

УДК 614.7:(614.1+613.2)

DOI: <https://doi.org/10.35693/SIM375272>

© This work is licensed under CC BY 4.0

© Authors, 2024

Риск здоровью населения, ассоциированный с качеством питьевой воды и пищевых продуктов, и заболеваемость колоректальным раком

Л.А. Гиниятуллина¹, Н.З. Юсупова¹, А.Н. Хисамутдинов², В.М. Бектимирова¹¹Казанская государственная медицинская академия – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России (Казань, Россия)²ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России (Казань, Россия)

Аннотация

Цель – оценить риск здоровью населения, ассоциированный с качеством питьевой воды и пищевых продуктов, в районах с разным уровнем заболеваемости колоректальным раком.

Материал и методы. Была проведена оценка канцерогенного риска и риска развития общетоксических эффектов, обусловленная поступлением ксенобиотиков с пищевыми продуктами и питьевой водой, в районах, отличающихся по уровню заболеваемости колоректальным раком. Для оценки риска были использованы результаты лабораторных исследований, выполненные в рамках проведения социально-гигиенического мониторинга за период 2014–2021 гг.

Результаты. Установлены приоритетные загрязняющие вещества, вносящие наибольший вклад в величину канцерогенного риска. Диапазон суммарного канцерогенного риска в зависимости от соединений мышьяка варьирует в Арском районе от допустимого до высокого (от 4,98E-05 до 2,70E-03), в Дрожжановском – от допустимого до настораживающего (от 6,81E-05 до 2,02E-04); в Азнакаевском – от настораживающего до высокого (от 1,99E-04 до 2,21E-03), в Камско-Устьинском риск оценивается как настораживающий (от 2,15E-04 до 4,13E-04), в Ютазинском – как высокий (от 2,91E-03 до 1,80E-02). Суммарный индекс опасности, обусловленный поступлением нитратов с пищевыми продуктами и питьевой водой, варьирует от минимального в Арском районе (НИ=0,31) до настораживающего в Камско-Устьинском районе (НИ=3,13). Риск развития неканцерогенных эффектов со стороны желудочно-кишечного тракта, обусловленный природными особенностями источников питьевого водоснабжения, во всех районах оценивается как допустимый.

Выводы. На территориях, характеризующихся повышенным уровнем заболеваемости колоректальным раком, отмечаются более высокие уровни канцерогенного риска здоровью, обусловленные поступле-

нием ксенобиотиков с пищевыми продуктами и питьевой водой (от настораживающего до высокого).

Ключевые слова: риск здоровью, питьевая вода, пищевые продукты, колоректальный рак, заболеваемость.

Конфликт интересов: не заявлен.

Для цитирования:

Гиниятуллина Л.А., Юсупова Н.З., Хисамутдинов А.Н., Бектимирова В.М. Риск здоровью населения, ассоциированный с качеством питьевой воды и пищевых продуктов, и заболеваемость колоректальным раком. Наука и инновации в медицине. 2024;9(X):XX-XX. <https://doi.org/10.35693/SIM375272>

Сведения об авторах

Гиниятуллина Л.А. – ассистент кафедры общей гигиены.

<https://orcid.org/0000-0002-9243-8688>

E-mail: Liliya261276@mail.ru

Юсупова Н.З. – д-р мед. наук, доцент, заместитель директора по учебной работе, заведующая кафедрой общей гигиены.

<https://orcid.org/0000-0002-8052-2620>

E-mail: nelya321@mail.ru

Хисамутдинов А.Н. – канд. мед. наук, доцент кафедры организации здравоохранения и общественного здоровья.

<https://orcid.org/0000-0001-6136-7568>

E-mail: alfnis@mail.ru

Бектимирова В.М. – аспирант кафедры общей гигиены.

<https://orcid.org/0009-0000-7131-5614>

E-mail: Vasilya_b@mail.ru

Автор для переписки

Гиниятуллина Лилия Ангамовна

Адрес: Казанская государственная медицинская академия, ул. Бутлерова, 36, г. Казань, Россия, 420012.

E-mail: Liliya261276@mail.ru

Список сокращений

КРР – колоректальный рак; ПП – пищевой продукт;

ПВ – питьевая вода; ОБДХ – обследование бюджета домашнего хозяйства;

ГХЦГ – гексахлорциклопексан; ПХБ – полихлорированный бифенил.

Получено: 02.05.2023

Одобрено: 03.12.2023

Опубликовано: 13.02.2024

Public health risk associated with the quality of drinking water and food, and the incidence of colorectal cancer

Liliya A. Giniyatullina¹, Nailya Z. Yusupova¹, Alfir N. Khisamutdinov², Vasilya M. Bektimirova¹¹Kazan State Medical Academy (Kazan, Russia)²Kazan State Medical University (Kazan, Russia)

Abstract

Aim – to assess the public health risk associated with the quality of drinking water and food in areas with different levels of incidence of colorectal cancer.

Material and methods. An assessment was made of the carcinogenic risk and the risk of developing general toxic effects due to the intake

of xenobiotics with food and drinking water in areas that differ in the incidence of colorectal cancer. To assess the risk, the results of laboratory studies performed as part of the social and hygienic monitoring for the period 2014–2021 were used.

Results. Priority pollutants that make the greatest contribution to the carcinogenic risk have been identified. The range of total carcinogenic

risk, depending on arsenic compounds, varied in the Arsky district from acceptable to high (from 4.98E-05 to 2.70E-03), in Drozhzhanovsky – from acceptable to alarming (from 6.81E-05 to 2.02E-04); in Aznakaevsky – from alarming to high (from 1.99E-04 to 2.21E-03). In the Kamsko-Ustyinsky district, the risk was assessed as alarming (from 2.15E-04 to 4.13E-04), in Yutazinsky as high (from 2.91E-03 to 1.80E-02). The total hazard index associated with the intake of nitrates with food and drinking water varied from the minimum in the Arsky district (HI=0.31) to the alarming one in the Kamsko-Ustyinsky district (HI=3.13). The risk of developing non-carcinogenic effects in the gastrointestinal tract, due to the natural characteristics of drinking water sources, was assessed as acceptable in all areas.

