

EDN: <https://elibrary.ru/lkahwz>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-9-595-602>

УДК 614.7:574.3

© Коллектив авторов, 2024

Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Голиков Р.А., Ликонцева Ю.С., Штайгер В.А.

Оценка риска для здоровья населения, обусловленного воздействием атмосферных выбросов алюминиевого завода

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», ул. Кутузова, 23, Новокузнецк, 654041

Введение. Производство алюминия сопровождается выбросами загрязняющих веществ, способных негативно воздействовать на окружающую среду и здоровье населения.**Цель исследования** — определить влияние атмосферных выбросов алюминиевого завода на здоровье населения города Новокузнецка на основе оценки риска.**Материалы и методы.** В работе использовался том предельно допустимых выбросов Новокузнецкого алюминиевого завода. Максимальные и средние концентрации веществ рассчитывались в 40 точках воздействия. Предельно допустимые концентрации веществ определялись по СанПиН 1.2.3685-21. Канцерогенный риск и риск развития неканцерогенных эффектов рассчитывались согласно Руководству 2.1.10.1920-04. Классификация уровней рисков осуществлялась на основе методических рекомендаций 2.1.10.0156-19. 2.1.10.**Результаты.** Для оценки риска были отобраны загрязняющие вещества: пыль неорганическая с содержанием $\text{SiO}_2 < 20\%$, диоксид серы, бенз(а)пирен, фтороводорода, оксид углерода, диоксид азота, взвешенные вещества, оксид азота, углерод (сажа). Максимальные концентрации составили 0,1–3,77 ПДК у пыли неорганической ($\text{SiO}_2 < 20\%$), 0,1–2,64 ПДК — у фтороводорода и 0,05–1,74 ПДК — у диоксида серы; средние концентрации — до 9,16 ПДК у бенз(а)пирена. Индексы опасности при острых воздействиях находятся на допустимом уровне; при хронических воздействиях соответствуют настораживающему и высокому уровням, достигая наибольшего значения (13,469) в точке, расположенной ближе к источникам выбросов. Индексы опасности по критическим органам и системам при острых воздействиях находятся на допустимом или минимальном (целевом) уровнях, при хронических воздействиях соответствуют настораживающему и высокому уровням рисков. Наибольшему воздействию подвергаются дыхательная и иммунная системы. Суммарный индивидуальный канцерогенный риск находится в пределах от 4×10^{-7} до 8×10^{-6} , не превышая верхнюю границу допустимого риска. Наиболее подвержены воздействию выбросов жители Кузнецкого района города.**Ограничения исследования.** Основным ограничением в проведённой работе являлось использование для оценки рисков концентраций загрязняющих веществ, полученных расчётным путём, без применения натурных показателей.**Заключение.** В атмосферном воздухе селитебных зон, прилегающих к территории алюминиевого завода, выявлены повышенные концентрации загрязняющих веществ, определяющие настораживающие и высокие уровни неканцерогенного риска для здоровья населения.**Этика.** Данное исследование не требовало заключения этического комитета.**Ключевые слова:** цветная металлургия; алюминиевый завод; атмосферные выбросы; загрязняющие вещества; оценка риска для здоровья**Для цитирования:** Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Голиков Р.А., Ликонцева Ю.С., Штайгер В.А. Оценка риска для здоровья населения, обусловленного воздействием атмосферных выбросов алюминиевого завода. *Мед. труда и пром. экол.* 2024; 64(9): 595–602. <https://elibrary.ru/lkahwz> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-9-595-602>**Для корреспонденции:** Кислицына Вера Викторовна, e-mail: ecologia_nie@mail.ru**Участие авторов:**

Суржиков Д.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование;

Кислицына В.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование;

Голиков Р.А. — сбор и обработка данных;

Ликонцева Ю.С. — сбор и обработка данных, написание текста;

Штайгер В.А. — сбор и обработка данных.

