

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2018

УДК 614.7:622.2]:616-006.04

Клейн С.В.¹, Вековшинина С.А.¹, Балашов С.Ю.¹, Хорошавин В.А.², Ухабов В.М.³

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ МЕСТ СКЛАДИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь;

²ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае», 614016, Пермь;

³ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера» Минздрава России, 614000, Пермь

В статье рассмотрены гигиенические проблемы, связанные с последствиями влияния на здоровье населения результатов прошлой хозяйственной деятельности горно-обогатительного комбината, расположенного в г. Закаменск (Республика Бурятия). Установлено, что складирование отходов комбината в непосредственной близости от жилой застройки формирует ненормативное качество среды обитания (до 2 ПДКсс исследуемых металлов в атмосферном воздухе, до 4 ПДК в питьевой воде, до 85 ПДК в почве), и недопустимые уровни канцерогенного риска здоровью населения (суммарный индивидуальный канцерогенный риск составляет до $2,11 \cdot 10^{-3}$). Основными факторами канцерогенного риска являются металлы (кадмий, никель, хром, кобальт, бериллий, мышьяк, свинец и др.) – компоненты отходов горно-обогатительного комбината, среди которых наибольший вклад вносят хром (вклад в величину TCR до 80,9%) и мышьяк (вклад до 53,2%). Приоритетными объектами поступления факторов риска из среды обитания являются атмосферный воздух и пищевые продукты (вклад в величину TCR до 71,0 и 43,1% соответственно).

Ключевые слова: места складирования отходов; металлы; гигиеническая оценка; качество среды обитания; пространственно-временной анализ; канцерогенный риск; население под воздействием.

Для цитирования: Клейн С.В., Вековшинина С.А., Балашов С.Ю., Хорошавин В.А., Ухабов В.М. Гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения, проживающего в зоне влияния мест складирования отходов горно-обогатительного комбината: 2014–2017 гг. *Гигиена и санитария*. 2017; 97(1): 10-15. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-1-10-15>

Для корреспонденции: Клейн Светлана Владиславовна, канд. мед. наук, зав. отд. системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга, ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения». E-mail: kleyn@fcrisk.ru.

Kleyn S.V.¹, Vekovshinina S.A.¹, Balashov S.Yu.¹, Khoroshavin V.A.², Ukhobov V.M.³

HYGIENIC EVALUATION OF THE CARCINOGENIC RISK TO HEALTH OF THE POPULATION LIVING IN THE ZONE OF THE EXPOSURE TO PLACES OF THE BURIAL STORAGE OF WASTE OF MINING AND PROCESSING ENTERPRISES

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation;

²Perm Territory Hygiene and Epidemiology Centre, Perm, 614016, Russian Federation;

³E.A. Vagner Perm State National Research University, Perm, 614990, Russian Federation

³Center for Hygiene and Epidemiology of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare for the Republic of Buryatia, Ulan-Ude, 670013, Russian Federation

The article deals with hygienic problems related to effects of the results of the previous economic activities of the ore mining and processing enterprise located in Zakamensk (Republic of Buryatia) on the health of the population. The storage of the plant's waste in close proximity to residential buildings was established to generate an abnormal quality of the habitat (up to 2 MPC for single dose (MPCsd) of the investigated metals in the atmospheric air; up to 4 MPC in drinking water; up to 85 MPCsd in the soil), and unacceptable levels of a carcinogenic risk to the health of the population (total individual carcinogenic risk is up to $2.11 \cdot 10^{-3}$). The main factors of carcinogenic risk are metals (cadmium, nickel, chromium, cobalt, beryllium, arsenic, lead, etc.) presenting the components of the waste of the ore mining and processing enterprise, among which the greatest contribution is made by chromium [contribution to total cancerogenic risk (TCR) up to 80.9%] and arsenic (contribution up to 53.2%). Priority objects of risk factors from the habitat are atmospheric air and food products (contribution to the TCR value up to 71.0 and 43.1%, respectively).

Key words: waste storage sites; metals; hygienic assessment; quality of habitat; spatial-time analysis; carcinogenic risk; population under the influence

For citation: Kleyn S.V., Vekovshinina S.A., Balashov S.Yu., Khoroshavin V.A., Ukhobov V.M. Hygienic evaluation of carcinogenic risk to health of the population living in the zone of the exposure to places of the burial storage of waste of mining and processing enterprises. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(1): 10-15. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-1-10-15>

For correspondence: Svetlana V. Kleyn, MD, PhD, Head of The Department of Sanitary and Hygienic Analysis and Monitoring Systemic Methods of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation; Perm State National Research University, Perm, 614990, Russian Federation. E-mail: kleyn@fcrisk.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: 15 September 2017

Accepted: 25 December 2017

Существенное влияние на формирование параметров качества окружающей среды помимо геохимических особенностей территории вносит антропогенная деятельность человека, в т. ч. и последствия прошлой хозяйственной деятельности, когда хозяйствующий субъект уже не функционирует, но отходы его производства продолжают оказывать негативное воздействие на население [1–6]. Складированные отходы горно-обогатительного производства, содержащие в своём составе большой перечень химических соединений, оказывают непосредственное воздействие на почвенный покров, рудничные воды (которые не проходили очистки), качество атмосферного воздуха (в результате выветривания и эрозийных процессов) и опосредованное влияние на изменение параметров качества подземных и поверхностных вод, являющихся источником хозяйственно-питьевого водоснабжения и полива сельскохозяйственных угодий, местной продукции растительного и животного происхождения [1, 2, 4, 5, 7].

