

Марцев А.А.^{1,2}

Оценка риска, обусловленного загрязнением почв тяжёлыми металлами и мышьяком, для здоровья населения города со стекольным производством

¹ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министрства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)», 119048, Москва, Россия;

²ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», 600000, Владимир, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. В работе представлены результаты исследования канцерогенного и неканцерогенного риска, обусловленного загрязнением почв тяжёлыми металлами и мышьяком, для здоровья населения Гусь-Хрустального Владимирской области.

Материалы и методы. Оценка риска для здоровья населения выполнена в соответствии с Р 2.1.10.3968–23 на основании фактических концентраций в почве города валовых форм As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn.

Результаты. Установлено, что в нескольких точках города суммарный канцерогенный риск соответствует настораживающему уровню, в остальных точках — допустимому. В формировании канцерогенного риска и суммарного индекса опасности приоритетным путём поступления является пероральный. Наибольшие индексы опасности отмечены для возрастной группы до 7 лет. Наибольшему риску, обусловленному загрязнением городских почв тяжёлыми металлами и мышьяком, у жителей Гусь-Хрустального подвержены нервная система, система крови, органы дыхания, кожа и система кровообращения.

Ограничения исследования связаны со значениями факторов экспозиции, референтных доз и факторов наклона канцерогенного риска.

Заключение. Почвы Гусь-Хрустального, неблагоприятные в большинстве исследованных точек по содержанию тяжёлых металлов и мышьяка, формируют риск развития общетоксических эффектов у детского населения. Полиэлементное загрязнение почв города может быть одной из причин высокого риска для здоровья детей. Результаты проведённого исследования подтверждают необходимость организации эколого-гигиенического мониторинга и мероприятий по детоксикации загрязнённых почв.

Ключевые слова: загрязнение почв; тяжёлые металлы; оценка риска; здоровье населения; стекольное производство

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует заключения комитета по биомедицинской этике.

Для цитирования: Марцев А.А. Оценка риска, обусловленного загрязнением почв тяжёлыми металлами и мышьяком, для здоровья населения города со стекольным производством. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(7): 925–929. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-7-925-929> <https://elibrary.ru/jmuobz>

Для корреспонденции: Марцев Антон Андреевич, e-mail: MartsevAA@yandex.ru

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 06.10.2024 / Поступила после доработки: 06.05.2025 / Принята к печати: 26.06.2025 / Опубликовано: 20.08.2025

Anton A. Martsev^{1,2}

Assessment of the risk caused by soil contamination with heavy metals and arsenic for the population at the city with glass production

¹I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119048, Russian Federation;

²Vladimir State University named after Alexander G. and Nikolai G. Stoletov, Vladimir, 600000, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The paper presents the results of the assessment of the carcinogenic risk and the risk of developing non-carcinogenic effects on the health in the population caused by soil pollution with heavy metals and arsenic in the city of Gus-Khrustalny and the Vladimir region.

Materials and methods. The assessment of the risk for population health was carried out in accordance with R 2.1.10.3968–23 based on actual concentrations of gross forms of copper As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn in the city soil.

Results. In several points of the city the total carcinogenic risk has been established to correspond to the alarming level of risk; in other points — to the permissible level. In the formation of the carcinogenic risk and the total hazard index, the oral route is the priority route of entry. The highest hazard indices are noted for the age group up to 7 years. The nervous system, blood system, respiratory system, skin and cardiovascular system are exposed to the greatest risk in the population of Gus-Khrustalny due to the contamination of urban soils with heavy metals and arsenic.

The limitations of the study are related to the values of exposure factors, reference doses, and tilt factors.

Conclusion. The soils of the city of Gus-Khrustalny, characterized in most points by unfavorable values of hygienic indicators in terms of heavy metals and arsenic, contribute to the risk of general toxic effects in the child population. Multiple elements soil pollution in the city may be one of the reasons for the high values of epidemiological risk indicators for the health of children in the city. The results of the study confirm the need to manage environmental and hygienic monitoring and detoxification of contaminated soils here.

Keywords: soil pollution; heavy metals; risk assessment; public health; glass production

Compliance with ethical standards. The study does not require a biomedical ethics committee opinion.

