

EDN: <https://elibrary.ru/nmtjbe>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-10-650-656>

УДК 613.2:613.9

© Коллектив авторов, 2022

Тармаева И.Ю.<sup>1</sup>, Браун О.<sup>2</sup>**Оценка рисков при воздействии эссенциальных и токсических элементов, содержащихся в пищевых продуктах для работников горно-обогатительного производства**<sup>1</sup>ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии», Устьинский проезд, 2/14, Москва, 109240;<sup>2</sup>Фонд содействию развития здравоохранения Монголии, 15-й хороо, 73-19, г. Улаанбаатар, Монголия, 211121

**Введение.** Исходя из среднего потребления пищевых продуктов (ПП), а также данных о химическом составе ПП рассчитаны коэффициенты и индексы опасности, индивидуальный риск для мужчин, работающих на горно-обогатительном производстве «Эрдэнэт» Монголия.

**Цель исследования** — оценить риски для здоровья работников горно-обогатительного производства Монголии при воздействии эссенциальных *Cu, Mo, Se* и токсичных элементов *As, Cd, Pb, Hg*.

**Материалы и методы.** Содержание эссенциальных и токсичных элементов в пищевых рационах рассчитывалось по данным многоэлементного анализа образцов местных пищевых продуктов, проведённого методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Было исследовано 30 проб в продуктах питания на содержание элементов: эссенциальных *Cu, Mo, Se* и токсичных *As, Cd, Pb, Hg*. Расчёт канцерогенного и неканцерогенного риска проводился в соответствии с Руководством Р 2.1.10.1920–04.

**Результаты.** Установлен дисбаланс среднесуточного поступления эссенциальных элементов с рационами питания: потребление селена ниже рекомендованных норм физиологических потребностей на 80,23%, а поступление молибдена превышено на 40,97%. Основными источниками поступления молибдена являются хлеб и хлебобулочные изделия (73,9%), вырабатываемые из местного сырья.

**Ограничения исследования.** Проведённое исследование имеет ряд существенных неопределённостей, связанных с идентификацией опасности отдельных токсикантов, неполными представлениями об уровнях потребления овощей и фруктов и содержания в них эссенциальных пищевых веществ и загрязнителей, которые не вошли в исследование химического состава.

**Заключение.** Рассчитанный показатель индекса неканцерогенной опасности токсичных элементов для здоровья работников составил 0,52, основную долю в который вносит мышьяк 0,3. Главный вклад в суммарный HQ приходится на поступление эссенциальных и токсичных элементов с пищей (96,86%), в то время как с питьевой водой поступает только 3,14%.

**Ключевые слова:** рацион питания; эссенциальные и токсичные элементы; пищевые продукты; оценка риска; Монголия  
**Для цитирования:** Тармаева И.Ю., Браун О. Оценка рисков при воздействии эссенциальных и токсичных элементов, содержащихся в ПП для работников горно-обогатительного производства. *Мед. труда и пром. экол.* 2022; 62(10): 650–656. <https://elibrary.ru/nmtjbe> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-10-650-656>

**Для корреспонденции:** Тармаева Инна Юрьевна, ведущий научный сотрудник, ученый секретарь ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии», д-р мед. наук, профессор. E-mail: [tarmaeva@ion.ru](mailto:tarmaeva@ion.ru)

**Участие авторов:**

Тармаева И.Ю. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование;

Браун О. — сбор и обработка данных, написание текста.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 17.03.2022 / Дата принятия к печати: 27.10.2022 / Дата публикации: 25.11.2022

Inna Yu. Tarmaeva<sup>1</sup>, Odontsetseg Brown<sup>2</sup>**Assessment of risks of essential and toxic elements exposure contained in foodstuff for workers of mining and processing industry**<sup>1</sup>Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology, 2/14, Ustinsky passage, Moscow, 109240;<sup>2</sup>Mongolian Health Promotion Fund, 73–19, 15<sup>th</sup> horoo, Ulaanbaatar, Mongolia, 211121

**Introduction.** Based on the average consumption of foodstuff, as well as data of the chemical composition of foodstuff, there are calculated the hazard coefficients and indices, individual risk for men working at the "Erdenet" mining and processing plant in Mongolia.

**The study aims** to assess the health risks of mining and processing workers in Mongolia when exposed to essential *Cu, Mo, Se* and toxic elements *As, Cd, Pb, Hg*.