По данным многочисленных отечественных и зарубежных исследований, металлы I – III класса опасности (*Pb, Cr, Ni, Cd, Mo, W, Be, Bi, As* и др.) – компоненты отходов горно-обогатительного производства металлургического цикла, поступающие на поверхность почвы и в подземные и в поверхностные воды, – способны образовывать комплексные соединения с высоким уровнем биодоступности [5, 7–10]. Поступая в организм человека и животных с питьевой водой, продуктами питания, вдыхаемым воздухом в количестве, превышающем безопасные уровни, металлы, в частности, обладающие канцерогенным эффектом, формируют канцерогенный риск здоровью экспонированного населения и могут проявлять свою канцерогенную активность [11–14].

В этой связи изучение и гигиеническая оценка уровней формируемой экспозиции и канцерогенного риска здоровью населения является важной задачей гигиены и эпидемиологии, и носит актуальный характер при проведении санитарно-эпидемиологических экспертиз, расследований и оценок [3, 8–10, 13, 15–20].

Целью настоящего исследования являлась гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения, проживающего в зоне влияния мест складирования отходов горно-обогатительного комбината. Объектами исследования являлись территория и население, проживающее в зоне влияния горно-обогатительного комбината (Джидинского вольфрамowo-молибденового комбината в г. Закаменск Республики Бурятия), отходы производства которого (более 40 млн тонн песка) складировались в непосредственной близости от жилой застройки города. Предметом исследования являлись параметры распространения металлов – компонентов отходов горно-обогатительного комбината на территории его размещения, уровни экспозиции и канцерогенного риска, которые формируют эти отходы.

Материал и методы

Комбинат и стоящий в непосредственной близости к нему населённый пункт (г. Закаменск) расположены в горно-таёжной местности и долине реки Модонкуль (река разделяет город на 2 части). Общая площадь населённого пункта составляет порядка 60 км² с численностью населения (на 01.01.2016 г.) около 12 тыс. человек. Жилая зона города в восточной части непосредственно контактирует с хранилищами отходов переработки горно-обогатительного комбината – главными источниками загрязнения среды обитания металлами. На севере граница территории проходит по устью реки, где формируется дельтовый седиментационный барьер, в значительной мере ограничивающий распространение загрязнений.

Комбинат – горно-обогатительное предприятие цветной металлургии – функционировал 60 лет. Закрытие в конце прошлого века горно-обогатительного комбината, являющегося градообразующим предприятием, способствовало обострению внимания к экологическим и гигиеническим проблемам, привело к оттоку населения и появлению определённой социально-экономической напряжённости на территории. В 2011 и 2013 гг. порядка 10 млн тонн песка (отходов комбината) было вывезено на другую площадку, удалённую от жилой застройки. Вывоз песка сопровождался интенсивным пылением, что явилось основной

причиной многочисленных жалоб населения на неудовлетворительные условия проживания. Наличие до 2013 г. у восточной окраины города техногенных песков из бывших насыпного и намывного хвостохранилищ создавало угрозу здоровью населения. Незакреплённые рыхлые массивы песков с полным отсутствием почвенно-растительного слоя рассеивались экзогенными деструктивными процессами, активными агентами которых являлись ветер, талые и дождевые воды и пр. Таким образом, в настоящее время техногенные пески сконцентрированы в организованном хвостохранилище и разнесены по площади города в результате воздействия экзогенных факторов, особенно флювиальных.

Всего за период деятельности комбината образовалось 44,5 млн т отходов обогащения, которые на протяжении многих лет являются источником загрязнения всего природно-техногенного комплекса на площади более 200 км². В результате негативного воздействия производственных отходов комбината почвы растительность, поверхностные и подземные воды, воздух оказались загрязнёнными токсичными элементами. Опасность техногенных песков обусловлена наличием в них металлов I – III класса опасности (*Pb, Zn, F, Mo, W, Be, Bi, As* и др.)¹.

Жалобы населения продолжают и по настоящее время. Население связывает нарушения здоровья с загрязнением внешней среды как длившимся в течение многих лет, так и с существующим. По данным многолетних исследований основными факторами опасности, характерными для жидких и твёрдых отходов этого горно-обогатительного комбината, являются металлы: вольфрам, молибден, свинец, хром, кадмий, никель, медь, марганец, цинк и др.

Настоящее исследование включало в себя 3 основных последовательных этапа:

- пространственная привязка мест складирования отходов горно-обогатительного комбината, точек мониторинга качества атмосферного воздуха, питьевой воды, почвенного покрова, продуктов питания, точек проживания населения территории наблюдения и территории сравнения;
- комплексная гигиеническая оценка параметров качества среды обитания;
- оценка канцерогенного риска здоровью населения.

Места расположения хвостохранилищ, точки отбора проб атмосферного воздуха, почв, пищи, питьевой воды, зоны нанесли на электронную карту-схему территории наблюдения.

