05
Молоко и молочные продукты Milk and dairy products	0,18	0,52	0,79
Хлеб и хлебобулочные изделия Bread and bakery products	0,27	0,62	0,28
Сахар и кондитерские изделия Sugar and confectionery	0,04	0,11	0,09
Овощи и бахчевые (исключая картофель) Vegetables and gourds (excluding potatoes)	0,29	0,85	0,29
Картофель Potato	0,04	0,16	0,25
Фрукты и ягоды Fruits and berries	0,21	0,63	0,23
Растительные масла Vegetable oils	0,01	0,03	0,02
Яйца Eggs	0,01	0,03	0,04

Примечание: ОБДХ — обследование бюджетов домашних хозяйств.

Note: HBS — household budget survey.

Таблица 2. Ранжирование канцерогенных веществ по вкладу в суммарный индивидуальный канцерогенный риск (ICR) (варианты экспозиции I, II)**Table 2.** Ranking of substances according to their contribution to the total individual carcinogenic risk (ICR) (exposure options I, II)

Химические соединения Chemical compounds	Вариант I Option I		Вариант II Option II	
	Вклад, % Contribution, %	ICR	Вклад, % Contribution, %	ICR
α-Линдан α-Lindane	17,30	$1,4 \times 10^{-4}$	47,5	$3,2 \times 10^{-3}$
β-Линдан β-Lindane	4,40	$3,5 \times 10^{-5}$	11,8	$7,9 \times 10^{-4}$
Линдан Lindane	1,50	$1,2 \times 10^{-5}$	4,7	$3,2 \times 10^{-4}$
Гексахлоран Hexachloran	0,08	$5,6 \times 10^{-7}$	0,1	$7,03 \times 10^{-6}$
Гептахлор Heptachlor	71,40	$5,6 \times 10^{-4}$	24,6	$1,7 \times 10^{-3}$
Циперметрин Cypermethrin	0,070	$4,8 \times 10^{-7}$	3,0	$2,02 \times 10^{-4}$
ДДТ и метаболиты DDT and metabolites	1,50	$1,2 \times 10^{-5}$	1,3	$8,9 \times 10^{-5}$
2,4-Д 2,4-D	0	0	0,1	$5,4 \times 10^{-6}$
Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene	0,15	$1,1 \times 10^{-6}$	0,2	$1,5 \times 10^{-5}$
Мышьяк (As) Arsenic (As)	2,70	$2,1 \times 10^{-5}$	5,6	$3,7 \times 10^{-4}$
Кадмий (Cd) Cadmium (Cd)	0,60	$4,9 \times 10^{-6}$	1,0	$6,9 \times 10^{-5}$
Свинец (Pb) Lead (Pb)	0,30	$1,9 \times 10^{-6}$	0,1	$8,2 \times 10^{-6}$
Суммарный ICR Total ICR	100	$7,9 \times 10^{-4}$	100	$6,7 \times 10^{-3}$

и рыбопродуктов — 1,80% ($1,4 \times 10^{-5}$); яиц — 0,87% ($6,9 \times 10^{-6}$).

Суммарный канцерогенный риск, рассчитанный по варианту II, оценивается как высокий и составляет $6,7 \times 10^{-3}$. Наибольший вклад вносят α-линдан — 47,5% ($3,2 \times 10^{-3}$); гептахлор — 24,6% ($1,7 \times 10^{-3}$); β-линдан — 11,8% ($7,9 \times 10^{-4}$); As — 5,6% ($3,7 \times 10^{-4}$); линдан — 4,7% ($3,2 \times 10^{-4}$); циперметрин — 3,0% ($2,02 \times 10^{-4}$); ДДТ — 1,3% ($8,9 \times 10^{-5}$); Cd — 1,0% ($6,9 \times 10^{-5}$) (см. табл. 2). Структуру суммарного канцерогенного риска по варианту II формируют следующие группы продуктов: 30,10% ($2,1 \times 10^{-3}$) — хлеб и хлебобулочные изделия; 24,10% ($1,7 \times 10^{-3}$) — овощи и бахчевые; 13,70% ($9,7 \times 10^{-4}$) — фрукты и ягоды; 11,30% ($7,9 \times 10^{-4}$) — молоко и молочные продукты; 9,50% ($6,7 \times 10^{-4}$) — мясо и мясопродукты; 4,80% ($3,4 \times 10^{-4}$) — сахар и кондитерские изделия; 4,0% ($2,8 \times 10^{-4}$) — картофель; 1,30% ($9,2 \times 10^{-5}$) — растительные масла; 0,68% ($4,8 \times 10^{-5}$) — рыба и рыбопродукты; 0,56% ($3,9 \times 10^{-5}$) — яйца.