For citation: Martsev A.A. Assessment of the risk caused by soil contamination with heavy metals and arsenic for the population at the city with glass production. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2025; 104(7): 925–929. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-7-925-929> <https://elibrary.ru/jmuobz> (In Russ.)

For correspondence: Anton A. Martsev, e-mail: MartsevAA@yandex.ru

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: October 16, 2024 / Revised: May 6, 2025 / Accepted: June 26, 2025 / Published: August 20, 2025

Введение

При оценке негативного влияния компонентов окружающей среды на здоровье населения широко применяется методология оценки риска для здоровья [1–6]. В 2004 г. в России было выпущено первое Руководство по оценке риска¹, в 2023 г. вышло обновлённое Руководство². Большинство исследований, как зарубежных, так и отечественных, направлено на оценку риска, обусловленного химическим загрязнением атмосферного воздуха [7–10] и питьевой воды [11–13]. При этом почве, имеющей функцию депонирования аэрополлютантов, в данном контексте, как правило, придают меньшее значение, и подобных исследований немного, хотя химическое загрязнение почв представляет значительную угрозу здоровью человека. В результате техногенных воздействий в почву попадают различные токсиканты, в том числе тяжёлые металлы. В условиях городской среды риск для здоровья возрастает из-за непосредственного контакта с почвой (спортивные мероприятия на открытом воздухе, земляные работы, игры на детских площадках и в песочницах) и при вдыхании пылевых частиц с воздухом на запылённых улицах с неудовлетворительным качеством дорожного покрытия.

В предыдущем исследовании, посвящённом эколого-гигиенической оценке почв Гусь-Хрустального [14], установлено, что большая часть населения проживает в зоне с почвами умеренно опасной или опасной категории загрязнения, а также выявлено чрезвычайно опасное по суммарному показателю загрязнение почв тяжёлыми металлами и мышьяком. Это определило необходимость оценки риска, обусловленного загрязнением почв, для здоровья населения.

Цель исследования — оценка риска, связанного с загрязнением почв тяжёлыми металлами и мышьяком, для здоровья населения города с развитым стекольным производством.

Материалы и методы

Оценку риска проводили на основании фактических концентраций в почве города валовых форм As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn. В основу расчётов положены данные, полученные в результате эколого-гигиенической оценки почв Гусь-Хрустального [14].

Оценка риска для здоровья населения проведена в соответствии с Р 2.1.10.3968–23² с учётом зарубежных исследований [15, 16]. Рассчитаны индивидуальный канцерогенный риск (CR), суммарный канцерогенный риск для определённого пути поступления (CR_p), суммарный канцерогенный риск для нескольких канцерогенных веществ, поступающих в организм человека различными путями (TCR), и популяционный канцерогенный риск (PCR). Оценку риска развития неканцерогенных эффектов проводили для трёх возрастных групп (взрослые старше 18 лет, дети 7–17 лет и дети до 7 лет) на основе расчёта коэффициентов опасности (HQ), индекса опасности (HI) и суммарного индекса опасности (THI). Индексы опасности (HI) и суммарные индексы опасности (THI) для критических органов и систем рассчитывали для точки города, имеющей максимальное значение суммарного индекса загрязнения почвы (ZC_{max}), а также на уровне 50-го и 90-го перцентилей (P₅₀ и P₉₀).

Оценку риска для здоровья в результате загрязнения почвы тяжёлыми металлами и мышьяком в Гусь-Хрустальном проводили с использованием значений факторов экспозиции, указанных в Руководстве² и в зарубежных источниках [15, 16]. Частоту воздействия считали равной 220 дням в году.

Для расчёта параметров риска использовали значения референтных доз и факторов наклона канцерогенного риска, приведённые в Руководстве² и [15, 17]. Данные пред-

Таблица 1 / Table 1

Значения референтных доз и фактора наклона канцерогенного риска для тяжёлых металлов и мышьяка

Values of reference doses and slope factor of carcinogenic risk for heavy metals and arsenic

Химический элемент A chemical element	SFo	SFi	RfD	RfC
Cr (III)	—	42*	1.5 [15]	0.0001*
Co	1.5 [17]	9.8*	0.0003*	0.000006*
Ni	0.91 [15]	0.84*	0.02*	0.000014*
Cu	—	—	0.04*	0.00002*
Zn	—	—	0.3*	0.0009*
As	1.5*	12*	0.0003 [15]	0.000015*
Pb	0.0085*	0.042*	0.0035 [15]	0.00015*

Примечание. * — классификация риска для здоровья проведена в соответствии с Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

Note: * — classification of the health risk is based on R 2.1.10.3968–23 "Guidelines for Assessing Public Health Risks from Exposure to Environmental Pollutants".