Conclusion. In areas with an increased incidence of colorectal cancer, there were higher levels of carcinogenic health risk due to the intake of xenobiotics with food and drinking water (from alarming to high).

Keywords: health risk, drinking water, food, colorectal cancer, incidence.

Conflict of interest: nothing to disclose.

Citation

Giniyatullina LA, Yusupova NZ, Khisamutdinov AN, Bektimirova VM. **Public health risk associated with the quality of drinking water and food, and the incidence of colorectal cancer.** *Science and Innovations in Medicine.* 2024;9(X):XX-XX. <https://doi.org/10.35693/SIM375272>

Information about authors

Liliya A. Giniyatullina – assistant of the Department of General Hygiene.

<https://orcid.org/0000-0002-9243-8688>

E-mail: Liliya261276@mail.ru

Nailya Z. Yusupova – PhD, Associate professor, Deputy Director for Academic Affairs, Head of the Department of General Hygiene.

<https://orcid.org/0000-0002-8052-2620>

E-mail: nelya321@mail.ru

Alfir N. Khisamutdinov - PhD, Associate professor of the Department of Health Organization and Public Health.

<https://orcid.org/0000-0001-6136-7568>

E-mail: alfhis@mail.ru

Vasilya M. Bektimirova - a postgraduate student of the Department of General Hygiene.

<https://orcid.org/0009-0000-7131-5614>

E-mail: Vasilya_b@mail.ru

Corresponding Author

Liliya A. Giniyatullina

Address: Kazan State Medical Academy, 36 Butlerov st., Kazan, Russia, 420012.

E-mail: Liliya261276@mail.ru

Received: 02.05.2023

Accepted: 03.12.2023

Published: 13.02.2024

■ ВВЕДЕНИЕ

Колоректальный рак (КРР) входит в число актуальных онкологических заболеваний, инцидентность которых значительно растет. В России заболеваемость КРР находится на среднем уровне по отношению к мировой, однако характеризуется неуклонным ростом. В 2021 году на долю КРР в структуре онкологической заболеваемости приходилось 12,2% [1]. По данным литературы, риск развития КРР в течение жизни (до 75 лет) для россиян составляет 3,0% [2]. Также отмечается неблагоприятная тенденция роста КРР среди лиц молодого возраста [3, 4].

Многочисленными исследованиями показана значимость различных факторов риска в возникновении КРР. Возраст, генетические и экологические факторы играют значимую роль в развитии КРР [5]. Важнейшим фактором риска развития КРР является низкий уровень физической активности. При этом даже умеренный уровень физических нагрузок ассоциирован со значительным снижением риска развития КРР; физически активные люди имеют на 20-30% сниженный риск развития КРР [6, 7].

Оценка факторов, связанных с питанием и пищевыми привычками, в развитии КРР подтвердила значимость индекса массы тела более 25, употребление алкоголя более двух раз в месяц с преобладанием крепкого, употребление красного мяса более 10 раз в месяц, количество потребляемых свежих фруктов менее 100 г за раз, предпочтение жирной пищи [8]. Красное мясо, обработанное мясо, консервированные продукты, насыщенные животные жиры, продукты с высоким содержанием сахара, острая пища, рафинированные углеводы являются факторами риска развития КРР. И наоборот, кальций, витамин Д, общее потребление овощей, фруктов, клетчатки, соевые продукты, селен, витамины С, Е, В12, альфа-каротин, бета-каротин, фолиевая кислота играют защитную роль против риска КРР [9]. Выявлена положительная связь между потреблением алкоголя (>28 г/день) и раком толстой кишки. Предполагается, что ацетальдегид, метаболит этанола, является канцерогенным, воздействуя на синтез, восстановление, изменение структуры и функции ДНК и увеличивает пролиферацию слизистой оболочки толстой кишки [10].

Наряду с употреблением алкоголя повышению риска развития КРР способствует курение табака [11].

Качественный состав питьевой воды (ПВ) также может являться фактором риска КРР. В проведенном в Китае проспективном когортном исследовании показано, что употребление воды из подземных источников в течение длительного времени влияет на риск возникновения рака толстой кишки, что может быть связано с высокой минерализацией подземных вод и содержанием в них веществ, которые могут проявлять канцерогенные свойства (мышьяк, селен и др.) [12]. Значительным фактором риска развития КРР является длительное употребление хлорированной воды [13, 14]. Нитраты в ПВ могут увеличить риск развития КРР из-за эндогенного превращения в канцерогенные N-нитрозосоединения; статистически значимые повышенные риски отмечаются при содержании нитратов в ПВ выше 3,87 мг/л, что значительно ниже существующего стандарта нитратов в ПВ [15]. Установлено, что для рака ободочной кишки приоритетными канцерогенами являются хром и кадмий в ПВ, а также кадмий, свинец и мышьяк в пищевых продуктах, а для рака ректосигмоидного соединения и прямой кишки – тетрахлорэтилен, бенз(а)пирен в ПВ и кадмий в пищевых продуктах (ПП) [16]. Таким образом, выявление факторов риска КРР, их регулирование являются актуальными задачами с точки зрения профилактики данной патологии.

■ ЦЕЛЬ

Оценить риск здоровью населения, ассоциированный с качеством ПВ и ПП, в районах с разным уровнем заболеваемости КРР.

■ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на территории Республики Татарстан. Для проведения расчетов по оценке риска здоровью населения была использована база данных системы социально-гигиенического мониторинга (протоколы анализа проб питьевой воды и пищевых продуктов с территорий изученных районов за 2014–2021 гг., выполненных испытательным лабораторным центром ФБУЗ

«Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан» (Татарстан). Оценка риска проводилась по классической схеме¹. Был рассмотрен сценарий экспозиции, предполагающий поступление химических контаминантов пероральным путем с ПП и ПВ; использованы данные о содержании химических веществ на уровнях медианы (Me) и 90-го перцентиля (P90). В связи с тем, что лабораторно в пищевых продуктах определялась общая форма мышьяка, канцерогенный риск оценивался по двум сценариям: 1 – весь мышьяк принимался за неорганический (обладающий канцерогенным эффектом); 2 – весь мышьяк принимался за органический (не обладающий канцерогенным эффектом). Расчет среднесуточных доз поступления токсичных элементов в организм среди всего населения с основными группами ПП проводился с учетом съедобной части продуктов². Ксенобиотики определялись в мясной продукции, яйцах и продуктах их переработки, молоке и молочных продуктах, хлебе и хлебобулочной продукции, сахаре и кондитерских изделиях, плодоовощной продукции. В качестве данных о потреблении ПП населением использованы данные о среднедушевом годовом потреблении основных групп ПП (верхняя 95% доверительная граница среднего значения), полученные по результатам выборочного обследования бюджетов домашних хозяйств (ОБДХ) (таблица 1).