Согласно расчётам по варианту III (уровень поступления ЗВ при употреблении повышенного количества ПП), суммарный канцерогенный риск классифицируется как высокий ($2,4 \times 10^{-3}$). Наибольший вклад вносят гептахлор (66,1%), α-линдан (21,3%), β-линдан (6,3%), As (2,4%), линдан (1,5%), ДДТ (1,3%), Cd (0,6%) (табл. 3). Суммарный канцерогенный риск, согласно расчётам по варианту III, формируется за счёт следующих ПП: картофель — 24,0% ($5,8 \times 10^{-4}$); овощи и бахчевые — 21,9% ($5,3 \times 10^{-4}$); хлеб и хлебобулочные изделия — 13,8% ($3,3 \times 10^{-4}$); фрукты и ягоды — 13,4% ($3,2 \times 10^{-4}$); молоко и молочные

продукты — 12,6% ($3,0 \times 10^{-4}$); мясо и мясопродукты — 6,0% ($1,5 \times 10^{-4}$); рыба и рыбопродукты — 3,1% ($7,6 \times 10^{-5}$); сахар и кондитерские изделия — 2,4% ($5,8 \times 10^{-5}$); растительные масла — 1,8% ($4,4 \times 10^{-5}$); яйца — 0,9% ($2,2 \times 10^{-5}$).

Канцерогенный риск, рассчитанный по варианту IV, оценивается как высокий ($1,95 \times 10^{-2}$). Он формируется по большей части за счёт α-линдана (61,7%), β-линдана (13,5%), гептахлора (9,8%), линдана (6,6%), As (5,0%), ДДТ (1,8%), Cd (1,0%) (см. табл. 3). Группы продуктов, формирующие структуру суммарного канцерогенного риска при данном варианте экспозиции, ранжируются в следующем порядке: овощи и бахчевые — 25,70% ($5,0 \times 10^{-3}$); хлеб и хлебобулочные изделия — 25,30% ($4,95 \times 10^{-3}$); фрукты и ягоды — 14,90% ($2,9 \times 10^{-3}$); молоко и молочные продукты — 11,90% ($2,3 \times 10^{-3}$); мясо и мясопродукты — 8,1% ($1,6 \times 10^{-3}$); картофель — 5,9% ($1,2 \times 10^{-3}$); кондитерские изделия — 4,70% ($9,2 \times 10^{-4}$); растительные масла — 1,30% ($2,6 \times 10^{-4}$); рыба и рыбопродукты — 1,30% ($2,6 \times 10^{-4}$); яйца — 0,63% ($1,2 \times 10^{-4}$).

Согласно расчётам по варианту V, суммарный канцерогенный риск характеризуется как высокий ($1,97 \times 10^{-3}$). Основной вклад вносят гептахлор (51,4%), α-линдан (31,9%), β-линдан (10,1%), As (3,1%), линдан (1,5%), ДДТ (1,1%), Cd (0,5%) (табл. 4). Структура вклада ПП в суммарный канцерогенный риск при расчётах согласно варианту V: картофель — 43,9% ($8,6 \times 10^{-4}$); молоко и молочные продукты — 21,5% ($4,2 \times 10^{-4}$); овощи и бахчевые — 7,4% ($1,5 \times 10^{-4}$); хлеб и хлебобулочные изделия — 7,1% ($1,4 \times 10^{-4}$); мясо и мясопродукты — 6,1% ($1,2 \times 10^{-4}$);

фрукты и ягоды — 5,6% ($1,1 \times 10^{-4}$); рыба и рыбопродукты — 3,2% ($6,2 \times 10^{-5}$); сахар и кондитерские изделия — 2,3% ($4,6 \times 10^{-5}$); растительные масла — 1,5% ($3,0 \times 10^{-5}$); яйца — 1,4% ($2,8 \times 10^{-5}$).

