

Научная статья/Research Article

УДК 635.07

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-3-34-40

Гузель Римовна Аллаярова^{1✉}, Татьяна Кенсариновна Ларионова²,
Евгения Евгеньевна Зеленковская³, Эльвира Ахатовна Аухадиева⁴,
Гюзелия Фаритовна Адиева⁵, Светлана Разифовна Афонькина⁶, Рустем Аскарлович Даукаев⁷
1,2,3,4,5,6,7Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека, Уфа, Республика Башкортостан, Россия
1,2,3,4,5,6guzel-all@mail.ru
7ufa.lab@yandex.ru

ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ, СВЯЗАННОГО С КОНТАМИНАЦИЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Цель исследования – оценка эффективности проведенных природоохранных мероприятий путем расчета риска здоровью населения, связанного с алиментарным поступлением контаминантов сельскохозяйственной продукции, которая произведена в зоне влияния предприятия. Методом атомно-абсорбционной спектрометрии установлено содержание 8 металлов (Cu, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Cr, Ni) в зерне, молоке, мясе и овощах (картофель, морковь и свекла) ($n = 300$), произведенных в Учалинском районе Республики Башкортостан. Оценка канцерогенного, неканцерогенного и популяционного риска здоровью населения до и после проведения природоохранных мероприятий осуществлена на примере Учалинского района Республики Башкортостан с развитой горнорудной промышленностью. Проведенные в 2004–2018 гг. ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат» (ОАО «УГОК») природоохранные мероприятия позволили снизить степень воздействия предприятия на среду обитания. В основных пищевых продуктах было обнаружено существенное снижение содержания As, Pb, Cd, Hg, Ni и Cr, а также увеличение уровня Zn и Cu. В 2000 г. наибольший индекс опасности развития неканцерогенных эффектов (НИ) выявлен для нервной системы, развития человека, сердечно-сосудистой системы, органов дыхания и кожи. После проведения природоохранных мероприятий к 2020 г. риск снизился до допустимого (приемлемого). Уровень суммарного канцерогенного риска до природоохранных мероприятий классифицировался как настораживающий, но к 2020 г. также снизился до допустимого. Величина популяционного канцерогенного риска снизилась с 17,2 до 1,8 дополнительных случаев злокачественных новообразований на 70 000 жителей.

Ключевые слова: сельскохозяйственная продукция, оценка риска здоровью, канцерогенный риск, неканцерогенные эффекты, тяжелые металлы, природоохранные мероприятия

Для цитирования: Аллаярова Г.Р., Ларионова Т.К., Зеленковская Е.Е., и др. Оценка риска здоровью населения, связанного с контаминацией сельскохозяйственной продукции тяжелыми металлами // Вестник КрасГАУ. 2025. № 3. С. 34–40. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-3-34-40.

Guzel Rimovna Allayarova^{1✉}, Tatyana Kensarinovna Larionova²,
Evgeniya Evgenievna Zelenkovskaya³, Elvira Akhatovna Aukhadieva⁴, Guzeliya Faritovna Adieva⁵,
Svetlana Razifovna Afonkina⁶, Rustem Askarovich Daukaev⁷
1,2,3,4,5,6,7Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia
1,2,3,4,5,6guzel-all@mail.ru
7ufa.lab@yandex.ru

ASSESSMENT OF PUBLIC HEALTH RISKS ASSOCIATED WITH HEAVY METAL CONTAMINATION OF AGRICULTURAL PRODUCTS

The objective of the study is to assess the effectiveness of environmental protection measures by calculating the public health risk associated with the alimentary intake of contaminants from agricultural products produced in the enterprise's influence zone. The content of 8 metals (Cu, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Cr, Ni) in grain, milk, meat and vegetables (potatoes, carrots and beets) ($n = 300$) produced in the Uchaly District of the Republic of Bashkortostan was determined using atomic absorption spectrometry. The assessment of carcinogenic, non-carcinogenic and population health risks before and after environmental protection measures was carried out using the example of the Uchaly District of the Republic of Bashkortostan with a developed mining industry. Conducted in 2004–2018 OJSC Uchalinsky Mining and Processing Plant (OJSC UGOK) environmental protection measures have reduced the degree of impact of the enterprise on the environment. In the main food products, a significant decrease in the content of As, Pb, Cd, Hg, Ni and Cr, as well as an increase in the level of Zn and Cu, was found. In 2000, the highest hazard index for the development of non-carcinogenic effects (HI) was found for the nervous system, human development, cardiovascular system, respiratory organs and skin. After environmental protection measures were implemented, the risk decreased to acceptable by 2020. The level of total carcinogenic risk before environmental protection measures was classified as alarming, but by 2020 it also decreased to acceptable. The value of the population carcinogenic risk decreased from 17.2 to 1.8 additional cases of malignant neoplasms per 70,000 inhabitants.