При расчетах канцерогенного риска были использованы рекомендуемые стандартные значения факторов экспозиции, факторы канцерогенного потенциала; риска развития общетоксических эффектов – референтные дозы и сведения о критических органах и системах. При оценке канцерогенного риска, обусловленного поступлением веществ с ПВ, учитывался только пероральный путь.

Содержащиеся в ПП и ПВ нитраты способны к эндогенному превращению в канцерогенные N-нитрозосоединения, а химический состав ПВ (повышенная минерализация, высокое содержание сульфатов, железа, бора и др.) может способствовать возникновению воспалительных заболеваний кишечника и привести к увеличению риска развития КРР. Поэтому было проанализировано содержание нитратов в ПП, а также различия в

химическом составе ПВ на изученных территориях. Дана оценка риска развития общетоксических эффектов, обусловленных поступлением нитратов с ПП и ПВ, а также риск развития неканцерогенных эффектов со стороны желудочно-кишечного тракта, связанный с качеством ПВ.

Выбор районов исследования для проведения оценки риска здоровью осуществлялся на основании предварительно проведенного с целью выявления различий в заболеваемости КРР на территории Татарстана иерархического кластерного анализа с использованием метода Варда; окончательная кластеризация проводилась на основе метода k-средних. В кластерном анализе были использованы стандартизованные показатели заболеваемости КРР (в качестве стандарта – данные о по возрасту составе населения Республики Татарстан). Уровень значимости для проверки нулевых гипотез принимался равным 0,05. Всего было выделено 4 кластера, в которых установлены статистически значимые различия между показателями заболеваемости КРР.

Из различных кластеров, отличающихся по уровню заболеваемости КРР, для оценки риска были выбраны следующие муниципальные районы: из первого кластера – Ютазинский (с максимальным среднегодовым показателем заболеваемости КРР), из второго кластера – Камско-Устьинский (максимальный уровень заболеваемости раком прямой кишки, ректосигмоидного соединения и ануса), из третьего кластера – Азнакаевский (максимальный уровень заболеваемости раком ободочной кишки), из четвертого кластера – Дрожжановский и Арский муниципальные районы (минимальные показатели заболеваемости КРР).

Для статистической обработки материалов исследования использовались стандартные прикладные пакеты Excel-2017, STATISTICA Trial версия 13.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Из химических контаминантов, содержание которых контролируется в ПП на территории Республики Татарстан, к канцерогенам относятся кадмий, мышьяк, свинец, бенз(а)пирен, полихлорированные бифенилы (ПХБ), гексахлорбензол, гексахлоран (ГХЦГ), гептахлор, альфа-линдан, бета-линдан, линдан, ДДТ и его метаболиты, дигерметрин.

В Азнакаевском районе наибольший вклад в общее значение экспозиции свинца вносят такие группы ПП, как молоко и молочные продукты (Me-0,01 мг/кг, P90-0,027 мг/кг), хлеб и хлебобулочные изделия (Me-0,019 мг/кг, P90-0,11 мг/кг), мясо и мясопродукты (Me-0,009 мг/кг, P90-0,067 мг/кг); кадмия – хлеб и хлебобулочные изделия (Me-0,07 мг/кг, P90-0,036 мг/кг), картофель (Me-0,004 мг/кг, P90-0,004 мг/кг), молоко и молочные продукты (Me-0,001 мг/кг, P90-0,006 мг/кг); мышьяка – картофель (Me-0,051 мг/кг, P90-0,051 мг/кг), хлеб и хлебобулочные изделия (Me-0,013 мг/кг, P90-0,105 мг/кг), овощи и бахчевые культуры (Me-0,014 мг/кг, P90-0,041 мг/кг). В Арском районе группы продуктов с наибольшим вкладом в экспозицию свинца – картофель (Me-0,04 мг/кг, P90-0,044 мг/кг), сахар, кондитерские изделия (Me-0,087 мг/кг, P90-0,087 мг/кг).

Группы продуктов	Количество, кг/сут. (верхняя 95% доверительная граница среднего значения)
Мясо и мясопродукты	0,22
Молоко и молочные продукты	0,99
Хлеб и хлебобулочная продукция	0,33
Яйца и продукты их переработки	0,04
Рыба и рыбопродукты	0,03
Сахар и кондитерские изделия	0,12
Плодоовощная продукция	0,26
Картофель	0,41
Растительное масло	0,05

Таблица 1. Среднее количество потребляемых пищевых продуктов населением РТ (по данным выборочного обследования бюджетов домашних хозяйств), кг/сут.

Table 1. Average amount of food consumed by the population of the Republic of Tatarstan (according to a sample survey of household budgets), kg/day

¹В соответствии с Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004.

² В соответствии с методическими указаниями 2.3.7-2519-09 «Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010.