Суммарный канцерогенный риск, рассчитанный по варианту VI, относится к высокому ($1,2 \times 10^{-2}$). Формируется он по большей части за счёт α -линдана (56,9%), β -линдана (14,6%), гептахлора (11,3%), линдана (7,3%), As (6,0%),

Таблица 3. Ранжирование канцерогенных веществ по вкладу в суммарный индивидуальный канцерогенный риск (ICR) (варианты экспозиции III, IV)

Table 3. Ranking of substances according to their contribution to the total individual carcinogenic risk (ICR) (exposure options III, IV)

Химические соединения Chemical compounds	Вариант III Option III		Вариант IV Option IV	
	Вклад, % Contribution, %	ICR	Вклад, % Contribution, %	ICR
α -Линдан α -Lindane	21,3	$5,1 \times 10^{-4}$	61,7	$1,2 \times 10^{-2}$
β -Линдан β -Lindane	6,3	$1,5 \times 10^{-4}$	13,5	$2,6 \times 10^{-3}$
Линдан Lindane	1,5	$3,6 \times 10^{-5}$	6,6	$1,3 \times 10^{-3}$
Гексахлоран Hexachloran	0,1	$1,8 \times 10^{-6}$	0,1	$2,3 \times 10^{-5}$
Гептахлор Heptachlor	66,1	$1,6 \times 10^{-3}$	9,8	$1,9 \times 10^{-3}$
Циперметрин Cypermethrin	0,1	$1,5 \times 10^{-6}$	0,0	$1,7 \times 10^{-6}$
ДДТ и метаболиты DDT and metabolites	1,3	$3,4 \times 10^{-5}$	1,8	$3,6 \times 10^{-4}$
2,4-Д 2,4-D	0,0	0	0,1	$1,5 \times 10^{-5}$
Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene	0,1	$2,9 \times 10^{-6}$	0,2	$4,2 \times 10^{-5}$
Мышьяк (As) Arsenic (As)	2,4	$5,7 \times 10^{-5}$	5,0	$9,7 \times 10^{-4}$
Кадмий (Cd) Cadmium (Cd)	0,6	$1,4 \times 10^{-5}$	1,0	$1,9 \times 10^{-4}$
Свинец (Pb) Lead (Pb)	0,2	$5,2 \times 10^{-6}$	0,2	$2,9 \times 10^{-5}$
Суммарный ICR Total ICR	100	$2,4 \times 10^{-3}$	100	$1,9 \times 10^{-2}$

Таблица 4. Ранжирование канцерогенных веществ по вкладу в суммарный индивидуальный канцерогенный риск (ICR) (варианты экспозиции V, VI)

Table 4. Ranking of substances according to their contribution to the total individual carcinogenic risk (ICR) (exposure options V, VI)

Химические соединения Chemical compounds	Вариант V Option V		Вариант VI Option VI	
	Вклад, % Contribution, %	ICR	Вклад, % Contribution, %	ICR
α -Линдан α -Lindane	31,9	$6,9 \times 10^{-4}$	56,9	$7,5 \times 10^{-3}$
β -Линдан β -Lindane	10,1	$2,2 \times 10^{-4}$	14,6	$1,9 \times 10^{-3}$
Линдан Lindane	1,5	$3,2 \times 10^{-5}$	7,3	$9,7 \times 10^{-4}$
Гексахлоран Hexachloran	0,1	$2,6 \times 10^{-6}$	0,3	$3,2 \times 10^{-5}$
Гептахлор Heptachlor	51,4	$1,1 \times 10^{-3}$	11,3	$1,5 \times 10^{-3}$
Циперметрин Cypermethrin	0	$7,6 \times 10^{-7}$	0	$1,1 \times 10^{-6}$
ДДТ и метаболиты DDT and metabolites	1,1	$2,5 \times 10^{-5}$	2,0	$2,6 \times 10^{-4}$
2,4-Д 2,4-D	0,0	0	0,1	$1,3 \times 10^{-5}$
Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene	0,1	$2,7 \times 10^{-6}$	0,4	$5,1 \times 10^{-5}$
Мышьяк (As) Arsenic (As)	3,1	$6,6 \times 10^{-5}$	6,0	$7,9 \times 10^{-4}$
Кадмий (Cd) Cadmium (Cd)	0,5	$9,8 \times 10^{-6}$	1,0	$1,4 \times 10^{-4}$
Свинец (Pb) Lead (Pb)	0,2	$3,7 \times 10^{-6}$	0,1	$1,9 \times 10^{-5}$
Суммарный ICR Total ICR	100	$2,2 \times 10^{-3}$	100	$1,3 \times 10^{-2}$