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

Дата поступления: 13.09.2024 / Дата принятия к печати: 18.09.2024 / Дата публикации: 10.10.2024

Dmitry V. Surzhikov, Vera V. Kislitsyna, Roman A. Golikov, Yuliya S. Likontseva, Varvara A. Shtager

Assessment of the public health risk caused by exposure to atmospheric emissions from an aluminum plant

Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, 23, Kutuzova St, Novokuznetsk, 654041

Introduction. Aluminum production is accompanied by emissions of pollutants that can negatively affect the environment and public health.**The study aims** to determine the impact of atmospheric emissions from an aluminum plant on the health of the population of the city of Novokuznetsk based on a risk assessment.**Materials and methods.** The volume of maximum permissible emissions of the Novokuznetsk Aluminum Plant was used in the work. Experts calculated the maximum and average concentrations of substances at 40 exposure points. The maximum permissible concentrations of substances were determined in accordance with SanPiN 1.2.3685-21. The authors calculated the carcinogenic risk and the risk of non-carcinogenic effects in accordance with the Guidelines 2.1.10.1920-04. They carried out the classification of risk levels based on methodological recommendations 2.1.10.0156-19. 2.1.10.**Results.** The authors have selected pollutants for risk assessment: inorganic dust with a SiO_2 content of $< 20\%$, sulfur dioxide, benz(a)pyrene, hydrogen fluoride, carbon monoxide, nitrogen dioxide, suspended solids, nitrogen oxide, carbon (soot). The maximum concentrations were 0.1–3.77 MPC for inorganic dust ($\text{SiO}_2 < 20\%$), 0.1–2.64 MPC for hydrogen

fluoride and 0.05–1.74 MPC for sulfur dioxide; average concentrations were up to 9.16 MPC for benz(a)pyrene. The hazard indices for acute exposure are at an acceptable level; For chronic exposures, they correspond to alarming and high levels, reaching the highest value (13.469) at a point located closer to the sources of emissions. Hazard indices for critical organs and systems in acute exposures are at acceptable or minimum (target) levels, in chronic exposures they correspond to alarming and high-risk levels. The respiratory and immune systems are most affected. The total individual carcinogenic risk ranges from 4×10^{-7} to 8×10^{-6} , without exceeding the upper limit of the permissible risk. Residents of the Kuznetsk district of the city are most affected by emissions.

Limitations. The main limitation in the work carried out was the use of calculated concentrations of pollutants for risk assessment without the use of in-kind indicators.

Conclusion. Elevated concentrations of pollutants were detected in the atmospheric air of residential areas adjacent to the territory of the aluminum plant, which determine alarming and high levels of non-carcinogenic risk to public health.

Ethics. This study did not require the conclusion of the Ethics Committee.

Keywords: non-ferrous metallurgy; aluminum plant; atmospheric emissions; pollutants; health risk assessment

For citation: Surzhikov D.V., Kislitsyna V.V., Golikov R.A., Likontseva Yu.S., Shtaiger V.A. Assessment of the risk to public health caused by exposure to atmospheric emissions from an aluminum plant. *Med. truda i prom. ekol.* 2024; 64(9): 595–602. <https://elibrary.ru/lkahwz> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-9-595-602> (in Russian)

For correspondence: Vera V. Kislitsyna, e-mail: ecologia_nie@mail.ru

Contribution:

Surzhikov D.V. — the concept and design of the study, the editing;

Kislitsyna V.V. — the concept and design of the study, writing the text, the editing;

Golikov R.A. — data collection and processing;

Likontseva Yu.S. — data collection and processing, writing the text;

Steiger V.A. — data collection and processing.

Funding. The study had no funding.

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

Received: 13.09.2024 / Accepted: 18.09.2024 / Published: 10.10.2024

Введение. Цветная металлургия — одна из основных отраслей экономики России, её удельный вес в валовом внутреннем продукте (ВВП) составляет около 2,3%, в экспорте — 3,6% [1–3]. Алюминиевая промышленность страны является значимой частью цветной металлургии, определяющей до 20% выработанного алюминия на мировом рынке [4]. Крупнейшей компанией, осуществляющей производство алюминия в России, является РУСАЛ [5, 6]. С 2002 г. в состав РУСАЛ вошёл Новокузнецкий алюминиевый завод (НКАЗ). В настоящее время мощность НКАЗ составляет более 200 тыс. тонн в год алюминия, более 60% продукции завода составляют сплавы. Потребителями продукции НКАЗ являются авиационная, автомобильная, строительная, электротехническая и другие отрасли.