**Materials and methods.** The content of essential and toxic elements in food rations was calculated from the data of multi-element analysis of samples of local foodstuff, conducted by inductively coupled plasma mass spectrometry. 30 samples of foodstuff were examined for the content of elements: essential *Cu, Mo, Se* and toxic *As, Cd, Pb, Hg*. The calculation of carcinogenic and non-carcinogenic risk was carried out in accordance with the guidelines Р 2.1.10.1920–04.

**Results.** An imbalance of the average daily intake of essential elements with the diet in the body of workers has been established: selenium consumption is 80.23% lower than the recommended norms of physiological needs; while the consumption of molybdenum is exceeded by 40.97%. The main sources of molybdenum are bread and bakery products (73.9%) produced from local raw materials.

**Limitations.** Our study has a number of significant uncertainties related to the identification of the danger of individual toxicants, incomplete ideas about the levels of consumption of vegetables and fruits and their content of essential food substances and contaminants that were not included in the study of chemical composition.

**Conclusions.** The calculated index of the non-carcinogenic hazard of toxic elements for the health of employees was 0.52, where 0.3 is by arsenic. The main contribution to the total HQ is the intake of essential and toxic elements from food (96.86%), while only 3.14% comes from drinking water.

**Keywords:** diet; essential and toxic elements; foodstuff; risk assessment; Mongolia

**For citation:** Tarmaeva I.Yu., Brown O. Assessment of risks of essential and toxic elements exposure contained in foodstuff for workers of mining and processing industry. *Med. truda i prom. ekol.* 2022; 62(10): 650–656. <https://elibrary.ru/nmtjbe> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-10-650-656> (in Russian)

**For correspondence:** Inna Yu. Tarmaeva, lead researcher, scientific secretary of Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology, MD. E-mail: [tarmaeva@ion.ru](mailto:tarmaeva@ion.ru)

**Information about the authors:** Tarmaeva I.Yu. <https://orcid.org/0000-0002-5129-8367>  
Brown O. <https://orcid.org/0000-0002-5398-9575>

**Contribution:**

Tarmaeva I.Yu. — concept and design of research, text writing, editing;

Brown O. — data collection and processing, text writing.

**Funding.** The study had no funding.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

Received: 17.03.2022 / Accepted: 27.10.2022 / Published: 25.11.2022

**Введение.** Одним из важнейших вопросов при оценке воздействия контаминантов окружающей среды на здоровье человека, является оценка риска здоровья человека [1–3]. В докладе ВОЗ о состоянии здравоохранения в мире отмечено, что «охрана здоровья людей начинается с оценки факторов риска для здоровья, информирования о них и разработки способов их преодоления, характеристики влияния факторов риска на людей и роли правительств в защите от них населения» [4]. В соответствии с нормативной базой Всемирной торговой организации (ВТО) её члены должны обеспечивать реализацию санитарных мер путём оценки рисков для жизни или здоровья людей [5–7]. Комплексная оценка и коррекция пищевого статуса трудоспособного населения является одной из актуальных проблем современной медицины. В течение последних десятилетий в Монголии, также, как и в других, экономически развитых странах мира, существенно изменилась структура питания населения [8]. На фоне всеобщего снижения энергозатрат и связанного с этим уменьшения объёма и ассортимента потребляемой пищи существенно уменьшилась реальная обеспеченность людей микронутриентами, в том числе и минорными биологически активными компонентами пищи [9]. Одновременно с этим всё более остро стоит проблема дисэлементозов — состояний, обусловленных не только дефицитом в организме эссенциальных элементов, но и избыточным поступлением таких токсичных элементов. В связи с этим оценка канцерогенного риска и неканцерогенной опасности при поступлении эссенциальных и токсичных элементов с пищевыми продуктами (ПП) имеет приоритетное направление [10].

**Цель исследования** — оценить риски для здоровья работников горно-обогатительного производства Монголии при воздействии эссенциальных *Cu, Mo, Se* и токсичных элементов *As, Cd, Pb, Hg*.

**Материалы и методы.** Анализ содержания эссенциальных и токсичных элементов в местных ПП проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой (ИСП-МС)<sup>1</sup>. Было исследовано 30 проб ПП на содержание элементов, в том числе эссенциальных

*Cu, Mo, Se* и токсичных *As, Cd, Pb, Hg*. Аналитические исследования выполнены в лаборатории ООО «Микронутриенты», аккредитованной в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии (аттестат аккредитации РОСС.RU.0001.22ПЯ.05). Исходя из среднего потребления пищевых продуктов, а также данных о их химическом составе рассчитаны коэффициенты (*HQ*) и индексы опасности (*HI*), индивидуальный (*ICR*) и популяционный (*PCR*) риск для взрослых мужчин в соответствии с Руководством<sup>2</sup> и Методическими указаниями<sup>3</sup>.