ДДТ (2,0%), Cd (1,0%), бенз(а)пирена (0,4%) (см. табл. 4). Структуру суммарного канцерогенного риска при данном варианте экспозиции формируют следующие группы продуктов: молоко и молочные продукты — 27,0% ($3,3 \times 10^{-3}$); хлеб и хлебобулочные изделия — 17,3% ($2,1 \times 10^{-3}$); картофель — 14,4% ($1,7 \times 10^{-3}$); овощи и бахчевые — 11,5% ($1,4 \times 10^{-3}$); мясо и мясопродукты — 10,9% ($1,3 \times 10^{-3}$); фрукты и ягоды — 8,3% ($1,0 \times 10^{-3}$); сахар и кондитерские изделия — 6,1% ($7,35 \times 10^{-4}$); рыба и рыбопродукты — 1,8% ($2,1 \times 10^{-4}$); растительные масла — 1,5% ($1,8 \times 10^{-4}$); яйца — 1,2% ($1,6 \times 10^{-4}$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Представленная в различных публикациях оценка возможного канцерогенного риска, обусловленного потреблением ПП, содержащих остаточные количества ТМ и пестицидов, населением в различных регионах, свидетельствуют о неприемлемом уровне загрязнения при экспозиции на уровне как медианы, так и 90-го перцентиля [16–18]. С поступлением пестицидов в дозах, превышающих референсные значения, связывают повышенный риск развития различных неврологических, эндокринных нарушений, гепатотоксических эффектов [19, 20]. Присутствие ТМ представляет собой глобальную проблему для здоровья человека, так как многие из них токсичны даже при низких концентрациях. Содержание в ПП кадмия, свинца и мышьяка часто превышает установленные нормативные величины, что отражается на безопасности ПП и может представлять риск для здоровья человека [21]. Исследования показывают, что отсутствие превышений гигиенических нормативов по содержанию ТМ, обладающих канцерогенными свойствами, в аккумулирующих средах (почве и ПП) не исключает негативного влияния на здоровье в виде отдалённых последствий (в частности, развития злокачественных новообразований у населения) [22–25].

В настоящий момент невозможно оценить риск здоровью населения от загрязнения ПП с учётом региональных факторов экспозиции на уровне или ниже регламентируемых значений. Население каждого региона отличается половой, возрастной структурой, уровнем образования, образом жизни, физической активностью и национальной культурой питания, что имеет значение при расчёте показателей оценки риска. Большинство исследователей проводят анализ риска здоровью, основываясь на ведомственных статистических данных, где рассчитывается в основном только среднедушевое потребление ПП. Авторы даже не всегда указывают источник полученных сведений о потреблении ПП, а оценку проводят на уровне средних концентраций [2, 16, 17].

Зарубежные учёные в своих работах по оценке риска и ущерба здоровью в результате воздействия химических веществ в малых концентрациях поднимают вопросы о необходимости учёта параметров, влияющих на экспозицию

вредных веществ, таких как возраст, стиль жизни, пищевое поведение, вредные привычки и т.п. [4, 6, 19, 20].