ставлены в табл. 1. Для перорального и перкутанного путей поступления использовали одинаковые значения SFo и RfD.

Результаты

Результаты расчётов канцерогенного риска представлены в табл. 2. Установлено, что в двух точках города (№ 6, № 10) суммарный канцерогенный риск соответствует настораживающему уровню ($1,1 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-3}$), в остальных точках — допустимому ($1,1 \cdot 10^{-6} - 1,0 \cdot 10^{-4}$). В данном исследовании при расчёте канцерогенного риска значение коэффициента тяжести злокачественных новообразований принимали равным 1. Пероральный путь поступления вносит основной вклад в структуру суммарного канцерогенного риска. В точках № 6 и № 10 наибольший вклад в общий суммарный канцерогенный риск вносят никель (69,9 и 63,4% соответственно) и мышьяк (16,8 и 19,8% соответственно). Значение популяционного канцерогенного риска (TPCR) в городе варьируется от 1,04 до 13,21.

Основную роль в формировании суммарного индекса опасности играет пероральный путь поступления. Наибольшие значения THI отмечены для детей до 7 лет. В табл. 3 приведены результаты расчётов коэффициентов опасности и индекса опасности для детей при пероральном пути воздействия. В точке № 6 коэффициент опасности свинца для данной возрастной группы при пероральном поступлении равен 1,18, что соответствует настораживающему уровню риска. Для остальных возрастных групп и путей поступления значения коэффициентов опасности не превышают единицы и соответствуют минимальному уровню риска.

В табл. 4 представлены результаты расчётов суммарных индексов опасности (THI) по трём возрастным группам для основных поражаемых органов и систем.

Исследование показало, что наибольшему неканцерогенному риску подвержены нервная система, кровь, органы дыхания, кожа и система кровообращения. Со стороны нервной системы в точке ZC_{max} и по P₉₀ риск для детского населения до семи лет превышает уровень THI = 1. Наибольший вклад в неблагоприятное воздействие на нервную систему оказывают свинец (58,4%) и мышьяк (34,5%). На уровне медианных концентраций индексы опасностей для органов и систем по всем возрастным группам соответствуют минимальному риску.

¹ Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

² Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

Таблица 2 / Table 2

Значения канцерогенного риска, обусловленного загрязнением почв Гусь-Хрустального тяжёлыми металлами и мышьяком
The values of carcinogenic risks caused by chemical contamination of the soils at the city of Gus-Khrustalny

№ участка отбора проб Sampling site No.	CR _{ing}	CR _{inh}	CR _{derm}	TCR	TPCR
1	2.54E-05	1.59E-07	1.23E-06	2.67E-05	1.38
2	1.92E-05	8.15E-09	9.45E-07	2.01E-05	1.04
3	5.13E-05	2.90E-07	2.50E-06	5.41E-05	2.79
4	4.96E-05	3.43E-07	2.38E-06	5.24E-05	2.70
5	4.54E-05	1.83E-07	2.38E-06	4.80E-05	2.48
6	2.36E-04	8.30E-06	1.21E-05	2.56E-04	13.21
7	5.79E-05	3.52E-07	3.05E-06	6.13E-05	3.16
8	3.34E-05	7.24E-08	1.68E-06	3.51E-05	1.81
9	7.22E-05	2.12E-07	3.52E-06	7.59E-05	3.91
10	1.61E-04	4.72E-07	7.90E-06	1.70E-04	8.75
11	7.51E-05	3.60E-07	3.75E-06	7.92E-05	4.08

Таблица 3 / Table 3

Значения коэффициентов опасности (*HQ*) и индекса опасности (*HI*) для детей до 7 лет при пероральном поступлении тяжёлых металлов и мышьяка из почвы, Гусь-Хрустальный