Алюминиевое производство состоит из несколько этапов, включающих добычу алюминиевых руд, производство глинозёма и первичного алюминия, литейное производство. На каждом технологическом этапе происходит выделение загрязняющих веществ, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, здоровье работников алюминиевых заводов и населения [7, 8]. На этапе электролиза глинозёма происходит наибольшее выделение токсичных веществ: фтороводорода; фторидов натрия и кальция; оксидов углерода, серы, азота; полициклических ароматических углеводородов; смолистых веществ [9, 10]. Соединения фтора являются загрязнителями, образующимися при производстве алюминия. Показано, что в районах размещения алюминиевых предприятий концентрация соединений фтора в атмосферном воздухе достигает 5 мкг/м³. Наибольшее неблагоприятное воздействие выбросов алюминиевой промышленности проявляется на расстоянии 0,5–1,5 км от заводов, причём твёрдые соединения фтора могут оседать на расстоянии до 5 км, а газообразные и мелкодисперсные соединения могут рассеиваться в радиусе до 50 км [11, 12].

Соединения фтора вносят основной вклад в формирование риска формирования флюороза — основного профессионального заболевания работников алюминиевой промышленности, в том числе и сотрудников НКАЗ,

изучению которого посвящено значительное количество работ [13–16]. При этом проблема воздействия загрязняющих веществ, выделяющихся в воздушную среду при эксплуатации НКАЗ, на здоровье населения Новокузнецка, проживающего вблизи промышленного объекта, до сих пор исследовалась недостаточно, что определяет актуальность настоящей работы.

Для определения неблагоприятного влияния атмосферных выбросов на здоровье применяется методология оценки риска, дающая возможность получить количественную оценку возможного вреда здоровью [17–19].

Цель исследования — определить влияние атмосферных выбросов алюминиевого завода на здоровье населения города Новокузнецка на основе оценки риска.

Материалы и методы. АО «РУСАЛ Новокузнецк» расположен в юго-восточной части города Новокузнецка на двух промышленных площадках (НКАЗ-1 и НКАЗ-2), расстояние между которыми составляет около 1,5 км. Вокруг завода находятся жилые зоны Кузнецкого, Новобайдаевского и Орджоникидзевского районов города. В состав предприятия входят электролизное и литейное производства, участки производства анодной массы, участок выливки и ковшевого хозяйства, участок производства фтористых солей, участок транспортировки глинозёма и фтористых солей, транспортное управление. Основными источниками выбросов загрязняющих веществ являются электролизеры; миксеры и индукционные печи литейного производства; дробилки, транспортеры, сушильный агрегат, аспирационная установка, шаровые мельницы, смесильные машины и аноды участка производства анодной массы; дробилка участка производства фтористых солей; чистка ковшей и камера обеспыливания участка выливки и ковшевого хозяйства; тепловозы, путевая техника и погрузчик транспортного управления.

В работе использовался том предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (том ПДВ) алюминиевого завода, утверждённый на период 2019–2025 гг. От источников НКАЗ в атмосферу поступают

42 загрязняющих вещества, 35 из них подлежат государственному регулированию и нормированию.

Максимальные и средние концентрации загрязняющих веществ, попадающих в атмосферу города от промплощадок НкАЗ, определялись в 40 точках воздействия концентраций (ТВК), выбранных на территории всех шести районов города с учётом климатической характеристики, включающей розу ветров. ТВК были расположены на расстоянии 597–15 500 м от источников выбросов, преобладающими направлениями ветров являлись южное и юго-западное. Расчёты концентраций проводились с использованием программы «ЭКОцентр – Стандарт», основанной на «Методах расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе»¹. Предельно допустимые концентрации (ПДК) веществ определялись по СанПиН 1.2.3685-21².

Канцерогенный риск и риск развития неканцерогенных эффектов определялись согласно Руководству 2.1.10.1920-04³. Риск неканцерогенных эффектов оценивался на основе расчётов коэффициентов и индексов опасности при острых и хронических воздействиях. Для неканцерогенных эффектов период экспозиции принимался равным 30 годам, для канцерогенных — 70 годам (при условии сохранения уровней средних концентраций загрязняющих веществ в течение этого времени). Классификация уровней рисков осуществлялась на основе МР 2.1.10.0156-19. 2.1.10⁴.