Для оценки уровня опасности загрязнения ПП предпочтительнее проводить расчёты с учётом фактического потребления ПП на уровне региона (варианты V и VI в нашей работе). Неопределённость оценки риска связана с установлением степени доказанности канцерогенного эффекта у человека, использованием в расчётах результатов мониторинга качества ПС и ПП, значений стандартных факторов экспозиции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время оценка риска здоровью и разработка на её основе профилактических мероприятий — перспективные направления изучения здоровья, особенно на уровне регионов нашей страны. Согласно полученным данным, суммарный канцерогенный риск от воздействия основных химических веществ, загрязняющих продукты питания, колеблется от настораживающего ($7,9 \times 10^{-4}$) для варианта расчёта I до высокого (от $2,2 \times 10^{-3}$ до $1,9 \times 10^{-2}$) для вариантов II–VI. Оценка уровней суммарного канцерогенного риска, рассчитанного по фактическому потреблению продуктов питания и при обследовании бюджетов домашних хозяйств жителей Республики Татарстан, свидетельствует о высокой вероятности развития канцерогенных эффектов у населения за счёт потребления продуктов питания. Суммарный канцерогенный риск формируется преимущественно в результате загрязнения пестицидами (гептахлор, α -линдан, β -линдан, линдан) и мышьяком, поступающими в основном с овощами, хлебом и хлебобулочными изделиями, молоком и молочными продуктами.

Комплексная оценка контаминации продуктов питания и показателей фактического питания на уровне региона должна послужить основой для научного обоснования мероприятий по сохранению и укреплению здоровья населения с целью минимизации воздействия загрязняющих веществ. В дальнейшем планируются исследования по оценке региональных факторов экспозиции для наиболее уязвимых групп населения (дети, подростки, беременные и пожилые) с учётом возрастных и гендерных особенностей, образа жизни, физической активности и национальной культуры питания.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: О.А. Фролова — концепция и дизайн исследования, участие в обсуждении полученных результатов; Е.П. Бочаров — сбор, статистическая обработка первичных данных, подготовка первого варианта статьи; Е.А. Тафеева — обобщение

материала, анализ и обсуждение результатов, редакция текста статьи.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. O.A. Frolova — the concept and design of the study, participation in the discussion of the results obtained;

