



## ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ПЕРОРАЛЬНОМ ПОСТУПЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

В.М. Боев, Е.А. Кряжева, Д.Н. Бегун, Е.Л. Борщук, Д.А. Кряжев

Оренбургский государственный медицинский университет, Россия, 460000, г. Оренбург, ул. Советская, 6

*Проблема комбинированного перорального поступления тяжелых металлов с питьевой водой и пищевыми продуктами в организм человека является актуальной. Это связано с контаминацией продуктов, с большой вероятностью миграции металлов в воду и растения из почвы, атмосферного воздуха и т.п. Целью научного исследования явилась гигиеническая оценка комбинированного перорального поступления тяжелых металлов с питьевой водой и продуктами питания с последующей оценкой риска для здоровья населения. В работе проанализированы многолетние данные о структуре, объеме потребления продуктов и проведена оценка экспозиции населения при комбинированном пероральном поступлении тяжелых металлов (ртуть, кадмий, мышьяк, свинец), содержащихся в питьевой воде и продуктах питания. Источник данных – региональный информационный фонд социально-гигиенического мониторинга, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики. Осуществлен анализ продуктов как регионального происхождения, так и привозных. Установлено, что население области потребляет на 93 кг продуктов питания (на одного человека) больше, чем в среднем по России. Рассчитанные концентрации веществ в продуктах питания и в питьевой воде соответствуют гигиеническим требованиям. Первое ранговое место по вкладу в общее значение экспозиции свинцом, кадмием и мышьяком занимают молочные продукты. Второе и третье места занимают овощи и бахчевые и хлебные продукты соответственно. Первое ранговое место по вкладу в общее значение экспозиции ртутью занимают овощи и бахчевые, второе – хлебные продукты, третье – молочные продукты. Оценка неканцерогенного риска показала, что коэффициенты опасности от содержания тяжелых металлов в продуктах питания и питьевой воде в пределах приемлемого риска. Общий канцерогенный риск (TCR) находится на неприемлемом уровне для населения (1,5E-03). Число дополнительных случаев онкологических заболеваний в регионе при наихудшем сценарии может достигать 557 случаев (в течение 70 лет).*

**Ключевые слова:** продукты питания, питьевая вода, тяжелые металлы, оценка риска здоровью, неканцерогенный риск, онкологические заболевания, комбинированное действие, пероральное поступление.

Проблема качества продуктов питания в последние годы становится все более актуальной в связи с интеграцией Российской Федерации в мировую экономику, увеличением количества экспортных продуктов, развитием сельского хозяйства, освоением современных методов ведения растениеводства и животноводства [1, 2]. Правительством

Российской Федерации утверждены «Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения до 2020 года» (№ 1873-р от 25 октября 2010 г.)<sup>1</sup>, в которых определены приоритетные направления политики государства в области обеспечения населения здоровым питанием в соответствии с требованиями

© Боев В.М., Кряжева Е.А., Бегун Д.Н., Борщук Е.Л., Кряжев Д.А., 2019

**Боев Виктор Михайлович** – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник высшей школы РФ, заведующий кафедрой общей и коммунальной гигиены (e-mail: k\_com.gig@orgma.ru; тел.: 8 (3532) 50-06-06 (доб. 320); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3684-1149>).

**Кряжева Елена Александровна** – аспирант кафедры общей и коммунальной гигиены (e-mail: kryazheva89@inbox.ru; тел.: 8 (3532) 50-06-06 (доб. 320); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3527-2068>).

**Бегун Дмитрий Николаевич** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общественного здоровья и здравоохранения (e-mail: doctorbegun@yandex.ru; тел.: 8 (3532) 50-06-06 (доб. 306); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8920-6675>).

**Борщук Евгений Леонидович** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общественного здоровья и здравоохранения (e-mail: be@orgma.ru; тел.: 8 (3532) 50-06-06 (доб. 306); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3617-5908>).

**Кряжев Дмитрий Александрович** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей и коммунальной гигиены (e-mail: kryazhev.87@inbox.ru; тел.: 8 (3532) 50-06-06 (доб. 320); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4592-3848>).

<sup>1</sup> Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения до 2020 года / утв. распоряжением Правительства Российской Федерации № 1873-р от 25 октября 2010 г. [Электронный ресурс] // Правительство Российской Федерации. – URL: <http://government.ru/docs/29017/> (дата обращения: 05.02.2019).

современной медицинской науки. При этом гигиеническая оценка контаминантов в продуктах питания, оценка приоритетности контаминантов, ранжирование групп продуктов по вкладу в общую экспозицию является, несомненно, важной и актуальной задачей<sup>2</sup> [3].

Качество и безопасность продуктов питания определяется, в том числе, отсутствием в них чужеродных химических веществ (контаминантов). В связи с широким распространением в окружающей среде тяжелых металлов особенно актуальной и своевременной является задача по гигиенической оценке тяжелых металлов как в продуктах питания, так и в питьевой воде [4–7]. Определение экспозиции от контаминантов в продуктах питания и питьевой воде позволяет не только выявить возможные последствия для здоровья населения, но и косвенно отследить путь миграции исследуемых чужеродных химических веществ в окружающей среде [8–11]. Ранее проведенные исследования по гигиенической оценке тяжелых металлов и микроэлементов в объектах окружающей среды обуславливают концепцию биогеохимических провинций и создают необходимость изучения особенностей и характера межсредовой миграции с учетом региональных особенностей [12–15]. В связи с этим оценка комбинированного поступления тяжелых металлов с продуктами и питьевой водой позволит определить риск здоровью населения от перорального поступления тяжелых металлов и снизить неопределенность [6, 16–19].