Муниципальный район	Суммарный канцерогенный риск			
	1 сценарий		2 сценарий	
	50-й процентиль	90-й процентиль	50-й процентиль	90-й процентиль
Азнакаевский	7,65E-04	1,87E-03	4,47E-05	1,9E-04
Арский	4,43E-05	9,40E-05	4,43E-05	9,40E-05
Дрожжановский	1,56E-05	1,56E-05	1,56E-05	1,56E-05
Камско-Устьинский	3,55E-06	2,03E-04	3,55E-06	2,03E-04
Ютазинский	3,18E-03	1,78E-02	2,70E-03	1,59E-02

Таблица 2. Суммарный канцерогенный риск, обусловленный поступлением канцерогенов с пищевыми продуктами (1 и 2 сценарий)

Table 2. Total carcinogenic risk due to the intake of carcinogens with food (variants 1 and 2)

Муниципальный район	Популяционный канцерогенный риск за 70 лет (на 10 тыс. населения)			
	1 сценарий		2 сценарий	
	50-й процентиль	90-й процентиль	50-й процентиль	90-й процентиль
Азнакаевский	8,0	19,0	0,4	2,0
Арский	0,4	1,0	0,4	1,0
Дрожжановский	0,2	0,2	0,2	0,2
Камско-Устьинский	0,04	2,0	0,04	2,0
Ютазинский	32,0	177,0	27,0	159,0

Таблица 3. Популяционный канцерогенный риск, обусловленный поступлением канцерогенов с пищевыми продуктами (1 и 2 сценарий)

Table 3. Population carcinogenic risk due to the intake of carcinogens with food (variants 1 and 2)

кг), овощи и бахчевые культуры (Ме-0,04 мг/кг, Р90-0,044 мг/кг); кадмия – сахар и кондитерские изделия (Ме-0,007 мг/кг, Р90-0,007 мг/кг), мясо и мясопродукты (Ме-0,002 мг/кг, Р90-0,021 мг/кг). В Дрожжановском районе экспозиция свинца и кадмия обусловлена мясом и мясопродуктами (Ме-0,057 и 0,006 мг/кг, Р90-0,057 и 0,006 мг/кг соответственно). В Камско-Устьинском районе экспозиция свинца и кадмия обусловлена хлебом и хлебобулочными изделиями (Ме-0,01 и 0,0005 мг/кг, Р90-0,023 и 0,001 мг/кг соответственно); ГХЦГ – мясом и мясопродуктами (Ме-0,000035 мг/кг, Р90-0,00007 мг/кг). В Ютазинском районе группы продуктов с наибольшим вкладом в экспозицию свинца – молоко и молочные продукты (Ме-0,025 мг/кг, Р90-0,037 мг/кг), хлеб и хлебобулочные изделия (Ме-0,037 мг/кг, Р90-0,045 мг/кг), мясо и мясопродукты (Ме-0,016 мг/кг, Р90-0,084 мг/кг); кадмия – молоко и молочные продукты (Ме-0,009 мг/кг, Р90-0,01 мг/кг), картофель (Ме-0,005 мг/кг, Р90-0,009 мг/кг), хлеб и хлебобулочные изделия (Ме-0,005 мг/кг, Р90-0,007 мг/кг); ГХЦГ – растительные масла (Ме-0,033 мг/кг, Р90-0,033 мг/кг), ПХБ – рыба и рыбопродукты (Ме-0,03 мг/кг, Р90-1,1 мг/кг).

Величина суммарного канцерогенного риска, обусловленного загрязнением ПП, рассчитанная по медианным значениям (1 сценарий), характеризуется как допустимый риск в Арском, Дрожжановском и Камско-Устьинском районах, какстораживающий – в Азнакаевском районе и как высокий – в Ютазинском районе (таблица 2).

При этом веществом, вносящим наибольший вклад в величину риска, в Арском, Дрожжановском и Камско-Устьинском районах, является свинец (85%, 54% и 72% соответственно), в Азнакаевском – мышьяк (94,2%), Ютазинском – ГХЦГ (68%). Канцерогенный риск, рассчитанный на уровне 90-го перцентиля (1 сценарий), характеризуется

как допустимый в Арском и Дрожжановском районах, какстораживающий – в Камско-Устьинском районе и высокий – в Азнакаевском и Ютазинском районах. Веществом, вносящим наибольший вклад в величину риска, в Арском, Дрожжановском районах является свинец (61%, 54% соответственно), в Камско-Устьинском районе – ГХЦГ (72%), в Азнакаевском районе – мышьяк (90%), в Ютазинском районе – ПХБ (75%).

При условии, что весь мышьяк является органическим (2 сценарий), суммарный канцерогенный риск, рассчитанный по медианным значениям, оценивается как допустимый в Азнакаевском, Арском, Дрожжановском и Камско-Устьинском районах и как высокий – в Ютазинском районе.

Основным веществом, определяющим величину риска в Азнакаевском районе, является кадмий (69%), в Арском, Дрожжановском и Камско-Устьинском районах – свинец (85%, 54% и 72% соответственно), в Ютазинском районе – ГХЦГ (79%). Канцерогенный риск, рассчитанный на уровне 90-го перцентиля (2 сценарий), характеризуется как допустимый в Арском и Дрожжановском районах, какстораживающий – в Азнакаевском и Камско-Устьинском районах, как высокий – в Ютазинском районе. Основным веществом, определяющим величину риска в Арском и Дрожжановском районах, является свинец (61% и 54% соответственно), в Азнакаевском районе – кадмий (67%), в Камско-Устьинском – ГХЦГ (72%), в Ютазинском – ПХБ (84%).

Величины популяционного канцерогенного риска (суммарное дополнительное число злокачественных новообразований), обусловленного поступлением канцерогенов из ПП, при различных сценариях представлены в таблице 3.

Население изученных территорий в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения использует подземные воды. По данным системы СГМ, в Азнакаевском районе большая часть населения (89,8%) обеспечена условно доброкачественной ПВ, доброкачественную ПВ получает 9,7% населения и 0,4% – недоброкачественную. В Арском районе 70,2% населения обеспечено доброкачественной ПВ, остальные 29,8% – условно доброкачественной. В Дрожжановском районе 96% населения обеспечено доброкачественной ПВ, 2,7% – условно доброкачественной и 1,3% – недоброкачественной. В Камско-Устьинском районе все население получает условно доброкачественную ПВ. В Ютазинском районе обеспеченность населения доброкачественной ПВ составляет 95,8%, условно доброкачественную ПВ получает 1,9% населения и недоброкачественную – 2,3%. Основными причинами несоответствия

Муниципальный район	Суммарный канцерогенный риск	
	50-й процентиль	90-й процентиль
Азнакаевский	1,54E-04	3,48E-04
Арский	5,54E-06	1,76E-04
Дрожжановский	5,25E-05	1,86E-04
Камско-Устьинский	2,11E-04	2,10E-04
Ютазинский	2,09E-04	2,21E-04

Таблица 4. Суммарный канцерогенный риск, обусловленный поступлением канцерогенов с питьевой водой

Table 4. Total carcinogenic risk due to the intake of carcinogens with drinking water

Муниципальный район	Популяционный канцерогенный риск за 70 лет (на 10 тыс. населения)	
	50-й процентиль	90-й процентиль
Азнакаевский	1,5	3,5
Арский	0,06	2,0
Дрожжановский	0,5	2,0
Камско-Устьинский	2,0	2,0
Ютазинский	2,0	2,2

Таблица 5. Популяционный канцерогенный риск, обусловленный поступлением канцерогенов с питьевой водой
Table 5. Population carcinogenic risk due to the intake of carcinogens with drinking water

ПВ гигиеническим требованиям являются природные особенности подземных вод в Республике Татарстан, а именно: повышенная минерализация и жесткость, превышение содержания железа, бора.