Ye.P. Bocharov — collection, statistical processing of primary data, preparation of the first version of the article; E.A. Tafeeva — summarizing the material, analyzing and discussing the results, editing the text. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding sources. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wu F., Rodricks J.V. Forty years of food safety risk assessment: a history and analysis // *Risk Anal.* 2020. Vol. 40, N S1. P. 2218–2230. doi: 10.1111/risa.13624
2. Горбачев Д.О., Сазонова О.В., Бородина Л.М., Гаврюшин М.Ю. Анализ риска здоровью трудоспособного населения, обусловленного контаминацией пищевых продуктов (опыт Самарской области) // *Анализ риска здоровью.* 2019. № 3. С. 42–49. doi: 10.21668/health.risk/2019.3.05
3. Ананьев В.Ю., Зароченцев М.В., Моргачев О.В., Мустафина И.З. Опыт внедрения современных методов анализа пищевой продукции в рамках обеспечения государственного санитарно-эпидемиологического надзора // *Здоровье населения и среда обитания — ЗНиСО.* 2022. Т. 30, № 10. С. 81–91. doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-10-81-91
4. Moon K.A., Oberoi S., Barchowsky A., et al. A dose-response meta-analysis of chronic arsenic exposure and incident cardiovascular disease // *Int J Epidemiol.* 2017. Vol. 46, N 6. P. 1924–1939. doi: 10.1093/ije/dyx202
5. Carrington C., Devleeschauwer B., Gibb H.J., Bolger P.M. Global burden of intellectual disability resulting from dietary exposure to lead, 2015 // *Environ Res.* 2019. Vol. 172. P. 420–429. doi: 10.1016/j.envres.2019.02.023
6. Chen C., Mitchell N.J., Gratz J., et al. Exposure to aflatoxin and fumonisin in children at risk for growth impairment in rural Tanzania // *Environ Int.* 2018. Vol. 115. P. 29–37. doi: 10.1016/j.envint.2018.03.001
7. Chen C., Saha Turna N., Wu F. Risk assessment of dietary deoxynivalenol exposure in wheat products worldwide: are new codex DON guidelines adequately protective? // *Trends in Food Science & Technology.* 2019. Vol. 89. P. 11–25. doi: 10.1016/j.tifs.2019.05.002
8. Zang Y., Devleeschauwer B., Bolger P.M., et al. Global burden of late-stage chronic kidney disease resulting from dietary exposure to cadmium, 2015 // *Environ Res.* 2019. Vol. 169. P. 72–78. doi: 10.1016/j.envres.2018.10.005
9. Fu Z., Xi S. The effects of heavy metals on human metabolism // *Toxicol Mech Methods.* 2020. Vol. 30, N 3. P. 167–176. doi: 10.1080/15376516.2019.1701594
10. Renu K., Chakraborty R., Myakala H., et al. Molecular mechanism of heavy metals (Lead, Chromium, Arsenic, Mercury, Nickel and Cadmium) — induced hepatotoxicity — a review // *Chemosphere.* 2021. Vol. 271. P. 129735. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129735
11. Paithankar J.G., Saini S., Dwivedi S., et al. Heavy metal associated health hazards: an interplay of oxidative stress and signal transduction // *Chemosphere.* 2021. Vol. 262. P. 128350. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128350
12. Зайцева Н.В., Онищенко Г.Г., Май И.В., Шур П.З. Развитие методологии анализа риска здоровью в задачах государственного управления санитарно-эпидемиологическим благополучием населения // *Анализ риска здоровью.* 2022. № 3. С. 4–20. doi: 10.21668/health.risk/2022.3.01
13. Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Еремин Г.Б., и др. Правовой анализ использования оценки риска здоровью в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения // *Гигиена и санитария.* 2020. Т. 99, № 6. С. 624–630. doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-6-624-630
14. European Food Safety Authority. Dietary exposure to inorganic arsenic in the European population // *EFSA Journal.* 2014. Vol. 12, N 3. P. 3597–3668. doi: 10.2903/j.efsa.2014.3597
15. Мартинчик А.Н., Батурич А.К., Зохири Н. Фактическое потребление энергии и основных пищевых веществ детьми и подростками России в середине 90-х годов // *Профилактика заболеваний и укрепление здоровья.* 1998. № 3. С. 16–21.
16. Елисеев Ю.Ю., Спирин В.Ф., Чехомов С.Ю., Елисеева Ю.В. Потенциальный риск для здоровья сельского населения, связанный с потреблением местных продуктов питания, содержащих остаточные количества пестицидов // *Гигиена и санитария.* 2021. Т. 100, № 5. С. 482–488. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-482-488
17. Ковшов А.А., Чашин В.П. Оценка риска здоровью коренных жителей Чукотского автономного округа в условиях воздействия стойких загрязняющих веществ // *Здоровье населения и среда обитания — ЗНиСО.* 2019. № 12. С. 4–10. doi: 10.35627/2219-5238/2019-321-12-4-10
18. Боев В.М., Кряжева Е.А., Бегун Д.Н., и др. Гигиеническая оценка риска здоровью населения при комбинированном пероральном поступлении тяжелых металлов // *Анализ риска здоровью.* 2019. № 2. С. 35–43. doi: 10.21668/health.risk/2019.2.04
19. Thompson L.A., Darwish W.S., Ikenaka Y., et al. Organochlorine pesticide contamination of foods in Africa: incidence and public health significance // *J Vet Med Sci.* 2017. Vol. 79, N 4. P. 751–764. doi: 10.1292/jvms.16-0214

20. Sieke C. Probabilistic cumulative dietary risk assessment of pesticide residues in foods for the German population based on food monitoring data from 2009 to 2014 // *Food Chem Toxicol*. 2018. Vol. 121. P. 396–403. doi: 10.1016/j.fct.2018.09.010
21. Collado-López S., Betanzos-Robledo L., Téllez-Rojo M.M., et al. Heavy metals in unprocessed or minimally processed foods consumed by humans worldwide: a scoping review // *Int J Environ Res Public Health*. 2022. Vol. 19, N 14. P. 8651. doi: 10.3390/ijerph19148651
22. Боев В.М., Зеленина Л.В., Кудусова Л.Х., и др. Гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения, ассоциированного с загрязнением деponирующих сред тяжелыми металлами // *Анализ риска здоровью*. 2022. № 1. С. 17–26. doi: 10.21668/health.risk/2022.1.02
23. Май И.В., Лебедева-Несевря Н.А., Барг А.О. Стратегия и тактика построения эффективных риск-коммуникаций в сфере безопасности пищевой продукции // *Анализ риска здоровью*. 2018. № 4. С. 105–113. doi: 10.21668/health.risk/2018.4.12
24. Лыжина А.В., Унгурияну Т.Н., Родиманов А.В. Риск здоровью населения при воздействии тяжелых металлов, загрязняющих продовольственное сырье и пищевые продукты // *Здоровье населения и среда обитания — ЗНиСО*. 2018. № 7. С. 4–7. doi: 10.35627/2219-5238/2018-304-7-4-7
25. Фролова О.А., Бочаров Е.П., Ахтямова Л.А. Оценка риска от воздействия химических контаминантов в пищевых продуктах // *Гигиена и санитария*. 2016. Т. 95, № 8. С. 743–748. doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-8-743-748