**Цель исследования** – оценка риска для здоровья населения комбинированного перорального поступления тяжелых металлов с питьевой водой и продуктами питания.

**Материалы и методы.** В научном исследовании изучены данные Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Оренбургской области по потреблению населением области основных групп пищевых продуктов; данные исследований продуктов питания, за которыми ведется многолетнее наблюдение в рамках социаль-

но-гигиенического мониторинга (2008–2013 гг.); данные государственных докладов «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Оренбургской области» за 2005–2013 гг.<sup>3</sup> Всего изучено более 3000 исследований различных групп пищевых продуктов, структура и объем потребления продуктов. Гигиеническая оценка была проведена по содержанию в продуктах тяжелых металлов (кадмий, свинец, ртуть, мышьяк) на соответствие требований ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»<sup>4</sup>. В работе оценивали пищевые продукты как местного производства, так и привозные, а также те продукты, которые были произведены на сельскохозяйственных полях и приусадебных участках Оренбургской области.

Гигиеническая оценка питьевой воды из разводящей сети г. Оренбурга проведена по четырем тяжелым металлам в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения»<sup>5</sup> (с изменениями на 2 апреля 2018 г.).

Оценка риска здоровью населения от продуктов питания и питьевой воды проведена в соответствии с МУ 2.3.7.2519-09 «Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население»<sup>6</sup> и Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду»<sup>7</sup>. При ранжировании продуктов питания была рассчитана доля вклада в общее значение экспозиции по каждому исследуемому веществу с определением ранга. Для расчета экспозиции были взяты значения среднеголетнего потребления продуктов и значения медианы и 90-го перцентиля. Расчет канцерогенных рисков проведен по трем исследуемым веществам (кадмий, мышьяк и свинец). Оценка неканцерогенного риска проведена по четырем исследуемым веществам (кадмий, мышьяк и свинец, ртуть).

<sup>2</sup> Working Principles for Risk Analysis for Food Safety for Application by Governments. CAC/GL 62-2007. – Rome: World Health Organization, 2007. – 41 p.

<sup>3</sup> О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Оренбургской области: Государственный доклад (за 2005–2013 гг.) [Электронный ресурс] // Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Оренбургской области. – URL: <http://56.rospotrebnadzor.ru/gosdoklady> (дата обращения: 05.12.2018).

<sup>4</sup> ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции: технический регламент Таможенного союза [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 05.02.2019).

<sup>5</sup> СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения (с изм. на 2 апреля 2018 года) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901798042> (дата обращения: 23.01.2019).

<sup>6</sup> МУ 2.3.7.2519-09. Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население [Электронный ресурс]. – URL: [https://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT\\_ID=4799](https://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4799) (дата обращения: 15.01.2019).

<sup>7</sup> Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 15.01.2019).

Статистическую обработку данных осуществляли при помощи программ Statistica R.10, StatSoftInc MS Office Excel-2010.

**Результаты и их обсуждение.** Экспозиция тяжелыми металлами на население напрямую зависит от контаминации и количества употребляемых в пищу продуктов питания. При сравнительном анализе удельного потребления (кг/чел.) установлено, что по исследуемым группам продуктов в Оренбургской области населением потребляется в целом большее количество продуктов на 93 кг в год, овощей и бахчевых – на 45 кг, молока и молочных продуктов – на 60 кг, в то время как сахара и кондитерских изделий, фруктов и картофеля население Оренбургской области потребляет меньше (табл. 1).

Все исследуемые группы продуктов по содержанию тяжелых металлов соответствуют гигиеническим требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»<sup>4</sup>.

На следующем этапе исследования был проведен расчет величин медианы и 90-го перцентиля с целью определения экспозиции, так как рассчитанное среднее значение величин может быть завышено или занижено по сравнению с медианным значением

(табл. 2). Стоит отметить, что рассчитанные значения медианы и 90-го перцентиля не превышают требования ТР ТС 021/2011<sup>4</sup>. В группе продуктов «Картофель» тяжелые металлы не обнаружены.

При сравнительной оценке полученных данных с ранее проведенными исследованиями установлено, что в целом контаминация продуктов питания характеризуется общим снижением концентраций тяжелых металлов в исследуемых продуктах. Содержание свинца в продуктах питания снизилось в 1,4–1,6 раза, кадмия в 1,5–2,0 раза, ртути в 2,0–2,5 раза, мышьяка в 2,5–3,0 раза [13].

Установлено, что первое ранговое место по вкладу в общее значение экспозиции свинцом, кадмием и мышьяком занимают молоко и молочные продукты (табл. 3). Второе и третье места по вкладу в общее значение экспозиции свинцом, кадмием и мышьяком занимают овощи и бахчевые и хлебные продукты соответственно. Первое ранговое место по вкладу в общее значение экспозиции ртутью занимают овощи и бахчевые, второе – хлебные продукты, третье – молоко и молочные продукты. Особый интерес представляет тот факт, что свинец, мышьяк и кадмий являются канцерогенными веществами,

Таблица 1

Потребление продуктов питания на душу населения (кг/год)

Группа продуктов	Оренбургская область	Российская Федерация
Хлебные продукты	121,6 ± 5,7	118,8 ± 1,9
Овощи и бахчевые	<b>150 ± 9,6*</b>	105 ± 1,9
Картофель	<b>96,6 ± 6,3*</b>	109,6 ± 2,3
Фрукты и ягоды	53,0 ± 2,3	59,6 ± 1,6
Мясо и мясопродукты	69,3 ± 3,1	65 ± 1,8
Молоко и молочные продукты	<b>307,7 ± 8,5*</b>	247 ± 3,4
Яйца (штук)	<b>310,7 ± 7,6*</b>	269 ± 5,4
Рыба и рыбопродукты	24,2 ± 1,9	24,2 ± 1,1
Сахар и кондитерские изделия	34,3 ± 2,1	39,2 ± 1,4
Масло растительное и другие жиры	18,3 ± 1,6	13,5 ± 1,1

Примечание: \* – достоверность различия групп  $p < 0,05$ .