Hazard Quotient (*HQ*) and Hazard Index (*HI*) values for oral exposure to heavy metals and arsenic from soil for children under 7 years in Gus-Khrustalny

№ участка отбора проб Sampling site No.	<i>HQ</i>							<i>HI</i>
	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Pb	
1	2.48E-04	1.54E-01	3.27E-03	2.07E-03	8.86E-04	1.60E-01	4.33E-02	0.36
2	0.00E+00	1.11E-01	2.24E-03	1.36E-03	5.42E-04	1.35E-01	4.59E-02	0.30
3	4.54E-04	2.05E-01	9.46E-03	3.30E-03	2.38E-03	3.14E-01	8.98E-02	0.62
4	5.39E-04	1.65E-01	7.13E-03	5.64E-03	1.37E-03	4.23E-01	4.04E-02	0.64
5	2.77E-04	1.64E-01	7.37E-03	1.20E-03	3.27E-03	3.23E-01	2.89E-01	0.79
6	1.38E-02	4.88E-01	7.20E-02	1.15E-01	1.99E-01	6.96E-01	1.18E+00	2.76
7	5.51E-04	1.76E-01	9.68E-03	5.15E-03	7.81E-03	4.32E-01	3.88E-01	1.02
8	1.02E-04	1.59E-01	6.42E-03	2.55E-03	1.61E-03	1.64E-01	1.24E-01	0.46
9	3.08E-04	1.65E-01	1.24E-02	6.76E-03	3.48E-03	6.04E-01	1.34E-01	0.93
10	7.21E-04	4.69E-01	4.46E-02	1.67E-02	1.02E-02	5.62E-01	3.34E-01	1.44
11	5.54E-04	3.05E-01	1.27E-02	9.45E-03	8.11E-03	4.98E-01	2.37E-01	1.07

Таблица 4 / Table 4

Значения суммарных индексов опасности (*THI*), обусловленных загрязнением почв Гусь-Хрустального тяжёлыми металлами и мышьяком, для критических органов и систем

Values of total hazard indices (*THI*) for critical organs and systems caused by chemical contamination of the soils of the city of Gus-Khrustalny

Критические органы и системы Critical organs and systems	Дети до 7 лет Children under 7 years			Дети старше 7 лет Children over 7 years			Взрослые Adults		
	<i>P</i> ₅₀	<i>P</i> ₉₀	<i>Z</i> _{max}	<i>P</i> ₅₀	<i>P</i> ₉₀	<i>Z</i> _{max}	<i>P</i> ₅₀	<i>P</i> ₉₀	<i>Z</i> _{max}
Система кровообращения / The cardiovascular system	0.387	0.648	0.802	0.072	0.120	0.151	0.021	0.036	0.047
Кровь / Blood	0.137	0.397	1.437	0.025	0.074	0.270	0.008	0.023	0.084
Нервная система / The nervous system	0.520	1.033	2.021	0.096	0.191	0.376	0.029	0.057	0.115
Мочевыделительная система / Urinary system	0.001	0.002	0.031	0.0003	0.001	0.012	0.0003	0.001	0.008
Пищеварительная система / The digestive system	0.014	0.054	0.223	0.003	0.010	0.047	0.001	0.004	0.018
Кожа / Skin	0.387	0.648	0.802	0.072	0.120	0.151	0.021	0.036	0.047
Эндокринная система / The endocrine system	0.178	0.471	0.588	0.033	0.087	0.112	0.010	0.026	0.036
Дыхательная система / Respiratory system	0.388	0.651	0.817	0.072	0.122	0.159	0.022	0.037	0.054

Обсуждение

Гусь-Хрустальный — средний по численности населения город, промышленный кластер которого в течение многих лет специализируется на производстве стекла и хрусталя. Приоритетными загрязнителями почв, как установлено ранее [14], являются Zn, Pb и As. Население может подвергаться воздействию металлов, находящихся в почве, при вдыхании попавших в воздух частиц почвы, при контактной экспозиции и случайном проглатывании. Наше исследование показало, что приоритетным путём воздействия химических веществ почвы является пероральный, что хорошо согласуется с данными отечественных [3, 18] и зарубежных [19–21] авторов. Однако результаты исследований порой противоречивы [22, 23].