**Результаты.** В рамках исследования было проанализировано содержание эссенциальных и токсичных элементов в ПП (говядина, конина, картофель, хлеб и хлебобулочные изделия, молоко, яйца), составляющих рацион питания работников горно-обогатительного производства, которые составили около 70% от всех основных групп ПП (*табл. 1*).

Анализ данных [11] состава пищевого рациона и расчёта среднесуточного поступления эссенциальных и токсичных элементов в организм показал, что потребление селена ниже рекомендованного уровня на 80,23.

По результатам анализа соответствия количества эссенциальных и токсичных элементов, содержащихся в рационе питания, нормам физиологических потребностей и допустимым суточным дозам по токсикологическим параметрам, установлено (*табл. 2*), что суточное поступление молибдена превышает норму физиологической потребности на 40,97%. Настораживают пограничные значения в отношении меди, удельный вес которой от физиологической потребности и допустимой суточной дозы составили 89,64% и 67,40% соответственно. Содержание молибдена и меди обусловлено воздействием промышленного производства. Вместе с тем суточное поступление указанных микроэлементов не превышает допустимую суточную дозу. Основными источниками поступления молибдена и меди являются хлеб и хлебобулочные изделия (73,9%).

Исследования на территориях, содержащих залежи медно-молибденовых руд, показали, что происходит

<sup>1</sup> МУК 4.1.1482-03 «Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, поливитаминных препаратах с микроэлементами, в биологически активных добавках к пище и в сырье для их изготовления методом атомной эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой», МУК 4.1.1483-03 «Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавках методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой», утверждённых Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации — Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации Г.Г. Онищенко 29.06.2003 г.

<sup>2</sup> Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду», утверждённых Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 05.03.2004 г.

<sup>3</sup> МУ 2.3.7.2519-09 «Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население», утверждённых Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 05.06.2009 г.

Таблица 1 / Table 1

**Содержание эссенциальных и токсичных элементов в пищевых продуктах, потребляемых работниками горно-обогатительного предприятия «Эрдэнэт»****Content of essential and toxic elements in food products consumed by employees of Erdenet mining and processing plant**

Распределение концентраций химических веществ (мкг/г) по группам пищевых продуктов	Эссенциальные элементы			Токсичные элементы				
	<i>Cu</i>	<i>Mo</i>	<i>Se</i>	<i>As</i>	<i>Cd</i>	<i>Hg</i>	<i>Pb</i>	
мясо	$C_{cp}$	1,420	0,019	0,002	0,009	0,001	0,002	0,006
	$C_{90}$	1,550	0,028	0,002	0,010	0,001	0,002	0,006
молоко	$C_{cp}$	0,045	0,025	0,001	0,002	0,000	0,000	0,004
	$C_{90}$	0,057	0,034	0,001	0,002	0,000	0,001	0,004
яйцо	$C_{cp}$	0,870	0,030	0,300	0,006	0,000	0,002	0,003
	$C_{90}$	0,980	0,150	0,380	0,007	0,000	0,002	0,003
хлеб и хлебобулочные изделия	$C_{cp}$	1,940	0,300	0,005	0,006	0,007	0,002	0,007
	$C_{90}$	1,970	0,320	0,007	0,011	0,008	0,002	0,008
картофель	$C_{cp}$	1,100	0,150	0,000	0,008	0,005	0,001	0,007
	$C_{90}$	1,180	0,180	0,000	0,009	0,010	0,002	0,011

Примечание:  $C_{cp}$  — концентрации веществ, рассчитанные с учётом средней дозы центильной тенденции;  $C_{90}$  — концентрации веществ, рассчитанные с учётом 90-го перцентиля.

Note:  $C_{cp}$  — concentrations of substances calculated taking into account the average dose of the centile trend;  $C_{90}$  — concentrations of substances calculated taking into account the 90<sup>th</sup> percentile.