Таблица 2

Концентрации контаминантов в продуктах питания для расчета экспозиции (мг/кг,  $M \pm m$ )

Группа продуктов		Свинец	Мышьяк	Кадмий	Ртуть
Хлебные продукты	med	0,01 ± 0,0012	0,01 ± 0,0012	0,01 ± 0,0011	0,005 ± 0,0001
	90 %	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,0011	0,014 ± 0,0001	0,005 ± 0,0001
Овощи и бахчевые	med	0,01 ± 0,0013	0,01 ± 0,0019	0,01 ± 0,0001	0,005 ± 0,0001
	90 %	0,01 ± 0,0017	0,01 ± 0,0018	0,01 ± 0,0001	0,005 ± 0,0001
Фрукты и ягоды	med	0,01 ± 0,0011	0,01 ± 0,0011	0,01 ± 0,001	0,005 ± 0,0001
	90 %	0,01 ± 0,0012	0,01 ± 0,0014	0,01 ± 0,0011	0,005 ± 0,0001
Мясо и мясопродукты	med	0	0	0	0
	90 %	0,01 ± 0,0013	0,01 ± 0,0013	0,01 ± 0,0001	0,005 ± 0,0001
Молоко и молочные продукты	med	0,01 ± 0,0012	0,01 ± 0,0012	0,01 ± 0,0001	0,001 ± 0,0001
	90 %	0,01 ± 0,0011	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,0001	0,005 ± 0,0001
Рыба и рыбопродукты	med	0,01 ± 0,0011	0,024 ± 0,001	0	0,012 ± 0,001
	90 %	0,07 ± 0,0018	0,256 ± 0,01	0,022 ± 0,0001	0,05 ± 0,001
Сахар и кондитерские изделия	med	0,01 ± 0,0018	0,005 ± 0,0001	0,01 ± 0,0001	0,001 ± 0,0001
	90 %	0,01 ± 0,0018	0,01 ± 0,0014	0,01 ± 0,0001	0,005 ± 0,0001
Масло растительное и другие жиры	med	0	0	0	0
	90 %	0,01 ± 0,0015	0	0	0

Таблица 3

Ранжирование продуктов по вкладу в общее значение экспозиции, % (ранг)

Продукт	Свинец	Мышьяк	Кадмий	Ртуть
Хлебные продукты	17,6 (3)	17,2 (3)	18,2 (3)	27,0 (2)
Овощи и бахчевые	21,7 (2)	21,2 (2)	22,5 (2)	33,3 (1)
Фрукты и ягоды	7,7 (4)	7,5 (5)	8,0 (4)	11,7 (5)
Мясо и мясопродукты	0	0	0	0
Молоко и молочные продукты	44,5 (1)	43,5 (1)	46,2 (1)	13,6 (3)
Рыба и рыбопродукты	3,5 (6)	8,2 (4)	0	12,9 (4)
Сахар и кондитерские изделия	5,0 (5)	2,4 (6)	5,1 (5)	1,5 (6)

и продукты, обуславливающие основной вклад в общую экспозицию, занимают одни и те же ранговые места. При оценке исследуемых групп продуктов было установлено, что именно хлебные продукты, овощи и бахчевые, мясо, молоко и молочные продукты являются в большей своей части продуктами местного происхождения, выращенными на полях Оренбургской области. Ранжирование продуктов по вкладу в общее значение экспозиции проводили по значению медианы (табл. 3).

Установлено, что более 70 % вклада, создаваемого контаминацией пищевых продуктов свинцом, кадмием, ртутью и мышьяком, определяется потреблением продуктов местного производства.

Особый интерес представляет изучение групп продуктов, которые обуславливают основной вклад в экспозицию. Для углубленного изучения хлебные продукты были разделены на следующие группы: «Хлеб», «Мучные кондитерские изделия», «Макаронные изделия», «Мука», «Крупы» и «Прочее». Самая низкая концентрация свинца ( $0,004 \pm 0,0002$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ), мышьяка ( $0,004 \pm 0,0001$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ), кадмия ( $0,004 \pm 0,0003$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ) и ртути ( $0,001 \pm 0,0001$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ) отмечается в группе «Макаронные изделия». Самые высокие концентрации свинца установлены для групп «Мука» ( $0,009 \pm 0,0006$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ) и «Крупы» ( $0,008 \pm 0,0003$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ). Самые высокие концентрации мышьяка характерны для «Муки» ( $0,008 \pm 0,0007$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ). Наиболее высокие концентрации кадмия установлены в «Муке» ( $0,009 \pm 0,0006$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ) и «Крупы» ( $0,009 \pm 0,0005$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ). Наиболее высокая концентрация ртути установлена в группе продуктов «Хлеб» ( $0,004 \pm 0,0003$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ). В целом можно сделать вывод о том, что более контаминированными хлебными продуктами являются «Мука» и «Крупы», большая доля которых является продуктами регионального производства (рисунок).