Нами установлено, что наибольший канцерогенный риск для здоровья, обусловленный воздействием химических веществ почвы, формируют Ni и As. Аналогичные результаты получены в исследовании, проведённом в Архангельской области [3].

Учёные сходятся во мнении, что дети подвержены более значительному неканцерогенному риску [3, 24, 25], и это хорошо согласуется с результатами настоящего исследования. Считается, что различия в уровнях неканцерогенного риска у разных возрастных групп населения обусловлены в первую очередь анатомо-физиологическими различиями, а также разным периодом экспозиции [3]. Предыдущее исследование [26] показало, что по классам болезней нервной, мочеполовой систем, кровообращения и болезней крови для детского населения в Гусь-Хрустальном районе существует очень высокий эпидемиологический риск. Результаты настоящей работы в определённой степени могут служить этому объяснением. Свинец, вносящий наибольший вклад в *HI* наряду с мышьяком, относится к классу высокоопасных веществ. Он может вызывать тяжёлые поражения нервной системы и крови, болезни системы кровообращения и обмена веществ^{1,2}.

Проведённое исследование показало некоторое несоответствие результатов, полученных с применением разных методологических подходов. Так, на основании гигиенических нормативов (ПДК) и фоновых значений тяжёлых металлов в почве в предыдущем исследовании [14] выявлено более опасное для здоровья населения состояние городских почв, нежели в настоящей работе. На подобные расхождения ранее указывали другие авторы [23, 27]. Это обстоятельство диктует необходимость синхронизации и совершенствования нормативной базы гигиенического нормирования и методологии оценки риска для здоровья населения [23].

Ограничения исследования связаны со значениями факторов экспозиции, референтных доз и факторов наклона канцерогенного риска.

Заключение

Установлено, что почвы, депонирующие тяжёлые металлы, представляют определённый риск для здоровья населения. В двух точках города выявлено загрязнение, обуславливающее канцерогенный риск (2,56Е–04 и 1,70Е–04) настораживающего уровня, и наибольший вклад в канцерогенный риск вносят никель и мышьяк. Популяционный канцерогенный риск для города достигает значения 13,21. В одной из точек выявлен риск развития неканцерогенных эффектов (1,18), обусловленный высокими концентрациями свинца и соответствующий настораживающему уровню. Канцерогенный и неканцерогенный риски обусловлены преимущественно пероральным поступлением ТМ. Наибольшему неканцерогенному риску, обусловленному загрязнением почв тяжёлыми металлами и мышьяком, подвержены нервная система, кровеносная система, органы дыхания, кожа и система кровообращения детского организма. Полиэлементное загрязнение почв города может быть одной из причин высокого риска для здоровья детей. Результаты проведённого исследования подтверждают необходимость организации эколого-гигиенического мониторинга и мероприятий по детоксикации загрязнённых почв.

Литература

(п.п. 1, 2, 4–6, 8–13, 15, 16, 19–21, 24, 25 см. References)

- Дерябин А.Н., Унгуряну Т.Н., Бузинов Р.В. Риск здоровью населения, связанный с экспозицией химических веществ почвы. *Анализ риска здоровью*. 2019; (3): 18–25. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.02> <https://elibrary.ru/mohxqv>
- Малышева А.Г., Калинина Н.В., Юдин С.М. Химическое загрязнение воздушной среды жилых помещений как фактор риска здоровью населения. *Анализ риска здоровью*. 2022; (3): 72–82. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.06> <https://elibrary.ru/pilzfs>
- Трифонов Т.А., Марцев А.А., Селиванов О.Г., Курбатов Ю.Н. Эколого-гигиеническая оценка почв промышленного города со стекольным производством по содержанию тяжёлых металлов и мышьяка. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(6): 549–555. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-6-549-555> <https://elibrary.ru/lkmlsk>
- 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): 10–5. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-1-10-15> <https://elibrary.ru/wcvixu>
- Боев В.М., Зеленина Л.В., Кудусова Л.Х., Кряжева Е.А., Зеленин Д.О. Гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения, ассоциированного с загрязнением депонирующих сред тяжёлыми металлами. *Анализ риска здоровью*. 2022; (1): 17–26. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.1.02> <https://elibrary.ru/pssyqm>
- Каманина И.З., Каплина С.П., Макаров О.А. Канцерогенный риск, связанный с загрязнением почв, для здоровья населения городов. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(3): 299–304. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-3-299-304> <https://elibrary.ru/huybjw>
- Ракитский В.Н., Стёпкин Ю.И., Клепиков О.В., Куропат С.А. Оценка канцерогенного риска здоровью городского населения, обусловленного воздействием факторов среды обитания. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(3): 188–95. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195>
- Марцев А.А. Сопряженный анализ риска здоровью детского населения и качества атмосферного воздуха во Владимирской области. *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2024; (1): 91–104. <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2024-1-91-104>
- Сучков В.В., Семаева Е.А. Взаимосвязь величин предельно допустимых концентраций и уровня риска здоровью для аэропolutантов. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(5): 442–5. <https://elibrary.ru/ysqdfd>