Оценка канцерогенного риска, обусловленного поступлением канцерогенов (свинец, мышьяк, кадмий) с ПВ, по медианным значениям показала, что в Арском и Дрожжановском районах риск характеризуется как допустимый, в Азнакаевском, Камско-Устьинском и Ютазинском районах – какстораживающий (таблица 4).

При этом основной вклад в величину риска во всех районах вносит мышьяк, на долю которого в Азнакаевском районе приходится 98,5%, в Арском районе – 74,2%, в Дрожжановском районе – 97,8%, в Камско-Устьинском районе – 97,5%, в Ютазинском районе – 98,1%. Величины суммарного канцерогенного риска, рассчитанные по 90-му процентилю, во всех изученных районах характеризуются какстораживающий риск. Основной вклад в величину риска вносит также мышьяк, на долю которого в Арском районе приходится 97,8%, в Дрожжановском районе – 99,4%, Камско-Устьинском – 98%, в Ютазинском – 92,9%, а в Азнакаевском районе – мышьяк (59,1%) и свинец (40,6%). Наибольшие значения популяционного канцерогенного риска, обусловленного поступлением канцерогенных веществ с ПВ, отмечаются в Азнакаевском и Ютазинском районах (таблица 5).

Суммарный канцерогенный риск, обусловленный пероральным поступлением канцерогенов с ПП и ПВ, если предположить, что весь мышьяк в ПП является неорганическим, характеризуется как допустимый (расчет по медиане) в Арском ($4,98E-05$) и Дрожжановском районах ($6,81E-05$), в Азнакаевском и Камско-Устьинском районах – какстораживающий ($9,19E-04$ и $2,15E-04$ соответственно), в Ютазинском районе – как высокий ($3,39E-03$). Наибольший вклад ПП в величину общего риска отмечается в Азнакаевском (83,2%), Арском (88,9%) и Ютазинском районах (93,8%). В Дрожжановском и Камско-Устьинском районах основной вклад в величину риска вносит ПВ (77,1% и 98,3% соответственно). При расчетах на уровне 90-го перцентиля в Дрожжановском и Камско-Устьинском районах риск характеризуется какстораживающий ($2,02E-04$ и $4,13E-04$ соответственно), в остальных районах – как высокий (Азнакаевский – $2,21E-03$; Арский – $2,70E-03$; Ютазинский – $1,8E-02$). При этом ПП вносят основной вклад в величину суммарного риска в Азнакаевском (84,3%) и Ютазинском районах (98,8%), а в Арском, Дрожжановском и Камско-Устьинском районах – ПВ (65,2%, 92,3% и 50,8% соответственно).

Если предположить, что весь мышьяк в ПП является органическим, то суммарный канцерогенный риск, рассчитанный по медианным значениям, также характеризуется как допустимый в Арском и Дрожжановском районах ($4,98E-05$ и $6,81E-05$ соответственно), в Азнакаевском и Камско-Устьинском районах – какстораживающий ($1,99E-04$ и $2,15E-04$ соответственно), в Ютазинском районе – как высокий ($2,91E-03$). При этом ПП вносят основной вклад в величину общего риска в Арском (88,8%) и Ютазинском районах (92,8%). В Азнакаевском, Дрожжановском и Камско-Устьинском районах основной вклад вносит ПВ (77,5%, 77,1% и 98,3% соответственно). При расчетах на уровне 90-го перцентиля в Ютазинском районе риск характеризуется как высокий ($1,61E-02$), в остальных районах – какстораживающий (Азнакаевский – $5,38E-04$; Арский – $2,7E-04$; Дрожжановский – $2,02E-04$; Камско-Устьинский – $4,13E-04$). В Ютазинском районе на 98,6% риск обусловлен поступлением канцерогенов с ПП, на других территориях – преимущественным поступлением с ПВ (Азнакаевский – 64,7%, Арский – 65,2%, Дрожжановский – 92,3%, Камско-Устьинский – 50,8%).

Оценка риска развития общетоксических эффектов, обусловленных поступлением нитратов с ПП, показала, что во всех районах коэффициент опасности, рассчитанный по медианным значениям, оценивается как допустимый ($HQ=0,11-1,0$). Коэффициент опасности, рассчитанный на уровне 90-го перцентиля, оценивается как допустимый в Азнакаевском и Ютазинском районах истораживающий – в Арском, Дрожжановском и Камско-Устьинском районах ($HQ=1,1-3,0$). В Азнакаевском районе основной вклад в величину экспозиции вносят овощи и бахчевые культуры (на уровне медианы – 100%, 90-го перцентиля – 61%); в Арском районе – на уровне медианы картофель (51%), 90-го перцентиля – овощи и бахчевые культуры (51%); в Дрожжановском районе – овощи и бахчевые культуры (на уровне медианы – 61%, 90-го перцентиля – 64%); в Камско-Устьинском районе – овощи и бахчевые культуры (на уровне медианы – 55%, 90-го перцентиля – 60%); в Ютазинском районе – на уровне медианы овощи и бахчевые культуры (53%), на уровне 90-го перцентиля – картофель (53%).