Таблица 2 / Table 2

**Оценка соответствия количества эссенциальных и токсичных элементов, содержащихся в рационах питания, нормам физиологической потребности человека и допустимым суточным дозам.****Assessment of compliance of essential and toxic elements contained in diets with human physiological requirements and permissible daily doses**

Элемент	Экспозиция контаминантами ПП (мг/сут. на 1 кг массы тела)	Нормы физиологической потребности, (мг/сут. на взрослого средним весом 70 кг)*	Удельный вес от норм физиологической потребности (%)	ДСД (ADI) (допустимая суточная доза (мг/сут. на 1 кг массы тела)**	Удельный вес от допустимой суточной дозы (%)
<i>As</i>	6,03E-05	—	—	3,00E-04	28,21
<i>Cd</i>	3,38E-05	—	—	5,00E-04	8,60
<i>Pb</i>	5,60E-05	—	—	3,50E-03	1,91
<i>Hg</i>	1,32E-05	—	—	3,00E-04	5,24
<i>Mo</i>	1,41E-03	0,07	140,97	5,00E-03	28,19
<i>Se</i>	1,98E-04	0,07	19,77	5,00E-03	3,95
<i>Cu</i>	1,28E-02	1,00	89,64	1,90E-02	67,40

Примечание: \* — нормы физиологической потребности приняты согласно Методическим рекомендациям 4; \*\* — ДСД (допустимая суточная доза) принята согласно Руководству<sup>2</sup>.

Note: \* — the norms of physiological needs are adopted according to Methodological Recommendations 4; \*\* — permissible daily dose, adopted according to the Guide.

накопление основных и сопутствующих эссенциальных и токсичных элементов не только в почве, но и в произрастающих здесь растениях, и в тканях местных сельскохозяйственных животных [12–14].

Оценка влияния рассчитанной экспозиции химическими контаминантами ПП на здоровье населения осуществлена в соответствии с общими принципами методологии оценки риска<sup>2</sup>.

Коэффициент неканцерогенной опасности (табл. 3) среди анализируемых эссенциальных и токсичных элементов не превышает 1,0. Необходимо отметить, что наибольший коэффициент неканцерогенной опасности отмечается по содержанию меди, который составил 0,67 по средней центильной тенденции ( $HQ_{cp}$ ) и 0,71 по верхней границе 90-го доверительного интервала ( $HQ_{90}$ ).

Индекс неканцерогенной опасности, связанный с пищевым рационом, в 5,61 раза превышает допустимый уровень ( $HI_{\Delta}=1$ ) и в 5,80 раза — суммарный пероральный (табл. 4) [11]. В связи с этим были рассмотрены индексы неканцерогенной опасности для токсичных (*As*, *Cd*, *Hg*, *Pb*) и эссенциальных веществ, оказывающих токсический эффект в определённых дозах (*Mo*, *Se*, *Cu*). Величина  $HQ$  токсичных и эссенциальных элементов не превышает 1 (0,52 и 0,07 соответственно). При этом основной вклад, как показано в нашем исследовании, в суммарный  $HQ$  вносит поступление токсикантов с пищей (96,86%). Питьевая вода, как источник опасности, имеет важное значение только для свинца.

Сведения о результатах расчётов индивидуального (ICR) и популяционного (PCR) канцерогенного риска

Таблица 3 / Table 3

**Показатели экспозиции и коэффициенты неканцерогенной опасности, обусловленные поступлением контаминантов с пищевыми продуктами****Exposure rates and non-carcinogenic hazard factors due to food contaminants**

Элементы	Средняя центральная тенденция		90-й процентиль	
	$Exp_{сумм}$ (мг/сут на 1 кг массы тела)	Коэффициент некан- церогенной опасно- сти (HQ)	$Exp_{сумм}$ (мг/сут на 1 кг массы тела)	Коэффициент некан- церогенной опасно- сти (HQ)
As	6,03E-05	0,20	8,46E-05	0,28
Cd	3,38E-05	0,07	4,30E-05	0,09
Pb	5,60E-05	0,02	6,68E-05	0,02
Hg	1,32E-05	0,04	1,57E-05	0,05
Mo	1,41E-03	0,28	1,63E-03	0,33
Se	1,98E-04	0,04	2,53E-04	0,05
Cu	1,28E-02	0,67	1,34E-02	0,71

Таблица 4 / Table 4

**Оценка неканцерогенной опасности, обусловленной пероральным поступлением эссенциальных и токсичных элементов, для работников горно-обогатительного производства «Эрдэнэт».****Assessment of non-carcinogenic hazard caused by oral intake of essential and toxic elements for Erdenet mining and processing workers.**