Гигиеническая оценка качества факторов среды обитания территории наблюдения (атмосферный воздух, питьевая вода, почва, продукты питания) осуществлялась по данным ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Бурятия» (аттестат аккредитации № RA.RU.516360 от 25.08.2015 г.) за период с 2010 по 2016 гг., данным натурных исследований ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511445 от 03.04.2013 г., действителен до 03.04.2018 г.) за 2015–2016 гг. по 7 химическим компонентам (хром, кобальт, кадмий, никель, свинец, бериллий, мышьяк), обладающим канцерогенным действием.

Всего за исследуемый период (2015–2016 гг.) было отобрано ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Бурятия» и исследовано ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» 200 проб атмосферного воздуха на содержание свинца, кадмия, никеля, хрома (VI) и кобальта в четырёх точках мониторинга. Кроме того, за 2010–2016 гг. ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Бурятия» исследовано 123 пробы питьевой воды на содержание кадмия, свинца, бериллия, хрома и мышьяка (в 16 точках наблюдения), 241 проба почвы на содержание кадмия, свинца и хрома (VI) (в 11 репрезентативных точках), 166 проб продуктов питания на содержание кадмия, свинца, хрома и мышьяка (в 35 точках наблюдений).

¹ Сводный отчёт по результатам инженерно-экологических изысканий в районе строительства обогатительной установки по переработке техногенных отходов Джидинского ВМК (ГФУП «Бурятгеоцентр», Кременецкий И.Г. и др., 2011 г.

Таблица 1

Суточные массы потребленных пищевых продуктов, используемые для расчёта поступления химических веществ с пищевыми продуктами

Группа населения	Корнеплоды, кг	Мясо, кг	Молоко, кг
Взрослые	0,277	0,186	0,723
Дети	0,150	0,053	0,345

Гигиеническая оценка уровней содержания анализируемых химических веществ, обладающих канцерогенной активностью, в объектах окружающей среды осуществлялась в соответствии с ГН 2.1.6.1338-03², СанПиН 2.1.4.1074-01³, СанПиН 2.1.4.1175-02⁴, ГН 2.2.5.1315-03⁵, СанПиН 2.1.7.1287-03⁶, МУ 2.1.7.730-99⁷, ГН 2.1.7.2041-06⁸, ГН 2.1.7.2511-09, СанПиН 2.3.2.1078-01⁹, ТР ТС 021/2011¹⁰.

Оценку канцерогенного риска выполняли в соответствии с Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920-04) [21]. На этапе идентификации опасности с учётом данных СанПиН 1.2.2353-08 «Канцерогенные факторы и основные требования к профилактике канцерогенной опасности», классификацией Международного агентства по изучению рака (МАИР) и классификацией Агентства по охране окружающей среды США (U.S.EPA) в гигиеническую оценку уровней экспозиции и оценку канцерогенного риска здоровью экспонированного населения, связанного с воздействием атмосферного воздуха, были включены 5 химических веществ – хром, кобальт, кадмий, никель, свинец; перорального воздействия – 5 веществ: кадмий, свинец, хром, бериллий, мышьяк. Оценку канцерогенного риска выполняли по наилучшему из возможных сценариев: принимали, что жители пожизненно находятся в условиях ингаляционного и перорального поступления анализируемых химических веществ на уровне 95%-го персентилля, отмеченного за исследуемые периоды. Для химических канцерогенов с целью

последующей оценки риска устанавливали фактор канцерогенного потенциала при ингаляционном (*Sfi*) и пероральном (*Sfo*) воздействии.

Расчёт суточных доз как для детского, так и для взрослого населения, усреднённых с учётом продолжительности жизни, осуществлялся в соответствии с приложением 3 Руководства Р 2.1.10.1920-04 [21]. Для расчёта суточных доз поступления химических веществ с пищевыми продуктами для взрослого населения использовались данные среднего объёма потребления продуктов питания населением Республики Бурятия по основным группам продуктов питания в соответствии с Государственным докладом о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения Республики Бурятия за 2013 г. [22], для детского населения – в соответствии с МУ г. Москвы «Организация питания в дошкольных образовательных учреждениях», 2007 г. [23] (табл. 1).

Величина индивидуального канцерогенного риска (*ICR*) по каждому химическому компоненту рассчитывалась путём умножения среднесуточной дозы (или среднесуточного поступления) за весь период жизни (*LADD*) на величину *SF* (1):

$$ICR = LADD \cdot SF, \quad (1)$$

где *LADD* – среднесуточная доза, рассчитанная для воздействия в течение 70 лет.

Комбинированное действие канцерогенных факторов при одном пути поступления рассматривалось как аддитивное [21] и рассчитывалось по формуле (2):

$$CR_r = \sum CR_i, \quad (2)$$

где *CR_r* – суммарный канцерогенный риск; *CR_i* – канцерогенные риски, обусловленные компонентами смеси химических веществ.

При одновременном воздействии нескольких канцерогенных веществ, поступающих в организм различными путями, расчёт общего риска (*TCR*) проводится по формуле (3) [21]:

$$TCR = \sum CR_i, \quad (3)$$

где *TCR* – общий канцерогенный риск.

Для оценки канцерогенных рисков для здоровья, обусловленных воздействием химических веществ, загрязняющих окружающую среду, использовали систему критериев приемлемости, рекомендуемых Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [21].

Обработка полученных результатов производилась методами математической статистики (Statistica 9.0).