REFERENCES

1. Wu F, Rodricks JV. Forty years of food safety risk assessment: a history and analysis. *Risk Anal*. 2020;40(S1):2218–2230. doi: 10.1111/risa.13624
2. Gorbachev DO, Sazonova OV, Borodina LM, Gavryushin MY. Analyzing health risks for employable population caused by food products contamination (experience gained in Samara region). *Health Risk Analysis*. 2019;(3):42–49. (In Russ). doi: 10.21668/health.risk/2019.3.05.eng
3. Ananyev VYu, Zarochentsev MV, Morgachev OV, Mustafina IZ. Experience of introducing advanced methods of food safety and quality testing as part of ensuring state sanitary and epidemiological surveillance. *Public Health and Life Environment — PH&LE*. 2022;30(10):81–91. (In Russ). doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-10-81-91
4. Moon KA, Oberoi S, Barchowsky A, et al. A dose-response meta-analysis of chronic arsenic exposure and incident cardiovascular disease. *Int J Epidemiol*. 2017;46(6):1924–1939. doi: 10.1093/ije/dyx202
5. Carrington C, Devleeschauwer B, Gibb HJ, Bolger PM. Global burden of intellectual disability resulting from dietary exposure to lead, 2015. *Environ Res*. 2019;172:420–429. doi: 10.1016/j.envres.2019.02.023
6. Chen C, Mitchell NJ, Gratz J, et al. Exposure to aflatoxin and fumonisin in children at risk for growth impairment in rural Tanzania. *Environ Int*. 2018;115:29–37. doi: 10.1016/j.envint.2018.03.001
7. Chen C, Saha Turna N, Wu F. Risk assessment of dietary deoxynivalenol exposure in wheat products worldwide: are new codex DON guidelines adequately protective? *Trends in Food Science and Technology*. 2019;89:11–25. doi: 10.1016/j.tifs.2019.05.002
8. Zang Y, Devleeschauwer B, Bolger PM, et al. Global burden of late-stage chronic kidney disease resulting from dietary exposure to cadmium, 2015. *Environ Res*. 2019;169:72–78. doi: 10.1016/j.envres.2018.10.005
9. Fu Z, Xi S. The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicol Mech Methods*. 2020;30(3):167–176. doi: 10.1080/15376516.2019.1701594
10. Renu K, Chakraborty R, Myakala H, et al. Molecular mechanism of heavy metals (Lead, Chromium, Arsenic, Mercury, Nickel and Cadmium) — induced hepatotoxicity — a review. *Chemosphere*. 2021;271:129735. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129735
11. Paithankar JG, Saini S, Dwivedi S, et al. Heavy metal associated health hazards: an interplay of oxidative stress and signal transduction. *Chemosphere*. 2021;262:128350. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128350
12. Zaitseva NV, Onishchenko GG, May IV, Shur PZ. Developing the methodology for health risk assessment within public management of sanitary-epidemiological welfare of the population. *Health Risk Analysis*. 2022;(3):4–20. (In Russ). doi: 10.21668/health.risk/2022.3.01.eng
13. Karelin AO, Lomtev AYU, Yeremin GB, et al. Legal analysis of the use of health risk assessment in the field of sanitary and epidemiological well-being of the population. *Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2020;99(6):624–630. (In Russ). doi: 10.33029/0016-9900-2020-99-6-624-630
14. European Food Safety Authority. Dietary exposure to inorganic arsenic in the European population. *EFSA Journal*. 2014;12(3):3597–3668. doi: 10.2903/j.efsa.2014.3597
15. Martinchik AN, Baturin AK, Zohuri N. Fakticheskoe potreblenie jenergii i osnovnyh pishhevyh veshhestv det'mi i podrostkami Rossii v seredine 90-h godov. *Profilaktika zabolevanij i ukreplenie zdorov'ja*. 1998;(3):16–21. (In Russ).
16. Eliseev YuYu, Spirin VF, Chechomov SYU, Eliseeva YuV. Potential health risk associated with consumption of local food containing pesticide residues for the rural population. *Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2021;100(5):482–488. (In Russ). doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-482-488
17. Kovshov AA, Chashchin VP. Health risk assessment for indigenous people of Chukotka Autonomous Okrug exposed to persistent pollutants. *Public Health and Life Environment — PH&LE*. 2019;(12):4–10. (In Russ). doi: 10.35627/2219-5238/2019-321-12-4-10
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. (In Russ). doi: 10.21668/health.risk/2019.2.04
19. Thompson LA, Darwish WS, Ikenaka Y, et al. Organochlorine pesticide contamination of foods in Africa: incidence and public health significance. *J Vet Med Sci*. 2017;79(4):751–764. doi: 10.1292/jvms.16-0214
20. Sieke C. Probabilistic cumulative dietary risk assessment of pesticide residues in foods for the German population based on