Keywords: agricultural products, health risk assessment, carcinogenic risk, non-carcinogenic effects, heavy metals, environmental protection measures

For citation: Allayarova GR, Larionova TK, Zelenkovskaya EE, et al. Assessment of public health risks associated with heavy metal contamination of agricultural products. *Bulletin of KSAU*. 2025;(3):34-40. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-3-34-40.

Введение. Накопление продуктов техногенеза в природном ландшафте Учалинского района связано с деятельностью предприятий горно-рудной промышленности. В результате продолжительной эксплуатации месторождений образовалось множество объектов, связанных с накопленным экологическим риском. Отходы горнорудной отрасли могут представлять собой потенциальную угрозу контаминации окружающей среды и сельскохозяйственной продукции, произведенной в данном регионе. Тяжелые металлы являются наиболее часто встречающимися химическими элементами, содержание которых превышает допустимые гигиенические нормы [1, 2].

Для снижения антропогенного воздействия горнорудных предприятий на экологическую ситуацию проводят природоохранные мероприятия. Комплекс мероприятий способствует сохранению окружающей среды от загрязнений и разрушений и снижению вредного воздействия на здоровье населения. Эффективность данных мероприятий можно оценить с помощью расчета риска здоровью населения. Охрана окружающей среды играет важную роль на всех

уровнях национальной экономики и нацелена на снижение отрицательного воздействия человека на природную экосистему [3].

Загрязнение атмосферного воздуха, воды, почвенного покрова с оценкой воздействия на здоровье населения изучалось широким кругом ученых: Ю.А. Рахманиным [4], М.А. Пинигиным [5] и др. Исследованию загрязнения металлами отдельных объектов окружающей среды посвящены работы Т.В. Юдиной [6], В.В. Быстрых [7]. Однако загрязнение пищевых продуктов, произведенных в регионах добычи и переработки руд, в том числе специфическими компонентами (тяжелые металлы), оценка риска воздействия на здоровье населения при алиментарном поступлении контаминантов и оценка эффективности природоохранных мероприятий остаются недостаточно изученными.

Цель исследования – оценить эффективность проведенных природоохранных мероприятий путем расчета риска здоровью населения, связанного с алиментарным поступлением контаминантов сельскохозяйственной продукции, которая произведена в зоне влияния предприятия.

Объекты и методы. С использованием метода атомно-абсорбционной спектрометрии установлено содержание 8 металлов (Cu, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Cr, Ni) в зерне, молоке, мясе и овощах (картофель, морковь и свекла) (n = 300), произведенных в Учалинском районе Республики Башкортостан.

Пробы проанализированы в Испытательном центре, прошедшем аккредитацию на техническую компетентность и независимость в национальной системе аккредитации.

Уровень тяжелых металлов в сельскохозяйственной продукции оценивали на соответствие ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Расчет риска здоровью населения выполнен по руководству Р 2.1.10.3968-23 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания».

Статистический анализ выполнялся с использованием программного обеспечения SPSS 21.0 (SPSS Inc. Chicago, IL, USA). Критерий Колмогорова – Смирнова использовали для проверки нормальности распределения. Полу-

ченные результаты обрабатывали с помощью однофакторного дисперсионного анализа. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Была проведена оценка экологической обстановки в районе до и после реализации природоохранных мероприятий на ОАО «УГОК». Во время реконструкции предприятия известковые печи, котлы и топки были переведены на газовое обслуживание, установлены фильтр-прессы, построен пруд стабилизатор-отстойник, построены резервуары-усреднители, канализационные насосные станции, радиальные отстойники, новая станция нейтрализации, станция осадка. Выполненные работы позволили перевести предприятие на систему оборотного водоснабжения.