Исследуемые мясные продукты были разделены на следующие группы: «Колбасные изделия», «Мясо», «Мясо птицы» и «Изделия из фарша». Установлено, что по исследуемым веществам наименее контаминированными продуктами является «мясо» (свинец –  $0,001 \pm 0,0005$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ; мышьяк –  $0,001 \pm 0,0009$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ; кадмий –  $0,001 \pm 0,0005$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ; ртуть –  $0,0004 \pm 0,00001$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ). Наиболее высокие кон-

центрации зафиксированы для свинца ( $0,008 \pm 0,0005$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ), мышьяка ( $0,008 \pm 0,0003$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ), кадмия ( $0,008 \pm 0,0009$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ), ртути ( $0,004 \pm 0,0001$  мг/кг;  $p \leq 0,05$ ). Исследуемыми «изделиями из фарша» являются в основном замороженные полуфабрикаты (котлеты, пельмени, тефтели и другие), при этом большая их часть являются продуктами привозными, поставляемыми из других регионов. В то время как большая часть «мяса» и «мяса птицы» произведена в регионе.

С целью детального изучения молочных продуктов было выделено три группы: «Молоко», «Кисломолочные продукты» и «Другие молочные продукты» (сыворожка, пахта и пр.). Установлено, что наиболее контаминированными по свинцу ( $0,006 \pm 0,0002$  мг/кг), мышьяку ( $0,006 \pm 0,0001$  мг/кг) и кадмию ( $0,006 \pm 0,0006$  мг/кг) являются «Кисломолочные продукты». В «молоке» концентрация свинца составляет  $0,005 \pm 0,0009$  мг/кг, мышьяка –  $0,005 \pm 0,0008$  мг/кг и кадмия –  $0,005 \pm 0,0007$  мг/кг. Содержание ртути в «молоке» и «кисломолочных продуктах» является примерно одинаковым ( $0,002 \pm 0,0001$  мг/кг).

При определении коэффициентов неканцерогенной опасности были использованы значения условно переносимого недельного поступления (УПНП) вещества контаминантов, обладающих выраженной способностью к кумуляции (МУ 2.3.7.2519-09<sup>6</sup>), с расчетом недельной экспозиции. Установлено, что как по медиане, так и по 90-му процентилю коэффициенты опасности не превышают допустимого значения (табл. 4). Общий индекс опасности на уровне медианы и 90-го перцентиля не превышает допустимого значения.

Анализ риска по органам и системам показал, что самые высокие риски установлены для гормональной системы, ЦНС, почек и иммунной системы, тем не менее все они соответствуют гигиеническим требованиям как по медиане, так и по 90-му процентилю (табл. 5).

Расчет канцерогенных рисков был проведен по трем веществам: кадмий, мышьяк и свинец. При этом мышьяк и кадмий относятся к первой группе канцерогенов по классификации Международного агентства по изучению рака (МАИР). Оценка канцерогенного риска показала, что риск, обусловленный воздействием мышьяка в продуктах питания, можно