References

- Payuta A.A., Flerova E.A., Zaitseva Yu.V. Distribution of essential and toxic elements in *Pelecus cultratus* tissues and risk assessment for consumer health. *Toxics*. 2023; 11(8): 715. <https://doi.org/10.3390/toxics11080715>
- Dai C., Li S., Duan Y., Tu Y., Leong K.H., Zhou L. Human health risk assessment of selected pharmaceuticals in the five major river basins, China. *Sci. Total. Environ.* 2021; 801: 149730. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149730>
- Deryabin A.N., Unguryanu T.N., Buzinov R.V. Population health risk caused by exposure to chemicals in soils. *Health Risk Analysis*. 2019; (3): 18–25. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.02> <https://elibrary.ru/rywakz>
- Chashchin V., Kovshov A.A., Thomassen Y., Sorokina T., Gorbanev S.A., Morgunov B., et al. Health risk modifiers of exposure to persistent pollutants among indigenous peoples of Chukotka. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019; 17(1): 128. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010128>
- Rashid S., Shah I.A., Supe Tulcan R.X., Rashid W., Sillanpaa M. Contamination, exposure, and health risk assessment of Hg in Pakistan: A review. *Environ. Pollut.* 2022; 301: 118995. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118995>
- Rajmohan N., Masoud M.H.Z., Niyazi B.A.M. Appraisal of groundwater quality and health risk in the Yalamlam basin, Saudi Arabia. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2022; 29(55): 83653–70. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21708-7>
- Malysheva A.G., Kalinina N.V., Yudin S.M. Chemical air pollution in residential premises as a health risk factor. *Health Risk Analysis*. 2022; (3): 72–82. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.06> <https://elibrary.ru/kefuwa>