Результаты

На этапе идентификации опасности гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха на территории наблюдения за 2015–2016 гг. показала, что в зоне жилой застройки не соблюдаются среднесуточные гигиенические нормативы свинца (до 2 ПДКс.с., в 5% проб), другие анализируемые канцерогенные химические вещества в пробах атмосферного воздуха за дан-

Таблица 2

Сведения о показателях опасности развития канцерогенных эффектов в условиях ингаляционного и перорального поступления химических веществ

Химический элемент	CAS		Классификация						SFi/SFo	
			U.S.EPA		МАИР		Россия			
	путь поступления									
	ингаляционное	пероральное	ингаляционное	пероральное	ингаляционное	пероральное	ингаляционное	пероральное	ингаляционное	пероральное
Свинец	7439-92-1	7440-43-9	B2	B1	2A	1	–	–	0,042	0,38
Кадмий	7440-43-9	7439-92-1	B1	B2	1	2A	+	–	6,3	0,047
Никель	7440-02-0	7440-41-7	A	B1	2B	1	+	–	0,84	4,3
Хром (IV)	18540-29-9	18540-29-9	A	A	1	1	+	–	42	0,42
Кобальт	7440-48-4	7440-38-2	B1	A	2A	1	–	+	9,8	1,5

Таблица 3

Среднесуточные дозы химических веществ-канцерогенов, поступающих из атмосферного воздуха мг/кг-день

Группа населения	Вещество				
	свинец и его соединения	хрома (VI) оксид	кадмий	никель	кобальт
Взрослые	$3,02 \cdot 10^{-5}$	$1,95 \cdot 10^{-5}$	$1,43 \cdot 10^{-6}$	$4,66 \cdot 10^{-6}$	$4,63 \cdot 10^{-7}$
Дети	$2,82 \cdot 10^{-5}$	$1,82 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^{-6}$	$4,35 \cdot 10^{-6}$	$4,32 \cdot 10^{-7}$

Таблица 4

Среднесуточные дозы химических веществ-канцерогенов, поступающих с питьевой водой, мг/кг-день (худший вариант, колодцы)

Группа населения	Химический элемент				
	кадмий	свинец	бериллий	хром	мышьяк
Взрослые	$1,47 \cdot 10^{-5}$	$2,04 \cdot 10^{-4}$	$2,74 \cdot 10^{-6}$	$1,37 \cdot 10^{-4}$	$1,37 \cdot 10^{-4}$
Дети	$3,42 \cdot 10^{-5}$	$4,77 \cdot 10^{-4}$	$6,39 \cdot 10^{-6}$	$3,20 \cdot 10^{-4}$	$3,20 \cdot 10^{-4}$

ный период регистрировались в концентрациях: кадмий – до 0,1 ПДКс.с., никель – до 0,27 ПДКс.с., хром – до 0,21 ПДКс.с., кобальт – до 0,01 ПДКс.с. По результатам мониторинга уровни загрязнения воздуха разных зон города отличались незначительно.

Гигиеническая оценка качества питьевой воды исследуемой территории показала, что в период 2010 – 2016 гг. качество воды системы централизованного водоснабжения, которое обеспечивает питьевой водой более 75% населения города, по анализируемым веществам полностью соответствовало санитарным требованиям и нормам. Автономные системы водоснабжения и нецентрализованные скважины также обеспечивали нормативный уровень исследуемых веществ. В воде общественных и частных колодцев отмечены случаи регистрации свинца выше ПДК (до 4,0 ПДК, 8,3% нестандартных проб) и никеля (до 1,1 ПДК, 22,2% нестандартных проб).

Гигиеническая оценка качества почв Закамска показала, что за период с 2010 по 2016 г. по анализируемым веществам не соблюдались гигиенические нормативы содержания в почве свинца (40,4% проб, средний уровень концентраций составил $3,49 \pm 0,94$ ПДК) и никеля (28,4% проб, $1,03 \pm 0,19$ ПДК). Почвы загрязнены интенсивно: кратность превышения ПДК достигает 86 раз по свинцу, 8 раз по никелю. В частности, на территории детских садов ненормативный уровень загрязнения почв свинцом регистрировался в 14,3% случаев (до 3,0 ПДК); на детских площадках: свинцом – в 50,0% случаев (до 15,2 ПДК), никелем – в 11,1% случаев (до 5,79 ПДК). Самая высокая концентрация исследуемых веществ зарегистрирована на территориях садов и огородов: свинцом – до 85,7 ПДК в 43,2% случаев, никелем – до 7,92 ПДК в 35,7% случаев. Остальные исследуемые металлы регистрировались в «значимых» концентрациях, не превышая гигиенических нормативов.

Гигиеническая оценка безопасности пищевых продуктов по исследуемым химическим показателям показала, что на территории наблюдения за период с 2010 по 2016 г. отсутствовали превышения предельно допустимых концентраций содержания металлов в плодоовощной продукции, в молоке и мясе. Максимальные концентрации были зарегистрированы в 2014 г. в моркови и картофеле по кадмию на уровне 1 ПДК.