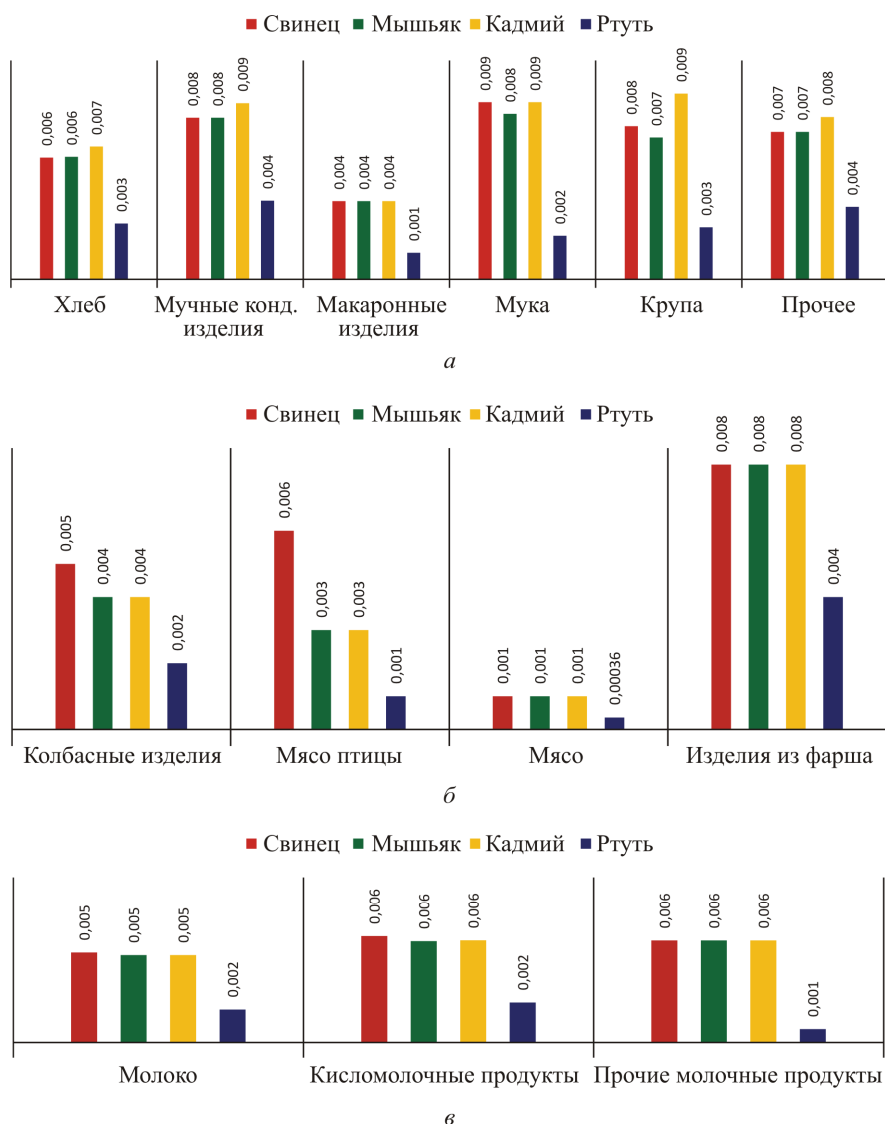


Рис. Структура контаминации тяжелыми металлами (мг/кг):  
а – хлебных продуктов; б – мясных продуктов; в – молочных продуктов

Таблица 4

Коэффициенты опасности развития  
неканцерогенных эффектов

Химическое вещество	Экспозиция (мг/кг/неделя)	УПНП мг/кг массы тела/неделя	Коэффициент опасности (HQ)
Свинец	med	0,002	0,08
	90 %	0,003	0,025
Мышьяк	med	0,002	0,13
	90 %	0,003	0,015
Кадмий	med	0,002	0,26
	90 %	0,002	0,007
Ртуть	med	0,001	0,12
	90 %	0,001	0,005
HI общий	med		0,59
	90 %		0,95

Таблица 5

Суммарный индекс опасности для критических  
органов и систем организма

Органы и системы	Индекс опасности, HI <sub>med</sub>	Индекс опасности, HI 90 %
Центральная нервная система	0,33	0,62
Нервная система	0,21	0,35
Кровь	0,08	0,10
Гормональная система	0,59	0,95
Репродуктивная система	0,20	0,37
Кожа	0,21	0,35
Иммунная система	0,25	0,52
Желудочно-кишечный тракт	0,13	0,25
Сердечно-сосудистая система	0,13	0,25
Почки	0,39	0,60



Канцерогенный риск в связи с пищевой экспозицией

Химическое вещество	CAS*	МАИР**	EPA***	SFO****	SFI*****	ICR <sub>med</sub> *****	ICR 90 %
Кадмий	7440-43-9	1	B1	0	6,3	9,94E-05	1,25E-04
Мышьяк	7440-38-2	1	A	1,5	15	4,17E-04	7,98E-04
Свинец	7439-92-1	2A	B2	0	0,042	1,27E-05	5,4E-04
Сумма CRfo			–			5,29E-04	1,5E-03

Примечание: \*Chemical Abstracts Service; \*\*Международное агентство по изучению рака; \*\*\*United States Environmental Protection Agency; EPA; \*\*\*\*Slope Factor для перорального SFO пути поступления токсиканта в организм; \*\*\*\*\*Slope Factor для ингаляционного SFI пути поступления токсиканта в организм; \*\*\*\*\*индивидуальный канцерогенный риск.

оценить как неприемлемый для населения в целом (индивидуальный риск в течение всей жизни более  $1 \cdot 10^{-4}$ ) как по медиане, так и 90-му процентилю. Индивидуальный канцерогенный риск от воздействия свинца и кадмия, рассчитанный по 90-му процентилю находится также на неприемлемом для населения уровне (табл. 6).

Расчет популяционного канцерогенного риска для всего населения Оренбурга (553 763 человека) в целом показал, что вероятность возникновения онкологических заболеваний максимальна от контаминации мышьяком (441,9 новых случаев заболеваний), минимальна от контаминации свинцом (9,4 новых случаев), от контаминации кадмием 69,2 новых случаев. В целом при употреблении продуктов питания число дополнительных случаев онкологических заболеваний при наихудшем сценарии воздействия (90-й перцентиль) может достигать 520,5 в течение 70 лет.

Анализ поступления тяжелых металлов с питьевой водой установил, что средние концентрации исследуемых веществ не превышали допустимых значений, при этом концентрация свинца составила 0,14 ПДК, мышьяка 0,2 ПДК, кадмия 0,48 ПДК и ртути 0,04 ПДК.

Суточная поглощенная доза составила для свинца  $5,58E-05$ , мышьяка –  $3,96E-05$ , кадмия –  $1,38E-05$  и ртути –  $6,14E-07$ . Расчет неканцерогенного риска от исследуемых веществ показал, что самым высоким коэффициентом опасности в питьевой воде обладает мышьяк ( $HQ = 0,13$ ). По кадмию ртути и свинцу коэффициент опасности ( $HQ$ ) менее 0,01.

Оценка канцерогенного риска выявила, что индивидуальный канцерогенный риск от содержания в питьевой воде мышьяка составляет  $5,94E-05$ , свинца  $2,62E-06$ , кадмия  $5,25E-06$ . При этом возможное дополнительное количество онкологических заболеваний от перорального поступления мышьяка с питьевой водой составляет 32,8; свинца – 1,5; кадмия – 2,9 в течение 70 лет.