Элементы	Коэффициент опасности (HQ)		Сумма HQ от алиментарного потребления	Вклад, %	
	Пищевые продукты	Питьевая вода		Пищевые продукты	Питьевая вода
As	0,28	0,02	0,30	93,92	6,08
Cd	0,09	0,00	0,09	98,49	1,51
Hg	0,05	0,00	0,05	96,96	3,04
Pb	0,02	0,02	0,04	44,84	55,16
Mo	0,33	0,01	0,34	97,06	2,94
Se	0,05	0,00	0,05	99,76	0,24
Cu	0,71	0,01	0,72	98,00	2,00
Суммарный HI	5,61	0,18	5,80	96,86	3,14
Токсичные	0,47	0,06	0,52	89,32	10,68
Эссенциальные*	0,07	0,00	0,07	97,79	2,21

Примечание: \* — токсичные, в определённых дозах.

Note: \* — toxic, in certain doses.

здоровью населения, обусловленного контаминацией ПП, представлены в **таблицах 5 и 6**.

**Обсуждения.** В Руководстве<sup>2</sup> для молибдена значение фактора канцерогенного потенциала отсутствует, следовательно, он не обладает канцерогенным действием. Международным агентством по исследованию рака (МАИР) в 2018 году триоксид молибдена был классифицирован как «возможно канцерогенный для человека» (группа 2В) на основе достаточных доказательств у экспериментальных животных [15, 16]. Коэффициент опасности неканцерогенного риска молибдена составил 0,33. Молибден оказывает негативное воздействие, формируя риск заболеваний почек. Однако уровни поступления молибдена с пищевыми продуктами обуславливают индекс неканцерогенной опасности нарушения почек, составляющий 0,81, что не превышает единицу.

Величина индивидуального канцерогенного риска (CR), детерминированного содержанием в ПП кадмия, свинца, находится в пределах от 2,63E-06 до 1,28E-05, что соответствует предельно допустимому риску, т. е.

верхней границе приемлемого риска. В связи с этим требуется системный мониторинг и контроль за содержанием этих эссенциальных и токсичных элементов.

Индивидуальный канцерогенный риск (ICR), обусловленный содержанием в ПП мышьяка, составляет 9,05E-05 по средней центральной тенденции и 1,27E-04 по верхней границе 90-го доверительного интервала. Такие уровни соответствуют третьему диапазону классификации уровня риска и являются приемлемыми для профессиональных групп, но неприемлемым уровнем для населения в целом. Риск такого уровня требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий. Планирование мероприятий по снижению рисков в данном случае должно основываться на результатах углубленной оценки всех этапов производства, технологической обработки, хранения, распределения и потребления пищевых продуктов.

Индивидуальный канцерогенный риск по отдельным типам локализаций находится в пределах от 7,28E-05 до 2,12E-04. Величина популяционного канцерогенного риска (PCR), обусловленного содержанием в ПП кадмия,

**Оценка канцерогенного риска при пероральном поступлении веществ с пищевыми продуктами.**  
**Assessment of carcinogenic risk in oral ingestion of substances with foodstuff.**

Элемент	МАИР	SF0	Показатель	Exp <sub>сумм</sub>	ICR	Вклад в суммарный канцерогенный риск, %	PCR
Cd	1	0,38	Me	3,38E-05	1,28E-05	12,1	0,041
			P <sub>90</sub>	4,30E-05	1,63E-05	11,2	0,052
Pb	2A	0,047	Me	5,60E-05	2,63E-06	2,5	0,008
			P <sub>90</sub>	6,68E-05	3,14E-06	2,1	0,010
As	1A	1,5	Me	6,03E-05	9,05E-05	85,4	0,290
			P <sub>90</sub>	8,46E-05	1,27E-04	86,7	0,406
Сумма			Me	—	1,06E-04	—	0,339
			P <sub>90</sub>	—	1,46E-04	—	0,468

Примечание: SF0 — фактор наклона; Me — средняя центильная тенденция; P<sub>90</sub> — 90-й процентиль; Exp<sub>сумм</sub> — суммарная экспозиция; ICR — индивидуальный риск здоровью населения; PCR — популяционный канцерогенный риск здоровью населения.  
 Note: SF0 is the slope factor; Me is the average centile trend; P<sub>90</sub> is the 90<sup>th</sup> percentile; Exp<sub>сумм</sub> — total exposure; ICR — individual risk to public health; PCR — population carcinogenic risk to public health.