Таблица 5

Среднесуточные дозы химических веществ-канцерогенов, поступающих с почвой, мг/кг-день

Группа населения	Химический элемент		
	свинец	кадмий	хром
Взрослые/дети	$1,57 \cdot 10^{-6}$	$2,43 \cdot 10^{-8}$	$1,99 \cdot 10^{-8}$

Таблица 6

Среднесуточные дозы химических веществ-канцерогенов, поступающих с пищевыми продуктами, мг/кг-день

Группа населения	Химический элемент			
	свинец	мышьяк	кадмий	хром
Взрослые	$4,75 \cdot 10^{-4}$	$8,66 \cdot 10^{-5}$	$7,69 \cdot 10^{-5}$	$1,84 \cdot 10^{-4}$
Дети	$1,20 \cdot 10^{-3}$	$2,19 \cdot 10^{-4}$	$1,95 \cdot 10^{-4}$	$4,66 \cdot 10^{-4}$

На этапе оценки зависимости «доза – ответ» для дальнейшего расчёта показателей риска для исследуемых веществ были определены показатели опасности развития канцерогенных эффектов в условиях ингаляционного (фактор канцерогенного потенциала Sfi) и перорального (Sfo) поступления химических веществ (табл. 2).

На этапе оценки экспозиции установлено, что наиболее высокие среднесуточные дозы анализируемых химических веществ формируются атмосферным воздухом, продуктами питания и питьевой водой общественных и частных колодцев (табл. 3–6).

На этапе характеристики риска результаты оценки индивидуального канцерогенного риска показали, что в условиях установленного ингаляционного поступления канцерогенных химических веществ за анализируемый период формировались превышения приемлемых значений уровня канцерогенного риска ($CR \leq 10^{-4}$) как для детского, так и для взрослого населения (CR до $8,38 \cdot 10^{-4}$ и до $7,82 \cdot 10^{-4}$ соответственно) (табл. 7). Основной вклад в величину суммарного индивидуального канцерогенного риска при ингаляционном поступлении анализируемых химических веществ связан с содержанием в атмосферном воздухе хрома (VI) (вклад в величину CR до 97,7%).

При поступлении канцерогенов с водой системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения канцерогенные риски находились в пределах допустимых уровней (до $8,27 \cdot 10^{-5}$). Систематическое использование питьевых вод общественных и частных колодцев формировало повышенные уровни канцерогенного риска – CR до $2,90 \cdot 10^{-4}$ и $6,77 \cdot 10^{-4}$ для взрослого и детского населения соответственно (табл. 8). Основной вклад в величину суммарного индивидуального канцерогенного риска при поступлении химических веществ перорально для населения, потребляющего воду из системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, связан с содержанием в питьевой воде мышьяка (вклад в величину CR до 70,86%), из общественных и частных колодцев – мышьяка (до 70,9%), хрома (до 19,8%).

Таблица 7

Уровни индивидуального и суммарного индивидуального канцерогенного рисков, формируемых качеством атмосферного воздуха

Группа населения	Химический элемент, CR					CRai
	свинец	хром (VI)	кадмий	никель	кобальт	
Взрослые	$1,27 \cdot 10^{-6}$	$8,19 \cdot 10^{-4}$	$9,01 \cdot 10^{-6}$	$3,91 \cdot 10^{-6}$	$4,54 \cdot 10^{-6}$	$8,38 \cdot 10^{-4}$
Дети	$1,18 \cdot 10^{-6}$	$7,64 \cdot 10^{-4}$	$8,38 \cdot 10^{-6}$	$3,65 \cdot 10^{-6}$	$4,23 \cdot 10^{-6}$	$7,82 \cdot 10^{-4}$

Примечание. Здесь и в табл. 8–10: жирным шрифтом выделены превышения верхней границы приемлемого риска для населения.

Таблица 8

Уровни индивидуального и суммарного индивидуального канцерогенного рисков, формируемых качеством питьевой воды (худший сценарий, колодцы)

Группа населения	Химический элемент					CRwo
	кадмий	свинец	бериллий	хром (VI)	мышьяк	
Взрослые	$5,59 \cdot 10^{-6}$	$9,59 \cdot 10^{-6}$	$1,18 \cdot 10^{-5}$	$5,75 \cdot 10^{-5}$	$2,06 \cdot 10^{-4}$	$2,90 \cdot 10^{-4}$
Дети	$1,30 \cdot 10^{-5}$	$2,24 \cdot 10^{-5}$	$2,75 \cdot 10^{-5}$	$1,34 \cdot 10^{-4}$	$4,80 \cdot 10^{-4}$	$6,77 \cdot 10^{-4}$

Уровни индивидуального и суммарного индивидуального канцерогенного рисков здоровью детского и взрослого населения, формируемых качеством почв

Группа населения	Химический элемент			CR _{so}
	кадмий	хром (VI)	свинец	
Взрослые/дети	$9,23 \cdot 10^{-9}$	$8,37 \cdot 10^{-9}$	$7,40 \cdot 10^{-8}$	$9,16 \cdot 10^{-8}$

Уровни канцерогенного риска, связанные с поступлением химических веществ с почвой как для детского, так и для взрослого населения составляли до $9,16 \cdot 10^{-8}$ и оценивались как пренебрежимо малые (табл. 9).