Оценка комбинированного действия тяжелых металлов, содержащихся в продуктах питания и питьевой воде, при пероральном поступлении на основании индекса опасности ( $HI$ ) показала, что для продуктов питания  $HI$  составляет 0,44 (исполь-

зован 90-й перцентиль), для питьевой воды – 0,18. Таким образом, суммарный индекс опасности ( $THI$ ) составил 0,62.

Оценка суммарного канцерогенного риска от комбинированного перорального поступления показала, что для продуктов питания  $CR$  составляет  $9,4E-04$  (использован 90-й перцентиль), для питьевой воды  $1,47E-03$ . Таким образом, общий канцерогенный риск ( $TCR$ ) составил  $1,5E-03$ .

Основной источник неопределенностей в данной работе связан с неполной информацией о параметрах для оценки экспозиции, зависящей от более детального изучения количественного потребления пищевых продуктов различными группами населения. Максимально достоверные результаты по оценке влияния комбинированного перорального поступления тяжелых металлов на здоровье могут быть реально установлены в целенаправленно и верно спланированных исследованиях, снижающих уровни варибельности и неопределенности, с использованием специально полученных данных, и определения сценариев, приближенных к существующим условиям жизни.

**Выводы.** Установлено, что в Оренбургской области по исследуемым группам продуктов в целом на душу населения потребляется большее их количество (на 93 кг в год).

Рассчитанные значения медианы и 90-го перцентиля концентраций тяжелых металлов (кадмий, свинец, ртуть, мышьяк) в исследуемых группах продуктов питания соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»<sup>4</sup>. Среднегодовые концентрации тяжелых металлов в питьевой воде не превышают гигиенических нормативов.

Установлено, что первое ранговое место по вкладу в общую экспозицию свинцом, кадмием и мышьяком занимают молоко и молочные продукты, которые в основном являются продуктами регионального производства. Первое ранговое место по вкладу в общее значение экспозиции ртутью занимают овощи и бахчевые. Более 70 % вклада, создаваемого контаминацией пищевых продуктов свинцом, кадмием, ртутью и мышьяком, определяется потреблением продуктов преимущественно регионального производства.

Коэффициенты опасности развития неканцерогенных эффектов, а также индексы опасности для критических органов и систем от тяжелых металлов как в питьевой воде, так и в продуктах питания не превышают допустимого уровня.

При оценке суммарного канцерогенного риска от комбинированного перорального поступления тяжелых металлов установлен неприемлемый уровень канцерогенного риска (общий риск (*TCR*), ко-

торый составил  $1,5 \times 10^{-3}$ , по 90-му перцентиллю). Вероятность возникновения дополнительных случаев онкологических заболеваний при наихудшем сценарии воздействия может достигать 557 случаев.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. К вопросу установления допустимых суточных доз химических веществ в пищевых продуктах по критериям риска здоровью / П.З. Шур, Н.В. Зайцева, С.А. Хотимченко, Е.В. Федоренко, С.И. Сычик, В.А. Фокин, Д.В. Суворов, С.Е. Зеленкин // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 2. – С. 189–195. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-189-195
2. Попова А.Ю. Стратегические приоритеты Российской Федерации в области экологии с позиции сохранения здоровья нации // Здоровье населения и среда обитания. – 2014. – Т. 251, № 2. – С. 4–7.
3. Май И.В., Никифорова Н.В. Методические подходы к оптимизации лабораторного контроля безопасности продукции в рамках риск-ориентированного надзора // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 2. – С. 205–213. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-205-213
4. Актуальные проблемы управления рисками здоровью населения в России // В.Н. Ракитский, С.Л. Авалиани, Т.А. Шашина, Н.С. Додина // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 6. – С. 572–575.
5. Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И. Анализ пищевых рисков и безопасность водного фактора // Анализ риска здоровью. – 2018. – № 4. – С. 31–42. DOI: 10.21668/health.risk/2018.4.04
6. Фомина С.Ф., Степанова Н.В. Изучение питания детей г. Казани и риск заболеваемости, связанный с химической контаминацией пищевых продуктов // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87, № 5. – С. 197–198.
7. Фридман К.Б., Новикова Ю.А., Белкин А.С. Оценка риска здоровью в целях гигиенической характеристики систем водоснабжения // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 7. – С. 686–689.
8. Разработка методики анализа содержания токсичных элементов в масложировой продукции и масличном сырье с использованием атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой для оценки безопасности товаров / Л.С. Ивашкевич, Т.В. Ковшова, О.Н. Васькова, Ю.Н. Велентей // Анализ риска здоровью. – 2017. – № 2. – С. 128–135. DOI: 10.21668/health.risk/2017.2.14
9. Зайцева Н.В., Трусков П.В., Кирьянов Д.А. Концептуальная математическая модель накопления нарушений функций организма, ассоциированных с факторами среды обитания // Медицина труда и промышленная экология. – 2012. – № 12. – С. 40–45.
10. Potentially toxic elements in freshwater (*Alburnus* spp.) and marine (*Sardina pilchardus*) sardines from the Western Balkan Peninsula: An assessment of human health risk and management / A. Milošević, Đ. Milošević, N. Radojković, M. Radenković, S. Đuretanović, T. Veličković, V. Simić // Science of the Total Environment. – 2018. – Vol. 644, № 10. – P. 899–906. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.041
11. Vejarano R., Siche R. Evaluation of biological contaminants in foods by hyperspectral imaging: A review // International Journal of Food Properties. – 2017. – Vol. 20. – P. 1264–1297. DOI: 10.1080/10942912.2017.1338729
12. Гигиеническая оценка качества питьевой воды и риски для здоровья населения Приморского края / П.Ф. Кик, Л.В. Кислицына, В.Д. Богданова, К.М. Сабирова // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 1. – С. 94–101.
13. Гигиеническая оценка содержания микроэлементов в питьевой воде и продуктах питания в системе социально-гигиенического мониторинга / В.М. Боев, Н.А. Лесцова, Н.М. Амерзянова, Т.М. Макарова, Г.В. Сизова, А.Г. Сетко, В.В. Утенин // Гигиена и санитария. – 2002. – № 5. – С. 71–73.
14. Методы оценки комбинированного действия веществ / З.И. Жолдакова, Н.В. Харчевникова, Р.А. Мамонов, О.О. Сеницына // Гигиена и санитария. – 2012. – № 2. – С. 86–90.
15. Presence of arsenic, mercury and vanadium in aquatic organisms of Laizhou Bay and their potential health risk / Y. Liu, G. Liu, Z. Yuan, H. Liu, P.K.S. Lam // Marine Pollution Bulletin. – 2017. – Vol. 125, № 1–2. – P. 176–185.
16. Кислицына Л.В., Иванова И.Л., Кик П.Ф. Оценка риска вероятного воздействия тяжелых металлов в пищевых продуктах на состояние здоровья населения Приморского края // Здоровье. Медицинская экология. Наука. – 2015. – Т. 62, № 4. – С. 78–83.
17. Алиментарно-зависимые заболевания населения и гигиеническая характеристика факторов риска их развития на территории Республики Татарстан / О.А. Фролова, Е.А. Тафеева, Д.Н. Фролов, Е.П. Бочаров // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 5. – С. 470–473.
18. 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. – 2018. – Т. 304, № 7. – С. 4–7.
19. Анализ канцерогенного риска при воздействии факторов окружающей среды на здоровье населения крупного промышленного города и заболеваемость злокачественными новообразованиями / В.М. Боев, Л.В. Зеленина, Д.А. Кряжев, Л.М. Тулина, А.А. Неплохов // Здоровье населения и среда обитания. – 2016. – № 6. – С. 3–6.