Эффективность выполненных работ оценивали по степени контаминации сельскохозяйственной продукции. Было проведено сравнение содержания тяжелых металлов в основных пищевых продуктах, произведенных в зоне влияния предприятия в 2000 и 2020 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Содержание химических элементов в сельскохозяйственной продукции, произведенной в Учалинском районе в 2000 и 2020 гг., мг/кг
The content of chemical elements in agricultural products produced in Uchalinsky district in 2000 and 2020, mg/kg

Год	As	Hg	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	В молоке							
	ПДУ							
	0,05	0,005	–	–	0,03	0,1	–	–
2000	0,056± 0,001	0,007± 0,002	0,16± 0,03	0,80± 0,07	0,010± 0,001	0,149± 0,004	2,96± 0,10	0,14± 0,01
2020	< 0,020	< 0,0025	0,05± 0,01	2,79± 0,16	< 0,01	< 0,020	0,18± 0,01	0,06± 0,01
p	0,001	0,001	0,002	0,001	0,007	0,001	0,002	0,04
	В мясе							
	ПДУ							
	0,1	0,03	–	–	0,05	0,5	–	–
2000	0,086± 0,004	0,003± 0,001	1,86± 0,34	2,46± 0,13	0,014± 0,003	0,299± 0,041	2,93± 0,12	0,12± 0,01
2020	< 0,020	0,005± 0,001	0,89± 0,01	24,88± 0,14	0,017± 0,002	0,029± 0,006	1,17± 0,08	0,19± 0,03
p	0,001	0,001	0,002	0,001	0,04	0,001	0,002	0,001

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	В овощах							
	ПДУ							
	0,2	0,02	–	–	0,03	0,5	–	–
2000	0,128± 0,007	0,005± 0,001	0,60± 0,02	0,24± 0,03	0,011± 0,001	0,027± 0,005	1,79± 0,14	0,14± 0,03
2020	< 0,020	0,003± 0,001	0,59± 0,06	2,26± 0,14	< 0,01	0,018± 0,008	0,42± 0,04	0,14± 0,02
p	0,001	0,03	> 0,05	0,001	0,002	0,02	0,001	> 0,05
	В зерне							
	ПДУ							
	0,2	0,03	–	–	0,1	0,5	–	–
2000	0,139± 0,016	0,004± 0,001	1,16± 0,13	0,76± 0,10	0,010± 0,002	0,074± 0,008	4,15± 0,25	0,30± 0,02
2020	< 0,020	0,003± 0,001	2,73± 0,08	21,36± 0,26	0,039± 0,004	0,026± 0,003	0,09± 0,01	0,27± 0,03
p	0,001	0,05	0,003	0,001	0,001	0,03	0,001	> 0,05

До природоохранных мероприятий уровень мышьяка, ртути и свинца в молоке составлял от 1,1 до 1,5 ПДУ. После мероприятий концентрации всех металлов снизились от 2,3 до 21,3 раза, но уровень цинка повысился в 3,5 раза. В 2000 и 2020 гг. уровень тяжелых металлов в мясе, овощах и зерне оставался ниже предельно допустимых значений, однако за 20 лет концентрации ряда металлов заметно снизились.

Информация о содержании тяжелых металлов в сельскохозяйственной продукции использовалась для расчета суточных доз поступления химических элементов в организм населения и определения коэффициента опасности развития неканцерогенных эффектов (табл. 2).

Затем провели оценку уровня риска по индексу опасности возникновения неканцерогенных эффектов для группы веществ с одинаковым воздействием (табл. 3).

Таблица 2

**Коэффициент опасности развития неканцерогенных эффектов (HQ)
на критические органы/системы
Risk factor for non-carcinogenic effects (HQ) on critical organs/systems**

Металл	Средняя суточная доза LADD, мг/(кг·день)		Безопасный уровень воздействия вещества RfD, мг/кг	HQ для отдельных веществ		Органы и системы
	2000 г.	2020 г.		2000 г.	2020 г.	
As	0,0002	9,01·10 ⁻⁶	0,0000035	51,18	2,57	Развитие, сердечно-сосудистая система, нервная система, органы дыхания, кожа
Hg	2,65·10 ⁻⁵	1,44·10 ⁻⁵	0,00016	0,17	0,09	Нервная система, развитие, почки
Cu	0,0031	0,0046	0,04	0,08	0,12	ЖКТ
Zn	0,0045	0,0557	0,3	0,015	0,19	Иммунная система,
Cd	1,60·10 ⁻⁵	2,98·10 ⁻⁵	0,0005	0,03	0,06	Почки
Cr	0,0065	0,0008	0,003	2,17	0,27	Система крови
Ni	0,0009	0,0008	0,02	0,04	0,04	Системное

Уровни неканцерогенного риска HI по критическим органам/системам
Non-carcinogenic HI risk levels for critical organs/systems