Для условий поступления канцерогенов с пищевыми продуктами установлены неприемлемые значения суммарного индивидуального канцерогенного риска как для взрослого, так и для детского населения: $2,59 \cdot 10^{-4}$ и $6,55 \cdot 10^{-4}$ соответственно (табл. 10). Основной вклад в величину суммарного индивидуального канцерогенного риска при поступлении химических веществ с пищевыми продуктами связан с содержанием в них мышьяка (вклад в величину CR до 50,2%), хрома (вклад в величину CR до 29,9%).

Результаты оценки канцерогенного риска в условиях многосредового поступления химических веществ также показали превышение приемлемого значения общего суммарного канцерогенного риска (TCR): для взрослого населения уровень общего суммарного канцерогенного риска составил $1,18 \cdot 10^{-3}$, для детского населения – $1,52 \cdot 10^{-3}$ (для населения, употребляющего воду из общественных и частных колодцев, уровень TCR составил до $2,11 \cdot 10^{-3}$).

Основной вклад в величину общего суммарного индивидуального канцерогенного риска в исследуемый период вносит поступление канцерогенов с атмосферным воздухом (вклад в величину TCR 71,0% для взрослого и 51,4% – для детского населения) и пищевыми продуктами (вклад в величину TCR 22,0% для взрослого и 43,1% – для детского населения). Основными факторами риска является хром (вклад в величину TCR до 80,9% и до 72,0% для взрослого и детского населения соответственно), поступающий в основном с атмосферным воздухом, пищевыми продуктами и питьевой водой, и мышьяк (вклад в величину TCR до 28,4% для взрослого и до 53,2% – для детского населения), основными объектами поступления которого являются питьевая вода и пищевые продукты.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют, что отходы прошлой хозяйственной деятельности горно-обогатительного комбината (г. Закаменск) формируют гигиенические проблемы, связанные с загрязнением объектов окружающей среды, что подтверждает уже имеющиеся данные отечественных и зарубежных исследований о негативном влиянии отходов деятельности горно-обогатительных и горно-металлургических предприятий на объекты окружающей среды и актуализирует необходимость создания и внедрения безотходных и безвредных технологий в данной отрасли промышленности [1–3, 5, 7–9, 11]. Следствием существующего положения является проживание населения города в условиях ненормативного качества атмосферного воздуха, питьевой воды, почв, что в свою очередь формирует неприемлемые уровни канцерогенного риска здоровью. Основными факторами канцерогенного риска на территории являются металлы (кадмий, никель, хром, кобальт, бериллий, мышьяк, свинец) – компоненты отходов горно-обогатительного комбината. Этот факт подтверждают и дополняют данные других авторов [1, 3, 5, 6, 8, 11, 15, 19–21], они же и акцентируют внимание на территориальных проблемах экологического и гигиенического характера.

Сложившаяся ситуация, по мнению авторов статьи, требует разработки и реализации мер первичной и вторичной профилактики, в том числе проведение систематического мониторинга за факторами риска среды обитания и состоянием здоровья экспонированного населения [3, 5, 6, 8, 11–13, 21]. На наш взгляд,

Уровни индивидуального и суммарного индивидуального канцерогенного рисков, формируемых качеством пищевых продуктов

Группа населения	Химический элемент				CR _{fo}
	Мышьяк	Кадмий	Хром (VI)	Свинец	
Взрослые	$1,30 \cdot 10^{-4}$	$2,92 \cdot 10^{-5}$	$7,74 \cdot 10^{-5}$	$2,23 \cdot 10^{-5}$	$2,59 \cdot 10^{-4}$
Дети	$3,29 \cdot 10^{-4}$	$7,40 \cdot 10^{-5}$	$1,96 \cdot 10^{-4}$	$5,63 \cdot 10^{-5}$	$6,55 \cdot 10^{-4}$

первоочередными мероприятиями являются: исключение частных и общественных колодцев из систем питьевого водоснабжения граждан, временное снижение доли потребления продуктов питания местного производства, осуществление рекультивации загрязнённых почв и ограничение выращивания на данной территории сельскохозяйственной продукции до завершения рекультивационных работ, что должно иметь следствием снижение дозовой нагрузки на экспонированное население. Сопоставляя полученные данные и результаты имеющихся эпидемиологических исследований в отношении канцерогенных эффектов [5, 6, 8, 10–15, 19–21, 24], а также учитывая беспороговый механизм действия веществ, обладающих канцерогенной активностью [6, 21], особого внимания требует планирование и организация диагностических и лечебно-профилактических мероприятий в отношении контингентов риска г. Закаменска. Обозначенные мероприятия могут быть реализованы в рамках дополнительных исследований и медико-профилактических технологий, при этом должны учитываться особенности загрязнения окружающей среды исследованными металлами и уровни формируемого канцерогенного риска в отношении возможных неблагоприятных ответов. В рамках системы обязательного медицинского страхования специалистам амбулаторно-поликлинического звена целесообразно проявлять настороженность в отношении онкологической заболеваемости населения города.

Важно отметить, что актуальным является информирование органов власти и населения г. Закаменска о качестве окружающей среды и формируемых рисках здоровью населения.

В целом данное исследование подтвердило, что использование методологии оценки риска в практике организации и проведения санитарно-эпидемиологических исследований является эффективным инструментом обоснования системы мероприятий, направленных на обеспечение безопасности окружающей среды [3, 6, 16–18, 21].