**Показатели канцерогенного риска здоровью населения, обусловленного контаминацией ПП мышьяком**  
**Indicators of carcinogenic risk to public health caused by arsenic contamination of foodstuff**

	SF0	Me		P <sub>90</sub>	
		CR <sub>As</sub>	PCR <sub>As</sub>	CR <sub>As</sub>	PCR <sub>As</sub>
Печень	1,0	6,03E-05	0,19	8,46E-05	0,271
Лёгкие	2,50	1,51E-04	0,48	2,12E-04	0,677
Мочевой пузырь	2,50	1,51E-04	0,48	2,12E-04	0,677
Почки	0,86	5,19E-05	0,17	7,28E-05	0,233
Кожа	1,50	9,05E-05	0,29	1,27E-04	0,406

Примечание: SF0 — фактор наклона; Me — средняя центильная тенденция; P<sub>90</sub> — 90-й процентиль; CR<sub>As</sub>, PCR<sub>As</sub> — индивидуальный и популяционный риски здоровью населения, обусловленные контаминацией ПП мышьяком.  
 Note: SF0 is the slope factor; Me is the average centile trend; P<sub>90</sub> is the 90<sup>th</sup> percentile; CR<sub>As</sub>, PCR<sub>As</sub> are individual and population health risks caused by arsenic contamination of food products.

свинца и мышьяка, свидетельствует о возможности появления среди работников предприятия от 0,47 до 0,67 дополнительных (к фоновому уровню онкологической заболеваемости) случаев злокачественных новообразований.

Канцерогенная опасность мышьяка обусловлена только его неорганической формой [17–19], что указано в документах МАИР. В то же время в литературе отсутствуют данные по канцерогенному потенциалу органических соединений мышьяка. По имеющимся в литературе данным мышьяк в воде представлен в виде его неорганической формы, в то время как в ПП содержание неорганического мышьяка варьирует от менее 5 до 40% (в зависимости от пищевого продукта).

Таким образом, в ПП мышьяк находится в основном виде его органических соединений. В наших исследованиях определяли суммарное содержание мышьяка без разделения на его неорганическую и органические формы. В связи с этим полученные результаты по канцерогенному риску будут завышенным. Вместе с тем известно, что длительное воздействие неорганического мышьяка, в основном при потреблении воды несоответствующего ка-

чества, может приводить к раку кожи, мочевого пузыря, лёгких [20, 21].

Ограничения исследования. Проведённое нами исследование имеет ряд существенных неопределённостей, связанных с идентификацией опасности отдельных токсикантов, неполными представлениями об уровнях потребления овощей и фруктов и содержания в них эссенциальных пищевых веществ и контаминантов, которые не вошли в исследование химического состава.

**Заключение.** Величина индивидуального канцерогенного риска (ICR), детерминированного содержанием в ПП кадмия, свинца, находится в пределах от 2,63E-06 до 1,28E-05, что соответствует предельно допустимому риску, т. е. верхней границе приемлемого риска.

Для улучшения качества и безопасности ПП требуется усиление национальной системы контроля за содержанием эссенциальных и токсичных элементов, выяснение источника поступления и маршрута воздействия. Целесообразно создание эффективной информационной системы в области мониторинга питания, пропаганды и популяризация здорового питания.