Риск развития неканцерогенных эффектов, ассоциированный с присутствием нитратов в ПВ, практически во всех районах оценивается как допустимый ($HQ=0,11-1,0$), а в Арском – как минимальный ($HQ<0,1$). Риск воздействия на желудочно-кишечный тракт, обусловленный присутствием в воде бора, меди и мышьяка, во всех районах оценивается как допустимый, как по медианным концентрациям, так и на уровне 90-го перцентиля. Суммарный индекс опасности, обусловленный поступлением нитратов с ПП и ПВ, в Арском и Азнакаевском районах характеризуется как минимальный, в Дрожжановском, Камско-Устьинском и Ютазинском районах – как допустимый (при расчетах на уровне медианы). Индекс опасности, рассчитанный на уровне 90-го перцентиля, характеризуется какстораживающий в Камско-Устьинском районе, на других территориях – как допустимый (таблица 6).

■ ОБСУЖДЕНИЕ

В современных условиях проблемы канцерогенной опасности и роста онкологической заболеваемости

Муниципальный район	HI 50%	Вклад ПП / питьевой воды, %	HI 90%	Вклад ПП / питьевой воды, %
Азнакаевский	0,69	100/0	2,43	75/25
Арский	0,31	52/48	1,27	57/43
Дрожжановский	1,18	82/18	2,95	83/17
Камско-Устьинский	1,2	73/27	3,23	50/50
Ютазинский	1,13	59/41	1,63	52/48

Таблица 6. Индексы опасности (HI) от поступления нитратов с пищевыми продуктами и питьевой водой

Table 6. Hazard indices (HI) from nitrate intake with food and drinking water

являются весьма актуальными. Хроническое воздействие, связанное с поступлением загрязняющих веществ из окружающей среды, рассматривается как потенциальный фактор риска развития рака. В формировании онкологической заболеваемости населения ЗНО желудочно-кишечного тракта, в том числе КРР, лидируют канцерогенные нагрузки, поступающие алиментарным путем. В проведенных ранее исследованиях [16, 17] показано, что повышенная антропогенная нагрузка обуславливает уровень заболеваемости раком ободочной кишки, ректосигмоидного соединения и прямой кишки, что связано с канцерогенами, присутствующими в ПП и ПВ.

Результаты проведенного исследования позволили оценить риск здоровью населения, ассоциированный с качеством ПП и ПВ, в районах, отличающихся по уровням заболеваемости КРР. Установлены приоритетные загрязняющие вещества (свинец, мышьяк, кадмий, ГХЦГ, ПХБ), вносящие наибольший вклад в величину канцерогенного риска. Показано, что на территориях, характеризующихся повышенным уровнем заболеваемости КРР, отмечаются более высокие уровни риска здоровью, обусловленные поступлением ксенобиотиков с ПП и ПВ. Полученные в настоящем исследовании результаты соотносятся с данными публикаций других авторов. Так, длительное воздействие пестицидов, тяжелых металлов, таких как свинец, хром, кадмий, алюминий, медь, мышьяк и ртуть, содержащихся в ПП, могут способствовать развитию КРР [18, 19]. Результаты оценки канцерогенного риска, связанного с качеством ПВ в г. Уфе, свидетельствуют о том, что наибольший вклад в суммарную величину канцерогенного риска вносят шестивалентный хром, мышьяк, а также ряд хлор- и броморганических соединений, образующихся в процессе хлорирования ПВ, при этом суммарный канцерогенный риск оценивается как неприемлемый [20]. Оценка риска здоровью населения г. Самары от воздействия химических веществ, поступающих с ПВ, показала, что основной вклад вносят мышьяк, свинец, кадмий и 2,4-Д [21]. В Оренбургской области приоритетными канцерогенами, формирующими риск при потреблении населением ПВ, являются хром, мышьяк и бенз(а)пирен [22]. В Иркутской области канцерогенный риск для воды из подземных источников для сельского населения обусловлен мышьяком и шестивалентным хромом [23]. Полученные нами результаты относительно формирования настораживающего уровня риска при употреблении ПВ с содержанием мышьяка на уровне ниже ПДК свидетельствуют о недостаточной надежности гигиенического норматива в отношении данного вещества, что согласуется с данными, полученными

в других исследованиях [24, 25]. Следует отметить, что в зарубежных работах при оценке воздействия мышьяка, содержащегося в ПП, используют точное определение неорганических форм мышьяка методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием на основе индуктивно-связанной плазмы (HPLC-ICP-MS) [26, 27]. В текущей же ситуации несовершенства лабораторного контроля мышьяка в РФ исследователи применяют два подхода. Первый заключается в рассмотрении двух сценариев: 1 – когда весь мышьяк принимается за неорганический; 2 – весь мышьяк принимается за органический (данный подход был использован в настоящей работе) [28]. Второй подход заключается в проведении расчетов с использованием соответствующих коэффициентов для различных групп продуктов (от установленного значения общего содержания мышьяка) [29].

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показали, что на территории Ютазинского района, характеризующегося самым высоким в РТ среднегодовым уровнем заболеваемости КРР, канцерогенный риск, обусловленный поступлением загрязняющих веществ с ПП и ПВ, является высоким (от $2,91E-03$ до $1,8E-02$). В Азнакаевском районе (максимальный уровень заболеваемости раком ободочной кишки) канцерогенный риск оценивается как настораживающий и высокий (от $1,99E-04$ до $2,21E-03$). В Камско-Устьинском районе (максимальный уровень рака прямой кишки, ректосигмоидного соединения и ануса) канцерогенный риск оценивается как настораживающий (от $2,15E-04$ до $4,13E-04$). В районах с минимальными значениями заболеваемости КРР (Арский и Дрожжановский) канцерогенный риск оценивается от допустимого при расчетах на уровне медианы (от $4,98E-05$ до $6,81E-05$) до настораживающего и высокого при расчетах на уровне 90-го перцентиля (от $2,02E-04$ до $2,70E-03$).