Результаты. В *таблице 1* представлена характеристика основных загрязняющих веществ, содержащихся в атмосферных выбросах НкАЗ и имеющих наибольшие индексы сравнительной опасности и удельный вес в общем объёме выбросов.

На данном этапе пыль неорганическая с содержанием SiO_2 20–70% была исключена из дальнейших расчётов ввиду низкого удельного веса. Углерод (сажа), также имеющий низкий удельный вес, не исключён, т. к. данное вещество является канцерогеном. Смолистые вещества (возгоны пека), входящие в состав электролизной пыли, не включены в исследование, так как они не подлежат государственному регулированию в области охраны окружающей среды, что указано в томе ПДВ. Таким образом, в последующую оценку риска для здоровья включены следующие приоритетные загрязняющие вещества: пыль неорганическая ($\text{SiO}_2 < 20\%$), диоксид серы, бенз(а)пирен, фтороводород, оксид углерода, диоксид азота, взвешенные вещества, оксид азота, углерод (сажа). Оценка канцерогенного риска проводилась от воздействия бенз(а)пирена и углерода (сажи). Вклад других загрязняющих веществ, обладающих

канцерогенных эффектом, в суммарном индексе сравнительной канцерогенной опасности незначителен (менее 0,1%).

Рассчитанные максимальные концентрации загрязняющих веществ находятся в диапазоне от 2×10^{-6} мг/м³ у углерода (сажи) до 3,28 мг/м³ у оксида углерода, доли ПДК варьируются от 1×10^{-5} до 3,77 раз. Наибольшие доли ПДК наблюдаются у пыли неорганической ($\text{SiO}_2 < 20\%$) (0,1–3,77), фтороводорода (0,1–2,64) и диоксида серы (0,05–1,74). Наибольшие концентрации веществ наблюдаются в точках, расположенных в Кузнецком районе города.

Рассчитанные средние концентрации загрязняющих веществ находятся в диапазоне от 3×10^{-8} у углерода (сажи) до 0,160 мг/м³ у оксида углерода. Наибольшие средние концентрации наблюдаются у оксида углерода и пыли неорганической ($\text{SiO}_2 < 20\%$) в ТВК № 1–2 и 11–12 (Кузнецкий район), что обусловлено близким расположением источников загрязнения. Доли ПДК веществ варьируются от 3×10^{-7} у углерода (сажи) до 9,16 у бенз(а)пирена.

Для характеристики риска развития неканцерогенных эффектов сначала были рассчитаны коэффициенты опасности (НҚ), которые при острых ингаляционных воздействиях диоксида серы превышали единицу в ТВК № 1–2 (НҚ=1,318), ТВК № 7 (НҚ=1,197) и ТВК № 10 (НҚ=1,152), расположенных на территории Кузнецкого района города. Такие уровни коэффициентов опасности соответствуют настораживающему уровню риска согласно МР 2.1.10.0156-19. 2.1.10. В остальных ТВК коэффициенты опасности загрязняющих веществ не превышали единицу, находясь в диапазоне от 1×10^{-4} у оксида азота до 0,924 у диоксида серы, что соответствует минимальному (целевому) или допустимому уровню рисков. При хронических ингаляционных воздействиях коэффициенты опасности (НҚ) бенз(а)пирена превышают единицу в ТВК № 1–22, 25, 26 (Кузнецкий, Орджоникидзеvский и частично Центральный районы), составляя 1,08–10,00. Максимальный уровень коэффициента опасности бенз(а)пирена (10,0) выявлен в ТВК № 12 (Кузнецкий район). Такие значения коэффициентов опасности бенз(а)пирена соответствуют настораживающему и высокому уровням риска согласно МР 2.1.10.0156-19. 2.1.10. Коэффициенты опасности пыли неорганической с содержанием $\text{SiO}_2 < 20\%$ были выше единицы (1,2–2,5) в ТВК № 1, 2, 6, 7, 10–12, находящихся в Кузнецком районе. Наибольшее значение (2,5) выявлено в ТВК № 2. Выявленные коэффициенты опасности пыли неорганической с содержанием $\text{SiO}_2 < 20\%$ соответствуют настораживающему уровню риска. Коэффициенты опасности загрязняющих веществ в остальных ТВК не превышают единицу, находясь в диапазоне 1×10^{-5} у взвешенных веществ до 0,899 у бенз(а)пирена и соответствуя минимальному (допустимому) риску.