## Список литературы

1. Тутельян В.А., Жилинская Н.В., Саркисян В.А., Кочеткова А.А. Анализ нормативно-методической базы в сфере специализированной пищевой продукции в Российской Федерации. *Вопросы питания*. 2017; 86(6): 29–35.
2. Попова А.Ю., Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. О новых (2021) нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. *Вопросы питания*. 2021; 90(4): 6–19. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19>
3. von Stackelberg K., Williams P.R.D. Evolving Science and Practice of Risk Assessment. *Risk Analysis*. 2021; 41(4): 571–83. <https://doi.org/10.1111/risa.13647>
4. World health statistics 2021: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
5. Погожева А.В., Багурин А.К. Правильное питание — фундамент здоровья и долголетия. *Пищевая промышленность*. 2017; 10: 58–61. <https://elibrary.ru/znlftv>
6. Попова А.Ю., Гурвич В.Б., Кузьмин С.В., Мишина А.А., Ярушин С.В. Современные вопросы оценки и управления риском для здоровья. *Гиг. и сан.* 2017; 96(12): 1125–29. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129>
7. Bucher K., Tellechea D., Mylrea G. Trade of aquatic animals and aquatic animal products: the use of OIE international standards for devising sanitary measures. *Rev Sci Tech*. 2019; 38(2): 523–36. <https://doi.org/10.20506/rst.38.2.3002> PMID: 31866678.
8. Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А. Витаминная обеспеченность взрослого населения Российской Федерации: 1987–2017 гг. *Вопросы питания*. 2018; 87(4): 62–8. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10043>
9. Вильмс Е.А., Турчанинов Д.В., Юнацкая Т.А., Сохошко И.А. Оценка витаминной обеспеченности населения крупного административно-хозяйственного центра Западной Сибири. *Гиг. и Сан.* 2017; 96(3): 277–280. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-3-277-280>
10. Шур П.З., Зайцева Н.В., Хотимченко С.А., Федоренко Е.В., Сычик С.И., Фокин В.А. и др. К вопросу установления допустимых суточных доз химических веществ в ПП по критериям риска здоровью. *Гиг. и сан.* 2019; 98(2): 189–95. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-2-189-195>
11. Тармаева И.Ю., Браун О., Ефимова Н.В. Оценка алиментарно обусловленных рисков, связанных с особенностями питания городских мужчин Монголии. *Гиг. и сан.* 2018; 97(10): 951–56. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-10-951-956>
12. Batsaikhan B., Kwon J.S., Kim K.H., Lee Y.J., Lee J.H., Badarch M. et al. Hydrochemical evaluation of the influences of mining activities on river water chemistry in central northern Mongolia. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2017; 24(2): 2019–34. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7895-3>
13. Rastmanesh F., Safaie S., Zarasvandi A.R., Edraki M. Heavy metal enrichment and ecological risk assessment of surface sediments in Khorramabad River, West Iran. *Environ Monit Assess*. 2018; 190(5): 273. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6650-2> PMID: 29644464.
14. Xue S., Shi L., Wu C., Wu H., Qin Y., Pan W. et al. Cadmium, lead, and arsenic contamination in paddy soils of a mining area and their exposure effects on human HEPG2 and keratinocyte cell-lines. *Environ Res*. 2017; 156: 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.014>
15. Guha N., Loomis D., Guyton K.Z., Grosse Y., El Ghissassi F., Bouvard V. et al. International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group. Carcinogenicity of welding, molybdenum trioxide, and indium tin oxide. *Lancet Oncol*. 2017; 18(5): 581–2. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30255-3](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30255-3)
16. Rehman K., Fatima F., Waheed I., Akash M.S.H. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *J Cell Biochem*. 2018; 119(1): 157–84. <https://doi.org/10.1002/jcb.26234>
17. Багрянцева О.В., Хотимченко С.А. Токсичность неорганических и органических форм мышьяка. *Вопросы питания*. 2021. 90(6): 6–17. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-6-6-17>
18. Medina-Pizzali M., Robles P., Mendoza M., Torres C. Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana [Arsenic Intake: Impact in Human Nutrition and Health]. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 2018; 35(1): 93–102. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604>
19. Kuivenhoven M., Mason K. Arsenic Toxicity. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022. PMID: 31082169.
20. Мовергоз С.В., Сетко Н.П., Булычева Е.В. Особенности элементного статуса рабочих нефтехимического предприятия при комплексном действии химического фактора производственной среды. *Вестник Кыргызско-Российского славянского университета*. 2018; 18(6): 192–6. <https://elibrary.ru/uytzu5>
21. Nigra A.E., Sanchez T.R., Nachman K.E., Harvey D., Chillrud S.N., Graziano J.H. et al. The effect of the Environmental Protection Agency maximum contaminant level on arsenic exposure in the USA from 2003 to 2014: an analysis of the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES). *Lancet Public Health*. 2017; 2(11): e513–e521. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(17\)30195-0](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(17)30195-0)