Original article

8. Hang Yu., Meng X., Li T., Wang T., Cao Ju., Fu Q., et al. Assessment of long-term particulate nitrate air pollution and its health risk in China. *iScience*. 2022; 25(9): 104899. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104899>
9. Deng X., Zou B., Li Sh., Wu J., Yao Ch., Shen M., et al. Disease specific air quality health index (aqhi) for spatiotemporal health risk assessment of multi-air pollutants. *Environ. Res.* 2023; 231(Pt. 1): 115943. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115943>
10. Calderón-Garcidueñas L., Ayala A. Fine particle air pollution and lung cancer risk: extending the long list of health risks. *Cell*. 2023; 186(11): 2285–7. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2023.04.033>
11. Bretcan P., Tanislav D., Radulescu C., Serban G., Danieleescu S., Reid M., et al. Evaluation of shallow groundwater quality at regional scales using adaptive water quality indices. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022; 19(17): 10637. <https://doi.org/10.3390/ijerph191710637>
12. Mikhaylichenko K.Yu., Kurbatova A.I., Salazar Flores C.A., Pogorelyy D.P., Konovalova E.E., et al. Public health risk from contamination of drinking water with carcinogenic chemicals in centralized water supply systems. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 202; 15(4): 291–306. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-4-291-306> <https://elibrary.ru/tytmhu>
13. Mahdavi M., Mahvi A.M.W., Mohebbi M., Teimuri M.H., Mamaghani Nejad M., Hoseinzadeh E., et al. Health risk assessment for reused backwash water from Saveh water treatment plant. *J. Adv. Environ. Health Res.* 2024; 12(1): 46–51. <https://doi.org/10.34172/JAEHR.1329>
14. Trifonova T.A., Martsev A.A., Selivanov O.G., Kurbatov Yu.N. Ecological and hygienic assessment of soils on the content of heavy metals and arsenic in an industrial city with glass production. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(6): 549–55. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-6-549-555> <https://elibrary.ru/lkmlsk> (in Russian)
15. Masri S., LeBrón A.M.W., Logue M.D., Valencia E., Ruiz A., Reyes A., et al. Risk assessment of soil heavy metal contamination at the census tract level in the city of Santa Ana, CA: implications for health and environmental justice. *Environ. Sci. Process Impacts*. 2021; 23(6): 812–30. <https://doi.org/10.1039/d1em00007a>
16. Chioma V.A., Islamiyat A.O., Sosanya P. Ecological and human health risk assessment of heavy metals contamination of soil in E-Waste Dumpsite in Atan, Ogun State, Nigeria. *Int. J. Environ. Chem. Ecotoxicol. Res.* 2022; 4(1): 1–14.
17. Kleyn S.V., Vekovshinina S.A., Balashov S.Yu., Khoroshavin V.A., Ukhov 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 Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(1): 10–5. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-1-10-15> <https://elibrary.ru/wcvixu> (in Russian)
18. Boev V.M., Zelenina L.V., Kudusova L.H., Kryazheva E.A., Zelenin D.O. Hygienic assessment of carcinogenic health risks associated with contamination of depositing media with heavy metals. *Health Risk Analysis*. 2022; (1): 17–26. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.1.02> <https://elibrary.ru/amonix>
19. Alsafran M., Usman K., Al Jabri H., Rizwan M. Ecological and health risks assessment of potentially toxic metals and metalloids contaminants: A case study of agricultural soils in Qatar. *Toxics*. 2021; 9(2): 35. <https://doi.org/10.3390/toxics9020035>
20. Ahmad W., Alharthy R.D., Zubair M., Ahmed M., Hameed A., Rafique S. Toxic and heavy metals contamination assessment in soil and water to evaluate human health risk. *Sci. Rep.* 2021; 11(1): 17006. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94616-4>
21. Zhaoyong Z., Mamat A., Simayi Z. Pollution assessment and health risks evaluation of (metalloid) heavy metals in urban street dust of 58 cities in China. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2019; 26(1): 126–40. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3555-0>
22. Kamanina I.Z., Kaplina S.P., Makarov O.A. Carcinogenic risk associated with soil pollution for urban population health. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(3): 299–304. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-3-299-304> <https://elibrary.ru/huybjw> (in Russian)
23. Rakitskii V.N., Stepkin Yu.I., Klepikov O.V., Kurolap S.A. Assessment of carcinogenic risk caused by the impact of the environmental factors on urban population health. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2021; 100(3): 188–95. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195> (in Russian)
24. Chonokhuu S., Batbold C., Chuluunpurev B., Battengel E., Dorjsuren B., Byambaa B. Contamination and health risk assessment of heavy metals in the soil of major cities in Mongolia. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019; 16(14): 2552. <https://doi.org/10.3390/ijerph16142552>
25. Gr'zeti'c I., Ahmed Ghariani R.H. Potential health risk assessment for soil heavy metal contamination in the central zone of Belgrade (Serbia). *J. Serb. Chem. Soc.* 2008; 73: 923–34. <https://doi.org/10.2298/JSC0809923G>
26. Martsev A.A. Conjugate analysis of health risks in children and air quality in Vladimir region. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*. 2024; (1): 91–104. <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2024-1-91-104> (in Russian)
27. Suchkov V.V., Semaeva E.A. Relationship between maximum permissible concentrations and level of health risk for air pollutants. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(5): 442–5. <https://elibrary.ru/ysqdfd> (in Russian)

Сведения об авторе

Марцев Антон Андреевич, доцент, канд. биол. наук, доцент каф. биологии и общей генетики ПМГМУ им. И.М. Сеченова, 119048, Москва, Россия. E-mail: MartsevAA@yandex.ru

Information about the authors

Anton A. Martsev, PhD (Biology), associate professor, Department of Biology and General Genetics, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, 119048, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3572-9163> E-mail: MartsevAA@yandex.ru