Выводы

1. Многосредовое поступление на территории наблюдения 7 анализируемых химических веществ (металлов, обладающих канцерогенными свойствами), присутствующих в атмосферном воздухе, почве, продуктах питания, питьевых водах, формирует ненормативное качество объектов среды обитания (до 2,0 ПДКс.с. – в атмосферном воздухе, до 4,0 ПДК – в питьевой воде, до 86 ПДК – в почвах).

2. Сложившиеся уровни экспозиции жителей территории наблюдения опасными канцерогенными веществами формируют недопустимые уровни канцерогенного риска (суммарный индивидуальный канцерогенный риск составляет до $2,11 \cdot 10^{-3}$). Основной вклад в величину общего суммарного индивидуального канцерогенного риска вносит поступление анализируемых химических веществ с атмосферным воздухом и пищевыми продуктами (вклад в величину TCR до 71,0 и до 43,1% соответственно). Основными факторами риска являются хром и мышьяк (вклад в величину TCR до 80,9 и до 53,2% соответственно).

3. Источником основных факторов канцерогенного риска являются отходы прошлой хозяйственной деятельности горно-обогатительного комбината.

4. Полученные результаты подтверждают и дополняют уже имеющиеся литературные данные эпидемиологических исследований о негативном влиянии горно-обогатительных и горно-металлургических хозяйствующих комплексов, а также отходов их прошлой хозяйственной деятельности на объекты окружаю-

щей среды, и, как следствие, на уровне формируемого канцерогенного риска.

5. Материалы, представленные в этой статье, могут являться основой последующих комплексных углублённых исследований в отношении возможных неблагоприятных эффектов со стороны здоровья населения города в виде дополнительных случаев онкологической заболеваемости и разработки комплекса санитарно-эпидемиологических и медико-профилактических программ регионального уровня с целью минимизации канцерогенного риска здоровью населения и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия на территории г. Закаменск.

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

Литература (п.п. 1, 4, 9, 14, 19 см. References)

2. Фадеев А.Ф., Хохлаков А.В., Гревцев Н.В., Цейтлин Е.М. Динамика негативного воздействия на окружающую среду на разных стадиях горного производства. *Известия вузов. Горный журнал*. 2012; (1): 39-46.
3. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 году». М.; 2017.
5. Антипанова Н.А. *Онкологическая опасность здоровью населения крупного центра черной металлургии. Монография*. М.: Директ-Медиа; 2013.
6. Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А., Авалиани С.Л., Буштуева К.А. *Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Монография*. М.; 2002.
7. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Влияние органического вещества на миграцию тяжелых металлов на участках складирования твердых бытовых отходов. *Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы*. 2005; (76): 1-100.
8. Степанова Н.В., Валева Э.Р., Фомина С.Ф., Камалова Ф.М., Тунакова Ю.А., Файзуллина Р.А. *Монография. Тяжелые металлы: вопросы воздействия*. Казань; 2015.
10. Бобылева Л.А. Химический мутагенез и проблемы экологической безопасности населения промышленных городов. *Современные наукоемкие технологии*. 2015; (12-4): 590-4.
11. Боев В.М., Куksанов В.Ф., Быстрых В.В. *Химические канцерогены среды обитания и злокачественные новообразования: Монография*. М.; 2002.
12. ВОЗ. Информационный бюллетень №297. Рак. Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/ru/>
13. Кикю П.Ф., Веремчук Л.В., Морева В.Г., Юдин С.В. Эколого-гигиенические аспекты распространения онкологических заболеваний в Приморском крае. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(6): 101-6.
15. Манжуров И.Л., Казанцев В.С., Лежнин В.Л. Применение системного анализа для оценки влияния техногенного загрязнения окружающей среды на формирование онкологической заболеваемости населения промышленного региона. *Экология урбанизированных территорий*. 2014; (2): 21-5.
16. Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В. К вопросу установления и доказательств вреда здоровью населения при выявлении неприемлемого риска, обусловленного факторами среды обитания. *Анализ риска здоровью*. 2013; (2): 14-26.
17. Клейн С.В., Евдосенко В.С. Гигиеническая оценка канцерогенного риска при воздействии аэрогенного и водного перорального факторов среды обитания для задач социально-гигиенического мониторинга (на примере крупного промышленного центра). *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2010; 12(1-8): 1931-4.
18. Андреева Е.Е., Онищенко Г.Г., Клейн С.В. Гигиеническая оценка приоритетных факторов риска среды обитания и состояния здоровья населения г. Москвы. *Анализ риска здоровью*. 2016; (3): 23-34.
20. Форум V. Пятая сессия Межправительственного Форума по химической безопасности. Заключительный отчет. Будапешт; 2006. Available at: <http://www.who.int/ifcs/documents/forums/forum5/report/en/>
21. P 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.; 2004.
22. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Бурятия в 2013 году». Улан-Удэ; 2014.
23. Методические указания города Москвы. Организация питания в дошкольных образовательных учреждениях. М.; 2007.
24. Лежнин В.Л., Сергеева М.В., Коньшина Л.Г., Сергеев А.П. Многосредовая оценка канцерогенного риска для здоровья населения, проживающего в условиях техногенного воздействия медеплавильного комбината. *Вестник Уральской медицинской академической науки*. 2012; (3): 9-15.