Боев В.М., Кряжева Е.А., Бегун Д.Н., Борищук Е.Л., Кряжев Д.А. 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

## HYGIENIC ASSESSMENT OF POPULATION HEALTH RISKS CAUSED BY COMBINED ORAL INTRODUCTION OF HEAVY METALS

V.M. Boev, E.A. Kryazheva, D.N. Begun, E.L. Borshchuk, D.A. Kryazhev

The Orenburg State Medical University, 6 Sovetskaya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation

*There is a pressing issue related to combined oral introduction of heavy metals into a human body with drinking water and food products. It is caused by food products contamination, very high probability that metals migrate into water and plants from soils, ambient air, etc. The research goal was to hygienically assess combined oral introduction of heavy metals with drinking water and food products with subsequent population health risks assessment. The authors analyzed long-term data on structure and volumes of food products consumption and assessed population exposure under combined oral introduction of heavy metals (mercury, cadmium, arsenic, and lead) contained in drinking water and food products. Data were obtained from a regional information social-hygienic monitoring database and a regional office of the Federal Statistics Service. Both regional products and products delivered from other regions (or countries) were analyzed. It was detected that population in the region consumed food products per 1 person a year in a quantity which was by 93 kg higher than on average in the country. Calculated concentrations of the examined substances in food products and drinking water corresponded to hygienic standards. Dairy products had the first rank place as regards a contribution made into the overall exposure to lead, cadmium, and arsenic. The second and the third place belonged to vegetables and melons and grocery respectively. The first rank place as per a contribution made into the overall exposure to mercury belonged to vegetables and melons; the second place, to grocery; the third place, to dairy products. Non-carcinogenic risk assessment revealed that hazard quotients related to heavy metals contents in food products and drinking water were within acceptable risks limits. Total carcinogenic risk (TCR) was unacceptable ( $1.5E-03$ ). A number of additional oncologic diseases in the region could reach 557 cases (during 70 years) under the worst scenario.*

**Key words:** food products, drinking water, heavy metals, health risk assessment, non-carcinogenic risk, oncologic diseases, combined effect, oral introduction.

### References

1. Shur P.Z., Zaitseva N.V., Khotimchenko S.A., Fedorenko E.V., Sychik S.I., Fokin V.A., Suvorov D.V., Zelenkin S.E. On the issue of establishing acceptable daily intake of chemical substances in food products according to health risk criteria. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 2, pp. 189–195. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-189-195 (in Russian).
2. Popova A.Yu. Strategic priorities of the Russian Federation in the field of ecology from the position of preservation of health of the nation. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2014, vol. 251, no. 2, pp. 4–7 (in Russian).
3. May I.V., Nikiforova N.V. Methodological approaches to optimization of the laboratory control over product safety within risk-based surveillance framework // *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 2, pp. 205–213. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-205-213 (in Russian).
4. Rakitskii V.N., Avaliani S.L., Shashii T.A., Dodina N.S. Actual problems of population health risks management in Russia. *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 6, pp. 572–575 (in Russian).
5. Rakhmanin Yu.A., Mikhailova R.I. Food risks analysis and water safety. *Health Risk Analysis*, 2018, no. 4, pp. 31–42. DOI: 10.21668/health.risk/2018.4.04.eng
6. Fomina S.F., Stepanova N.V. Izuchenie pitaniya detei g. Kazani i risk zabolevaemosti, svyazannyi s khimicheskoi kontaminatsiei pishchevykh produktov [The study of the nutrition of children in Kazan and the risk of morbidity associated with chemical contamination of food]. *Voprosy pitaniya*, 2018, vol. 87, no. S5, pp. 197–198 (in Russian).
7. Fridman K.B., Novikova Yu.A., Belkin A.S. On the issue of the use of health risk assessment techniques for hygienic characteristics of water supply systems. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 7, pp. 686–689 (in Russian).