Далее определялись значения индексов опасности (НІ) при острых и хронических воздействиях. Индексы опасности при острых воздействиях превышали единицу в ТВК № 1, 2, 7, 10, 12 (Кузнецкий район), однако согласно МР 2.1.10.0156-19. 2.1.10, такие уровни риска являются допустимыми. При хронических воздействиях индексы опасности превышали единицу в ТВК № 1–23, 25, 26, 32, 33 (Кузнецкий, Орджоникидзеvский, частично Центральный и Заводской районы), достигая наибольшего уровня (13,469) в ТВК № 12, расположенной ближе всех к источникам выбросов. Согласно МР 2.1.10.0156-19. 2.1.10, такие значения неканцерогенного риска соответствуют настораживающему (3,1–6,0) и высокому (более 6) уровням.

¹ Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе: утверждены приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273.

² Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и(или) безвредности для человека факторов среды обитания: СанПиН 1.2.3685-21. Введён 01.03.2021.

³ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Р 2.1.10.1920-04. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава РФ; 2004.

⁴ Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания населения. Оценка качества атмосферного воздуха и анализ риска здоровью населения в целях принятия обоснованных управленческих решений в сфере обеспечения качества атмосферного воздуха и санитарно-эпидемиологического благополучия населения: МР 2.1.10.0156-19. 2.1.10. Утверждены Роспотребнадзором 02.12.2019. <https://clck.ru/3DYBsL>

Таблица 1 / Table 1

Характеристика загрязняющих веществ
Characteristics of pollutants

Код	Наименование вещества	CAS	ПДВ, т/год	ПДК _{с.с.} , мг/м ³	Референтная концентрация, мг/м ³	Канцерогенная опасность (по группе МАИР)	Фактор канцерогенного потенциала	Индекс сравнительной опасности, HRI	Коэффициент канцерогенной опасности
2909	Пыль неорганическая (SiO ₂ <20%)	14464-46-1	2231,63	0,15	0,05			12 153 101	
0330	Диоксид серы	7446-09-05	622,72	0,05	0,05			3 391 223	
0703	Бенз(а)пирен	50-32-8	0,45	1×10 ⁻⁶	1×10 ⁻⁶	2A	3,9	2 445 861	244 586
0342	Фтороводород	7464-39-3	448,67	0,014	0,03			2 443 380	
0337	Оксид углерода	630-08-0	10 751,41	3	3			585 504	
0301	Диоксид азота	10102-44-0	39,82	0,1	0,04			216 859	
2902	Взвешенные вещества	—	6,58	0,15	0,075			35 847	
0304	Оксид азота	10102-43-9	6,67	—	0,06			36 332	
2908	Пыль неорганическая (SiO ₂ 20–70%)	—	69,9	0,1	0,1			6216	
0328	Углерод (сажа)	—	0,69	0,05	0,05	1	0,0155	3750	3750

В **таблице 2** представлены значения индексы опасности по критическим органам/системам.

Высокие индексы опасности установлены по иммунной системе: высокий уровень риска отмечается в ТВК 1, 2, 11, 12 (Кузнецкий район, индекс опасности в пределах от 6,3 до 10,0). Настораживающий уровень риска по иммунной системе регистрируется в ТВК № 3, 6, 7, 8, 10, 13, причём данные зоны воздействия находятся в селитебных зонах как в Кузнецком, так и в Орджоникидзевском (Новобайдаевский микрорайон) административных районах г. Новокузнецка (индекс опасности в пределах от 3,2 до 5,9).