References

1. Sankoh F.P., Yan X., Tran Q. Environmental and Health Impact of Solid Waste Disposal in Developing Cities: A Case Study of Granville Brook Dumpsite, Freetown, Sierra Leone. *J. Environ. Prot.* 2013; (4): 665-70.
2. Fadeichev A.F., Khokhryakov A.V., Grevtsev N.V., Tseytlin E.M. Dynamics of negative impact on the environment at different stages of mining. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2012; (1): 39-46. (in Russian)
3. State report «The state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2016». Moscow; 2017. (in Russian)
4. Prasad M.N.V., Sajwan K.S., Naidu R., eds. *Trace Elements in the Environment: Biogeochemistry, Biotechnology, and Bioremediation*. Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group; 2005.
5. Antipanova N.A. *Oncological Danger to the Health of the Population of a Large Center of Ferrous Metallurgy: Monograph [Onkologicheskaya opasnost' zdorov'yu naseleniya krupnogo tsentra chernoy metallurgii: Monografiya]*. Moscow: Direkt-Media; 2013. (in Russian)
6. Onishchenko G.G., Novikov S.M., Rakhmanin Yu.A., Avaliani S.L., Bushtueva K.A. *Basics of Population Health Risk Assessment under Exposure to Chemicals Polluting Environment: Monograph [Osnovy otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystviy khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu: Monografiya]*. Moscow; 2002. (in Russian)
7. Putilina V.S., Galitskaya I.V., Yuganova T.I. Effect of Organic Chemicals on the Heavy Metals Migration in the Areas of Solid Domestic Waste Storage. *Ecology. Seriya analiticheskikh obzоров mirovoy literatury*. 2005; (76): 1-100. (in Russian)
8. Stepanova N.V., Valeeva E.R., Fomina S.F., Kamalova F.M., Tunakova Yu.A., Fayzullina R.A. *Monografiya. Heavy Metals: Impact Issues [Monografiya. Tyazhelye metally: voprosy vozdeystviya]*. Kazan'; 2015. (in Russian)
9. Prüss-Ustün A., Vickers C., Haefliger P., Bertollini R. Knowns and unknowns on burden of disease due to chemicals: a systematic review. *Environ. Health*. 2011; 10(1): 9-24.
10. Bobyleva L.A. Chemical mutagenesis and problems of population of industrial cities ecological safety. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2015; 12(4): 590-4. (in Russian)
11. Boev V.M., Kuksanov V.F., Bystrykh V.V. *Chemical Carcinogens of Habitat and Malignant Neoplasms: Monograph [Khimicheskie kantserogeny sredy obitaniya i zlokachestvennye novoobrazovaniya: monografiya]*. Moscow; 2002. (in Russian)
12. WHO. Fact sheet №297. Cancer. Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/en/>
13. Kiku P.F., Veremchuk L.V., Moreva V.G., Yudin S.V. Prevalence of cancer diseases in the Primorye Territory. Ecological and hygienic aspects. *Gigiena i sanitariya*. 2015; 94(6): 101-6. (in Russian)
14. Stewart B.W., Wild C.P., eds. *World Cancer Report 2014*. Available at: <http://www.iarc.fr/en/publications/books/wcr/wcr-order.php>
15. Manzhurov I.L., Kazantsev V.S., Lezhnin V.L. The use of system analysis for assessing the impact of man-caused pollution of the environment on cancer morbidity formation in the industrial region. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2014; (2): 21-5. (in Russian)
16. Zaytseva N.V., May I.V., Kleyn S.V. To the issue of establishing and proving harm to the health of the population in identifying an unacceptable risk caused by environmental factors. *Analiz riska zdorov'yu*. 2013; (2): 14-26. (in Russian)
17. Kleyn S.V., Evdoshenko V.S. Hygienic estimation of cancerogenic risk at influence of aerogenic and water peroral factors of inhabitancy for problems of social-hygienic monitoring (on example of large industrial centre). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2010; 12(1-8): 1931-4. (in Russian)
18. Andreeva E.E., Onishchenko G.G., Kleyn S.V. Hygienic assessment of priority environmental and health risk factors in Moscow. *Analiz riska zdorov'yu*. 2016; (3): 23-34. (in Russian)
19. IPCS Environmental Health Criteria 165. Inorganic Lead. Geneva: WHO; 1995. Available at: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc165.htm#SubSectionNumber:8.5.2>
20. Forum V. Intergovernmental Forum on Chemical Safety – Fifth Session. Final Report. Budapest; 2006. Available at: <http://www.who.int/ifcs/documents/forums/forum5/report/en/>
21. R 2.1.10.1920-04. Guide to health risk assessment when exposed to chemicals polluting the environment. Moscow; 2004. (in Russian)
22. State report «The state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Republic of Buryatia in 2013». Ulan-Ude; 2014. (in Russian)
23. Methodical instructions of the city of Moscow. Catering in pre-school educational institutions. Moscow; 2007. (in Russian)
24. Lezhnin V.L., Sergeeva M.V., Kon'shina L.G., Sergeev A.P. Multimedia carcinogenic risk assessment for the population exposed to industrial emissions of a large copper smelter. *Vestnik Ural'skoi meditsinskoi akademicheskoi nauki*. 2012; (3): 9-15. (in Russian)

Поступила 15.09.17

Принята к печати 25.12.2017