Органы, система	HI для группы веществ с одинаковым действием		Градации риска	
	2000 г.	2020 г.	2000 г.	2020 г.
ЖКТ	0,08	0,12	Минимальный	Минимальный
Иммунная система	0,02	0,19		
Почки	0,20	0,15		
Системное	0,04	0,04		
Кровь	2,18	0,45	Допустимый (приемлемый)	Минимальный
Нервная система	51,35	2,66	Высокий	Допустимый (приемлемый)
Развитие	51,35	2,65		
Сердечно-сосудистая система	51,18	2,57		
Органы дыхания	51,18	2,57		
Кожа	51,18	2,57		

В 2000 г. наибольшему риску подвержены нервная система и развитие человека с HI = 51,35, сердечно-сосудистая система, органы дыхания и кожа (HI = 51,18). Данный уровень риска классифицируется как высокий и обусловлен поступлением с пищевыми продуктами мышьяка. После природоохранных мероприятий

в 2020 г. уровень риска для данных органов и систем стал допустимым (приемлемым) – HI от 2,57 до 2,65.

Канцерогенный риск представляет собой дополнительную вероятность возникновения рака в течение жизни человека и рассчитывается на основе среднесуточной дозы (табл. 4).

Таблица 4

Канцерогенный риск CR для здоровья жителей
Carcinogenic risk of CR for the health of residents

Металл	LADD, мг/(кг·день)		SF ₀ , (мг/кг·день) ⁻¹	CR		Классификация уровня риска	
	2000 г.	2020 г.		2000 г.	2020 г.	2000 г.	2020 г.
Cd	1,60·10 ⁻⁵	2,98·10 ⁻⁵	0,38	6,07·10 ⁻⁶	1,13·10 ⁻⁵	Допустимый	Допустимый
As	0,000159	9,00·10 ⁻⁶	1,5	2,38·10 ⁻⁴	1,4·10 ⁻⁵	Настораживающий	Допустимый
Pb	0,000285	3,80·10 ⁻⁶	0,0085	2,42·10 ⁻⁶	3,25·10 ⁻⁷	Допустимый	Минимальный
Суммарный риск \sum CR				2,46·10 ⁻⁴	2,51·10 ⁻⁵	Настораживающий	Допустимый

По результатам вычислений суммарный канцерогенный риск до природоохранных мероприятий составил $2,46 \cdot 10^{-4}$ и классифицировался как настораживающий. После проведения мероприятий в 2020 г. уровень риска стал допустимым.

В 2000 г. популяционный канцерогенный риск (PCR) в Учалинском районе был равен 17,2 случаям, а в 2020 г. уменьшился до 1,8 дополнительных случаев раковых заболеваний на 70 000 жителей.

Заключение. Проведенные природоохранные мероприятия позволили значительно снизить содержание тяжелых металлов (As, Pb, Cr, Cd, Hg, Ni) в сельскохозяйственной продукции местного производства, что свидетельствует о снижении негативного воздействия промышленности на экологическую обстановку в регионе. Учалинский район является медно-цинковой провинцией с повышенным уровнем меди и цинка в окружающей среде, в связи с этим прои-

зошло увеличение содержания меди и цинка в исследованных продуктах за 20 лет.

Таким образом, проведенные природоохранные мероприятия, целью которых было сохранение природных условий, необходимых для

безопасной жизни людей и дальнейшего развития производства, позволили снизить негативное воздействие горнорудного предприятия на экологическую ситуацию и здоровье населения.

Список источников

1. Михайлова Л.А., Бондаревич Е.А., Нимаева Б.В. Уровни индивидуальных рисков здоровью населения горнорудной территории Восточного Забайкалья // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Сер. Медицинские науки. 2022. № 3. С. 63–69. DOI: 10.25587/SVFU.2022.28.3.007. EDN: VDAXAD.
2. Колесников В.А., Аветисян В.А. Оценка содержания тяжелых металлов (свинец и кадмий) в семенах перспективных кормовых растений // Вестник КрасГАУ. 2015. № 4 (103). С. 10–14. EDN: TYCUPJ.
3. Подопригора В.П., Дрогомирецкий И.И., Каратыгин Е.П. Экономическая эффективность природоохранных мероприятий в горнохимической промышленности // ГИАБ. 2005. № 4. С. 283–291. EDN: ICJMNF.
4. Рахманин Ю.А., Леванчук А.В., Копытенкова О.И., и др. Определение дополнительного риска здоровью населения за счет загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух при эксплуатации дорожно-автомобильного комплекса // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97, № 12. С. 1171–1178. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-12-1171-1178. EDN: YSJKBN.
5. Пинигин М.А., Антипова Н.Д., Заброда Н.Н. Приемлемый риск здоровью как критерий установления размера санитарно защитных зон // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2011. Т. 10, № 2. С. 439–443. EDN: NUHFEZ.
6. Юдина Т.В., Сааркоппель Л.М., Крючкова Е.Н. Интегральный подход к оценке состояния здоровья работников вредных производств // Здравоохранение Российской Федерации. 2016. Т. 60, № 2. С. 101–104. DOI: 10.18821/0044-197X-2016-60-2-101-104. EDN: VQUCSH.
7. Быстрых В.В. Проблемы установления размеров санитарно-защитных зон объектов газовой промышленности (обзор) // Гигиена и санитария. 2009. № 4. С. 15–16. EDN: KWUEPN.