При сценарии, что весь мышьяк неорганический, и расчетах на уровне медианы наибольший вклад в величину канцерогенного риска в Азнакаевском, Арском и Ютазинском районах вносят ПП (от 83,2 до 93,8%), а в Дрожжановском и Камско-Устьинском районах – ПВ (от 77,1 до 98,3%); на уровне 90-го перцентиля в Азнакаевском и Ютазинском районах основной вклад в величину риска вносят ПП (от 84,3% до 98,8%), в Арском, Дрожжановском и Камско-Устьинском районах – ПВ (от 50,8% до 92,3%). При сценарии, что весь мышьяк органический, и расчетах на уровне медианы наибольший вклад в величину канцерогенного риска в Арском и Ютазинском районах вносят ПП (от 88,8 до 92,8%), в Азнакаевском, Дрожжановском и Камско-Устьинском районах – ПВ (от 77,1% до 98,3%); на уровне 90-го перцентиля – в Ютазинском районе на 98,6% риск обусловлен поступлением канцерогенов с ПП, в остальных районах – с ПВ (от 50,8% до 92,3%). Канцерогенный риск обусловлен поступлением с ПП мышьяка, свинца, кадмия, ГХЦГ, ПХБ; с ПВ – мышьяка и свинца. Максимальные величины популяционного канцерогенного риска, обусловленного пероральным поступлением канцерогенов с ПП и ПВ (при неизменных уровнях экспозиции и численности экспонированной популяции), при обоих сценариях воздействия отмечаются

в Азнакаевском (от 0,03 до 0,32 случая в год на 10 тыс. населения) и Ютазинском районах (от 0,41 до 2,56 случая в год на 10 тыс. населения).

Риск развития неканцерогенных эффектов со стороны желудочно-кишечного тракта, обусловленный природными особенностями источников питьевого водоснабжения, во всех районах оценивается как допустимый. Следует отметить, что проведенная оценка риска имеет ряд

неопределенностей, в частности, при оценке экспозиции были использованы данные мониторинга, при этом в ПП и ПВ определяются приоритетные для РТ загрязнители, т.е. информация о канцерогенах является неполной; были использованы данные о среднелововом годовом потреблении основных групп ПП, стандартные значения экспозиции, что неизменно приводит к погрешности измерений и интерпретации полученных результатов. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	ADDITIONAL INFORMATION
Источник финансирования. Работа выполнена по инициативе авторов без привлечения финансирования.	Study funding. The study was the authors' initiative without external funding.
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.	Conflict of Interest. The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest associated with the content of this article.
Участие авторов. Л.А. Гиниятуллина – сбор и обработка материала, написание текста, составление списка литературы. Н.З. Юсупова – концепция и дизайн исследования, редактирование. А.Н. Хисамутдинов – статистическая обработка данных. В.М. Бектимирова – статистическая обработка данных. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.	Contribution of individual authors. L.A. Giniyatullina – has been responsible for scientific data collection, its systematization and analysis, wrote the first draft of the manuscript. N.Z. Yusupova – managed the development of the study concept, detailed manuscript editing and revision. A.N. Khisamutdinov – statistical data processing. V.M. Bektimirova – statistical data processing. All authors gave their final approval of the manuscript for submission, and agreed to be accountable for all aspects of the work, implying proper study and resolution of issues related to the accuracy or integrity of any part of the work.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. *Malignant neoplasms in Russia in 2021 (morbidity and mortality)*. Eds. A.D. Kaprin, V.V. Starinskii, A.O. Shahzadova. М., 2022. (In Russ.). [Злокачественные новообразования в России в 2021 году (заболеваемость и смертность). Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М., 2022]. ISBN 978-5-85502-280-3
2. Petrova GV, Starinskii VV, Gretsova OP, Prostov MYu. Indicator of cancer care for patients with colorectal cancer in Russia. (In Russ.). P.A. Herzen Journal of Oncology. 2013;6:41-43. [Петрова Г.В., Старинский В.В., Грецова О.П., Простов М.Ю. Показатели онкологической помощи больным колоректальным раком в России. Онкология. Журнал им. П.А. Герцена. 2013;6:41-43].
3. Mauri G, Sartore-Bianchi A, Russo AG, et al. Early-onset colorectal cancer in young individuals. *Molecular Oncology*. 2019;13(2):109-31. <https://doi.org/10.1002/1878-0261.12417>
4. Loomans-Kropp HA, Umar A. Increasing Incidence of Colorectal Cancer in Young Adults. *Journal of Cancer Epidemiology*. 2019;9841295. <https://doi.org/10.1155/2019/9841295>
5. Thanikachalam K, Khan G. Colorectal Cancer and Nutrition. *Nutrients*. 2019;11(1):164. <https://doi.org/10.3390/nu11010164>
6. Kyu HH, Bachman VF, et al. Physical activity and risk of breast cancer, colon cancer, diabetes, ischemic heart disease, and ischemic stroke events: systematic review and dose-response meta-analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *BMJ*. 2016;354:i3857. <https://doi.org/10.1136/bmj.i3857>
7. Papadimitriou N, Dimou N, Tsilidis KK, et al. Physical activity and risks of breast and colorectal cancer: a Mendelian randomisation analysis. *Nat Commun*. 2020;11(1):597. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14389-8>
8. Shirulina NG, Stasenko VL, Turchaninov DV, Sohosko IA. Nutrition and dietary habits associated with risk of colorectal cancer in the population of Omsk region: case-control study. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2019;18(1):67-73. (In Russ.). [Ширлина Н.Г.,

- Стасенко В.Л., Турчанинов Д.В., Сохошко И.А. Питание и пищевые привычки, ассоциированные с риском развития колоректального рака у населения Омского региона: исследование случай-контроль. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2019;18(1):67-73]. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2019-18-1-67-73>
9. Azeem S, Gillani SW, Siddiqui A, et al. Diet and Colorectal Cancer Risk in Asia – a Systematic Review. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*. 2015;16(13):5389-96. <https://doi.org/10.7314/apjcp.2015.16.13.5389>
 10. Dashti SG, Buchanan DD, Jayasekara H, et al. Alcohol Consumption and the Risk of Colorectal Cancer for Mismatch Repair Gene Mutation Carriers. *Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention*. 2017;26:366-75. <https://doi.org/10.1158/1055-9965>
 11. Fagunwa IO, Loughrey MB, Coleman HG. Alcohol, smoking and the risk of premalignant and malignant colorectal neoplasms. *Best Pract Res Clin Gastroenterol*. 2017;31(5):561-8. <https://doi.org/10.1016/j.bpg.2017.09.012>
 12. Chen K, Yu W, Ma X, et al. The association between drinking water source and colorectal cancer incidence in Jiashan County of China: a prospective cohort study. *Eur J Public Health*. 2005;15(6):652-6. <https://doi.org/10.1093/eurpub/cki027>
 13. Tafesse N, Porcelli M, Robele GS, Ambelu A. Drinking Water Source, Chlorinated Water, and Colorectal Cancer: A Matched Case-Control Study in Ethiopia. *Environ Health Insights*. 2022;16:11786302211064432. <https://doi.org/10.1177/11786302211064432>
 14. Jones RR, DellaValle CT, Weyer PJ, et al. Ingested nitrate, disinfection by-products, and risk of colon and rectal cancers in the Iowa Women's Health Study cohort. *Environ Int*. 2019;126:242-51. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.010>
 15. Schullehner J, Hansen B, Thygesen M, et al. Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort study. *Int J Cancer*. 2018;143(1):73-9. <https://doi.org/10.1002/ijc.31306>