## References

1. Tutel'jan V.A., Zhilinskaja N.V., Sarkisjan V.A., Kochetkova A.A. Analysis of regulatory and methodical base in the industry of food for special dietary uses in the Russian Federation. *Voprosy pitaniya*. 2017; 86(6): 29–35 (in Russian).
2. Popova A.Ju., Tutel'jan V.A., Nikitjuk D.B. On the new (2021) norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation. *Voprosy pitaniya*. 2021; 90(4): 6–19. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19> (in Russian)
3. von Stackelberg K., Williams P.R.D. Evolving Science and Practice of Risk Assessment. *Risk Analysis*. 2021; 41(4): 571–83. <https://doi.org/10.1111/risa.13647>
4. World health statistics 2021: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
5. Pogozheva A.V., Baturin A.K. Proper nutrition is the foundation of health and longevity. *Pishhevaja promyshlennost'*. 2017; 10: 58–61. <https://elibrary.ru/znlftv> (in Russian).
6. Popova A.Ju., Gurvich V.B., Kuz'min S.V., Mishina A.L., Jarushin S.V. Modern issues of the health risk assessment and management. *Gigiena i sanitarija*. 2017; 96(12): 1125–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129> (in Russian).
7. Bucher K., Tellechea D., Mylrea G. Trade of aquatic animals and aquatic animal products: the use of OIE international standards for devising sanitary measures. *Rev Sci Tech*. 2019; 38(2): 523–536. <https://doi.org/10.20506/rst.38.2.3002> PMID: 31866678.
8. Kodencova V.M., Vrzhesinskaja O.A., Nikitjuk D.B., Tutel'jan V.A. Vitamin status of adult population of the Russian Federation: 1987–2017. *Voprosy pitaniya*. 2018; 87(4): 62–8. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10043> (in Russian)
9. Vil'ms E.A., Turchaninov D.V., Junackaja T.A., Sohoshko I.A. Assessment of vitamin provision of the population of the large administrative and economic center of the Western Siberia. *Gigiena i sanitarija*. 2017; 96(3): 277–80. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-3-277-280> (in Russian)

10. Shur P.Z., Zajceva N.V., Hotimchenko S.A., Fedorenko E.V., Sychik S.I., Fokin V.A. et al. On the issue of establishing acceptable daily intake of chemical substances in food products according to health risk criteria. *Gigiena i sanitarija*. 2019; 98(2): 189–95. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-2-189-195> (in Russian)
11. Tarmaeva I.Ju., Braun O., Efimova N.V. Evaluation of alimentary related risks associated with peculiarities of nutrition of urban men in Mongolia. *Gigiena i sanitarija*. 2018; 97(10): 951–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-10-951-956> (in Russian).
12. Batsaikhan B., Kwon J.S., Kim K.H., Lee Y.J., Lee J.H., Badarch M. et al. Hydrochemical evaluation of the influences of mining activities on river water chemistry in central northern Mongolia. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2017; 24(2): 2019–2034. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7895-3>
13. Rastmanesh F., Safaie S., Zarasvandi A.R., Edraki M. Heavy metal enrichment and ecological risk assessment of surface sediments in Khorramabad River, West Iran. *Environ Monit Assess*. 2018; 190(5): 273. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6650-2>
14. Xue S., Shi L., Wu C., Wu H., Qin Y., Pan W. et al. Cadmium, lead, and arsenic contamination in paddy soils of a mining area and their exposure effects on human HEPG2 and keratinocyte cell-lines. *Environ Res*. 2017; 156: 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.014>
15. Guha N., Loomis D., Guyton K.Z., Grosse Y., El Ghissassi F., Bouvard V. et al. International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group. Carcinogenicity of welding, molybdenum trioxide, and indium tin oxide. *Lancet Oncol*. 2017; 18(5): 581–2. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30255-3](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30255-3)
16. Rehman K., Fatima F., Waheed I., Akash M.S.H. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *J Cell Biochem*. 2018; 119(1): 157–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jcb.26234>
17. Bagrjanceva O.V., Hotimchenko S.A. Risks associated with the consumption of inorganic and organic arsenic. *Voprosy pitaniya*. 2021. 90(6): 6–17. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-6-6-17> (in Russian)
18. Medina-Pizzali M., Robles P., Mendoza M., Torres C. Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana [Arsenic Intake: Impact in Human Nutrition and Health]. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 2018; 35(1): 93–102. <https://doi.org/10.17843/rpmpesp.2018.351.3604>
19. Kuivenhoven M., Mason K. Arsenic Toxicity. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022. PMID: 31082169.
20. Movergoz S.V., Setko N.P., Bulycheva E.V. Features of the elemental status of working petrochemical complexes under the integrated action of the chemical factor of the production environment. *Vestnik kyrgyzsko-rossijskogo slavjanskogo universiteta*. 2018; 18(6): 192–6. <https://elibrary.ru/uytzus> (in Russian)
21. Nigra A.E., Sanchez T.R., Nachman K.E., Harvey D., Chillrud S.N., Graziano J.H. et al. The effect of the Environmental Protection Agency maximum contaminant level on arsenic exposure in the USA from 2003 to 2014: an analysis of the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES). *Lancet Public Health*. 2017; 2(11): e513–e521. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(17\)30195-0](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(17)30195-0)