References

1. Mikhailova LA, Bondarevich EA, Nimaeva BV. Levels of individual health risks to the population of the mining area in eastern Zabaikalsky Krai. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Medical Sciences*. 2022;(3):63-69. (In Russ.). DOI: 10.25587/SVFU.2022.28.3.007. EDN: VDAXAD.
2. Kolesnikov VA, Avetisyan VA. The assessment of the heavy metal (lead and cadmium) content in the seeds of the prospective forage plants. *Bulletin of KSAU*. 2015;(4):10-14. (In Russ.). EDN: TYCUPJ.
3. Podoprigora VP, Drogomiretsky II, Karatygin EP. Ekonomicheskaya effektivnost' prirodoohrannykh meropriyatij v gornohimicheskoy promyshlennosti. *GIAB*. 2005;(4):283-291. (In Russ.). EDN: ICJMNF.
4. Rakhmanin YuA, Levanchuk AV, Kopytenkova OI, et al. Determination of additional health risk due to pollutants in ambient air during operation of road-vehicles complex. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018;97(12):1171-1178. (In Russ.). DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-12-1171-1178. EDN: YSJKBN.
5. Pinigin MA, Antipova ND, Zabroda NN. The acceptable risk for health as a criterion for establishing a scale of the sanitary protective zones. *System analysis and management in biomedical systems*. 2011;10(2):439-443. EDN: NUHFEZ.
6. Yudina TV, Saarkoppel LM, Kryuchkova EN. The integral approach to evaluation of health condition of workers of hazard industries. *Health care of the Russian Federation*. 2016;60(2):101-104. DOI: 10.18821/0044-197X-2016-60-2-101-104. EDN: VQUCSH.
7. Bystrykh VV. Problems in the ascertainment of sizes of the control areas of natural gas industrial projects. *Hygiene and Sanitation*. 2009;(4):15-16. EDN: KWUEPN.

Статья принята к публикации 20.11.2024 / The article accepted for publication 20.11.2024.

Информация об авторах:

Гузель Римовна Аллаярова¹, старший научный сотрудник химико-аналитического отдела, кандидат биологических наук

Татьяна Кенсариновна Ларионова², ведущий научный сотрудник химико-аналитического отдела, кандидат биологических наук, доцент

Евгения Евгеньевна Зеленковская³, младший научный сотрудник химико-аналитического отдела

Эльвира Ахатовна Аухадиева⁴, младший научный сотрудник химико-аналитического отдела

Гюзелия Фаритовна Адиева⁵, старший научный сотрудник химико-аналитического отдела, кандидат биологических наук

Светлана Разифовна Афонькина⁶, старший научный сотрудник химико-аналитического отдела, кандидат химических наук

Рустем Аскарлович Даукаев⁷, заведующий химико-аналитическим отделом, кандидат биологических наук

Information about the authors:

Guzel Rimovna Allayarova¹, Senior Researcher, Chemical Analysis Department, Candidate of Biological Sciences

Tatyana Kensarinovna Larionova², Leading Researcher at the Chemical-analytical Department, Candidate of Biological Sciences, Docent

Evgeniya Evgenievna Zelenkovskaya³, Junior Researcher, Chemical Analysis Department

Elvira Akhatovna Aukhadieva⁴, Junior Researcher, Chemical Analysis Department

Guzeliya Faritovna Adieva⁵, Senior Researcher, Chemical Analysis Department, Candidate of Biological Sciences

Svetlana Razifovna Afonkina⁶, Senior Researcher, Chemical Analysis Department, Candidate of Chemical Sciences

Rustem Askarovich Daukaev⁷, Head of the Chemical Analysis Department, Candidate of Biological Sciences