16. Boev VM, Borshchuk EL, Kryazhev DA, Savina EK. Malignant tumors of the rectum, rectosigmoid connections and colon and hygienic evaluation of carcinogenic chemicals entering the oral route. *Public Health and Life Environment*. 2017;6(291):13-17. (In Russ.). [Боев В.М., Борщук Е.Л., Кряжев Д.А., Савина Е.К. Заболеваемость злокачественными новообразованиями прямой кишки, ректосигмоидного соединения и ободочной кишки и гигиеническая оценка канцерогенных химических веществ, поступающих пероральным путем. *Здоровье населения и среда обитания*. 2017;6(291):13-17]. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2017-291-6-13-17>
17. Naji S, Issa K, Eid A, et al. Cadmium Induces Migration of Colon Cancer Cells: Roles of Reactive Oxygen Species, P38 and Cyclooxygenase-2. *Cellular Physiology and Biochemistry*. 2019;52(6):1517-34. <https://doi.org/10.33594/000000106>
18. Bonfiglio R, Sisto R, Casciardi S, et al. The impact of toxic metal bioaccumulation on colorectal cancer: Unravelling the unexplored connection. *Sci Total Environ*. 2023;906:167667. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167667>
19. Arnaud LC, Gauthier T, Le Naour A, et al. Short-Term and Long-Term Carcinogenic Effects of Food Contaminants (4-Hydroxynonenal and Pesticides) on Colorectal Human Cells: Involvement of Genotoxic and Non-Genomic Mechanisms. *Cancers (Basel)*. 2021;13(17):4337. <https://doi.org/10.3390/cancers13174337>
20. Valeyev TK, Suleymanov RA, Orlov AA, et al. Estimation of risk to health of the population connected with quality of potable water. *Public Health and Life Environment*. 2016;9(282):17-19. (In Russ.). [Валеев Т.К., Сулейманов Р.А., Орлов А.А., и др. Оценка риска здоровью населения, связанного с качеством питьевой воды. *Здоровье населения и среда обитания*. 2016;9(282):17-19].
21. Tsunina NM, Zhernov YuV. Health risk assessment of the population in Samara associated with chemical contamination of drinking water. *Public Health and Life Environment*. 2018;11(308):22-26. (In Russ.). [Цунина Н.М., Жернов Ю.В. Оценка риска здоровью населения г. Самары, связанного с химическим загрязнением питьевой воды. *Здоровье населения и среда обитания*. 2018;11(308):22-26]. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-308-11-22-26>
22. Boev VM, Kryazhev DA, Tulina LM, Neplokhov AA. Assessment of carcinogenic health risk for population living in monocities and rural settlements. *Health Risk Analysis*. 2017;2:57-64. (In Russ.). [Боев В.М., Кряжев Д.А., Тулина Л.М., Неплохов А.А. Оценка канцерогенного риска для здоровья населения моногородов и сельских поселений. *Анализ риска здоровью*. 2017;2:57-64]. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.2.06>
23. Bezgodov IV, Efimova NV, Kuzmina MV. Assessment of the quality of drinking water and risk for the population's health in rural territories in the Irkutsk region. *Gigiena i Sanitariya*. 2015;94(2):15-19. (In Russ.). [Безгодов И.В., Ефимова Н.В., Кузьмина М.В. Качество питьевой воды и риск для здоровья населения сельских территории Иркутской области. *Гигиена и санитария*. 2015;94(2):15-19].
24. Abdulmutalimova TO, Revich BA. Assessment of carcinogenic risk to population health due to high arsenic content in drinking artesian water of the north Dagestan. *Hygiene and Sanitation*. 2017;96(8):743-746. (In Russ.). [Абдулмуталимова Т.О., Ревич Б.А. Оценка канцерогенного риска здоровью населения, обусловленного высоким содержанием мышьяка в питьевой артезианской воде северного Дагестана. *Гигиена и санитария*. 2017;96(8):743-746]. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-8-743-746>
25. Plitman SI, Tulakin AV, Ampleyeva GP, et al. Health risks for women and children from exposure to chemicals in drinking water. *Sanitary doctor*. 2019;9:73-78. (In Russ.). [Плитман С.И., Тулакин А.В., Амплеева Г.П., и др. Риск для здоровья женщин и детей при воздействии химических веществ, содержащихся в питьевой воде. *Санитарный врач*. 2019;9:73-78].
26. Kollander B, Sand S, Almerud P, et al. Inorganic arsenic in food products on the Swedish market and a risk-based intake assessment. *Sci Total Environ*. 2019;672:525-535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.289>
27. Lai YC, Tsai YC, Shin YN, et al. Inorganic arsenic speciation analysis in food using HPLC/ICP-MS: Method development and validation. *J Food Drug Anal*. 2022;30(4):644-653. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.3432>
28. 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(304):4-7. (In Russ.). [Лыжина А.В., Унгуряну Т.Н., Родиманов А.В. Риск здоровью населения при воздействии тяжелых металлов, загрязняющих продовольственное сырье и пищевые продукты. *Здоровье населения и среда обитания*. 2018;7(304):4-7]. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2018-304-7-4-7>
29. Frolova OA, Bocharov EP, Tafееva EA. Assessment of carcinogenic risk associated with chemical exposure from food products. *Human Ecology*. 2023;30(5):385-394. (In Russ.). [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;30(5):385-394]. <https://doi.org/10.17816/humeco217681>