- food monitoring data from 2009 to 2014. *Food Chem Toxicol.* 2018;121:396–403. doi: 10.1016/j.fct.2018.09.010
21. Collado-López S, Betanzos-Robledo L, Téllez-Rojo MM, et al. Heavy metals in unprocessed or minimally processed foods consumed by humans worldwide: a scoping review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(14):8651. doi: 10.3390/ijerph19148651
22. Boev VM, Zelenina LV, Kudusova LH, et al. Hygienic assessment of carcinogenic health risks associated with contamination of depositing media with heavy metals. *Health Risk Analysis.* 2022;(1):17–26. (In Russ). doi: 10.21668/health.risk/2022.1.02
23. May IV, Lebedeva-Nesevrya NA, Barg AO. Strategy and tactics for building up efficient risk-communications in the sphere of food products safety. *Health Risk Analysis.* 2018;(4):105–113. (In Russ). doi: 10.21668/health.risk/2018.4.12
24. Lyzhina AV, Ungurjanu TN, Rodimanov AV. Health risk assessment associated with contamination by heavy metals of food products. *Public Health and Life Environment — PH&LE.* 2018;(7):4–7. (In Russ). doi: 10.35627/2219-5238/2018-304-7-4-7
25. Frolova OA, Bocharov EP, Ahtjamova LA. Risk assessment from exposure to chemical contaminants in food. *Hygiene and Sanitation, Russian Journal.* 2016;95(8):743–748. (In Russ). doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-8-743-748

ОБ АВТОРАХ

* **Фролова Оксана Александровна**, д.м.н., доцент, профессор;

адрес: Российская Федерация, 420012, Казань, ул. Бутлерова, д. 36;

ORCID: 0000-0002-6675-0563;

eLibrary SPIN: 1920-0311;

e-mail: frolova_oa@mail.ru

Бочаров Евгений Павлович, к.м.н.;

ORCID: 0000-0003-0672-5603;

eLibrary SPIN: 5136-5976;

e-mail: e-bocharov@yandex.ru

Тafeeva Елена Анатольевна, д.м.н., доцент, профессор;

ORCID: 0000-0002-4161-2463;

eLibrary SPIN: 2265-1810;

e-mail: tafeeva@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Oksana A. Frolova**, MD, Dr. Sci. (Med.), associate professor, professor;

address: 36 Butlerova street, 420012 Kazan', Russian Federation;

ORCID: 0000-0002-6675-0563;

eLibrary SPIN: 1920-0311;

e-mail: frolova_oa@mail.ru

Yevgeniy P. Bocharov, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0003-0672-5603;

eLibrary SPIN: 5136-5976;

e-mail: e-bocharov@yandex.ru

Elena A. Tafeeva, MD, Dr. Sci. (Med.), associate professor, professor;

ORCID: 0000-0002-4161-2463;

eLibrary SPIN: 2265-1810;

e-mail: tafeeva@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author