© Boev V.M., Kryazheva E.A., Begun D.N., Borshchuk E.L., Kryazhev D.A., 2019

**Viktor M. Boev** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Honored scientist of the RF, Honored worker of the higher education in the Russian Federation, Head of the Common and Communal Hygiene Department (e-mail: k\_com.gig@orgma.ru; tel.: +7 (3532) 50-06-06 (ext. 320); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3684-1149>).

**Elena A. Kryazheva** – a post-graduate student at the Common and Communal Hygiene Department (e-mail: kryazheva89@inbox.ru; tel.: +7(3532) 50-06-06 (ext. 320); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3527-2068>).

**Dmitrii N. Begun** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Public Health and Healthcare Department (e-mail: doctorbegun@yandex.ru; tel.: +7(3532) 50-06-06 (ext. 306); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8920-6675>).

**Evgenii L. Borshchuk** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Public Health and Healthcare Department (e-mail: be@orgma.ru; tel.: +7(3532) 50-06-06 (ext. 306); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3617-5908>).

**Dmitrii A. Kryazhev** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Common and Communal Hygiene Department (e-mail: kryazhev.87@inbox.ru; tel.: +7(3532) 50-06-06 (ext.320); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4592-3848>).



8. Ivashkevich L.S., Kovshova T.V., Vashkova O.N., Velentei Yu.N. Working out procedures for analyzing toxic elements content in oil products and oil raw materials using atomic-emission spectrometry with inductive-bound plasma to assess products safety. *Health Risk Analysis*, 2017, no. 2, pp. 128–135. DOI: 10.21668/health.risk/2017.2.14.eng
9. Zaitseva N.V., Trusov P.V., Kir'yanov D.A. Mathematic concept model of accumulation of functional disorders associated with environmental factors. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2012, no. 12, pp. 40–45.
10. Milošković A., Milošević Đ., Radojković N., Radenković M., Đuretanović S., Veličković T., Simić V. Potentially toxic elements in freshwater (*Alburnus spp.*) and marine (*Sardina pilchardus*) sardines from the Western Balkan Peninsula: An assessment of human health risk and management. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 644, no. 10, pp. 899–906. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.041
11. Vejarano R., Siche R. Evaluation of biological contaminants in foods by hyperspectral imaging: A review. *International Journal of Food Properties*, 2017, vol. 20, pp. 1264–1297. DOI: 10.1080/10942912.2017.1338729
12. Kiku P.F., Kislitsyna L.V., Bogdanova V.D., Sabirova K.M. Hygienic evaluation of the quality of drinking water and risks for the health of the population of the primorye territory. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 1, pp. 94–101 (in Russian).
13. Boev V.M., Lestsova N.A., Amerzyanova N.M., Makarova T.M., Sizova G.V., Setko A.G., Utenin V.V. Hygienic assessment of the levels of trace elements in drinking water and foodstuffs in the sociohygienic monitoring system. *Gigiena i sanitariya*, 2002, no. 5, pp. 71–73 (in Russian).
14. Zholdakova Z.I., Kharchevnikova N.V., Mamonov R.A., Sinitsyna O.O. Methods for estimating the combined effect of substances. *Gigiena i sanitariya*, 2012, no. 2, pp. 86–90 (in Russian).
15. Liu Y., Liu G., Yuan Z., Liu H., Lam P.K.S. Presence of arsenic, mercury and vanadium in aquatic organisms of Laizhou Bay and their potential health risk. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, vol. 125, no. 1–2, pp. 176–185.
16. Kislitsyna L.V., Ivanova I.L., Kiku P.F. Estimation of risk of the likely impact of heavy metals in food on health of population of the Primorsky region. *Zdorov'e. Meditsinskaya ekologiya. Nauka*, 2015, no. 4 (62), pp. 78–83 (in Russian).
17. Frolova O.A., Tafееva E.A., Frolov D.N., Bocharov E.P. Alimentary-dependent diseases of the population and the hygienic characteristic of the factors of the risk of their development in the territory of the republic of Tatarstan. *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 5, pp. 470–473 (in Russian).
18. Lyzhina A.V., Unguryanu T.N., Rodimanov A.V. Health risk assessment associated with contamination by heavy metals of food products. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2018, no. 7 (304), pp. 4–7 (in Russian).
19. Boev V.M., Zelenina L.V., Kryazhev D.A., Tulina L.M., Neplokhov A.A. Analysis on exposure carcinogenic risk of environmental factors on health largest industrial cities and malignant tumors. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2016, no. 6, pp. 3–6 (in Russian).

Boev V.M., Kryazheva E.A., Begun D.N., Borshchuk E.L., Kryazhev D.A. Hygienic assessment of population health risks caused by combined oral introduction of heavy metals. *Health Risk Analysis*, 2019, no. 2, pp. 35–43. DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.04.eng

Получена: 13.03.2019

Принята: 20.05.2019

Опубликована: 30.06.2019