При хронических воздействиях индексы опасности превышают единицу при влиянии на органы дыхания в ТВК № 1–3, 6–8, 10, 11, 13 (Кузнецкий район), составляя 1,02–2,86, что соответствует допустимому уровню риска. В ТВК № 12, находящейся в максимальной близости к источникам выбросов, индекс опасности составил 3,4 при воздействии на органы дыхания, соответствуя настораживающему уровню риска. Наиболее подверженной хроническому воздействию веществ оказалась иммунная система, высокий уровень риска отмечается в ТВК 1, 2, 11, 12 (Кузнецкий район; индекс опасности в пределах от 6,3 до 10,0). Настораживающий уровень риска по иммунной системе регистрируется в ТВК № 3, 6, 7, 8, 10, 13, причём данные зоны воздействия находятся в селитебных зонах как в Кузнецком, так и в Орджоникидзевском (Новобайдаевский микрорайон) административных районах г. Новокузнецка (индекс опасности в пределах от 3,2 до 5,9).

В **таблице 3** приведены значения индивидуального канцерогенного риска, обусловленного влиянием углерода (сажи) и бенз(а)пирена, по точкам воздействия.

Согласно полученным результатам, индивидуальный канцерогенный риск для населения Новокузнецка, обусловленный воздействием углерода (сажи) и бенз(а)пирена, не превышает верхнюю границу допустимого риска (1×10⁻⁴) во всех ТВК. Суммарный индивидуальный канцерогенный риск находится в пределах от 4×10⁻⁷ до 8×10⁻⁶ в зависимости от расположения ТВК и также не превышает приемлемый уровень.

Обсуждение. Важным требованием при эксплуатации промышленных объектов является экологичность производства, которая зависит от используемых технологий, состояния оборудования, квалификации обслуживающего персонала и других факторов [6]. С целью минимизации воздействия выбросов на природную среду на НкАЗ разработан и внедряется «План снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух для АО «РУСАЛ Новокузнецк» на 2018–2025 гг.», для реализации которого на предприятии осуществляется модернизация производства с переходом на новые технологии [12]. Так, на НкАЗ реализованы технологии «Предварительно обожжённый анод» с переводом на электролизеры РА-167 и «Экологический Содерберг», происходит строительство газоочистных блоков с сухим способом очистки и внедряются технологии анодной массы со сниженным содержанием полициклических ароматических углеводородов. В результате реализации технических мероприятий валовые выбросы от источников НкАЗ в атмосферу

Таблица 2 / Table 2

Индексы опасности по критическим органам/системам (для хронического ингаляционного воздействия)
Hazard indices for critical organs/systems (for chronic inhalation exposure)

Органы/системы	№ ТВК	Диапазон значений индексов опасности	Уровень риска
Органы дыхания	1–3, 6–8, 10, 11, 13	1,02–2,86	Допустимый
	4, 5, 9, 14–40	0,04–0,8	Минимальный
	12	3,4	Настораживающий
Иммунная система	1, 2, 11, 12	6,3–10,0	Высокий
	3, 6–8, 10, 13	3,2–5,9	Настораживающий
	4, 5, 9, 14–22, 25, 26	1,08–2,67	Допустимый
	23, 24, 27–40	0,3–0,9	Минимальный
Кровь	1–40	0,002–0,06	Минимальный
Нервная система	1–40	0,002–0,05	Минимальный
Сердечно-сосудистая система	1–40	0,002–0,05	Минимальный
Костная система	1–40	0,006–0,19	Минимальный

Таблица 3 / Table 3

Индивидуальный канцерогенный риск
Individual carcinogenic risk

№ ТВК	Углерод (сажа)	Бенз(а) пирен	Суммарно
1	4×10^{-10}	8×10^{-6}	8×10^{-6}
2	5×10^{-10}	8×10^{-6}	8×10^{-6}
3	2×10^{-10}	4×10^{-6}	4×10^{-6}
4	2×10^{-10}	3×10^{-6}	3×10^{-6}
5	2×10^{-10}	3×10^{-6}	3×10^{-6}
6	3×10^{-10}	5×10^{-6}	5×10^{-6}
7	4×10^{-10}	7×10^{-6}	7×10^{-6}
8	2×10^{-10}	4×10^{-6}	4×10^{-6}
9	2×10^{-10}	3×10^{-6}	3×10^{-6}
10	3×10^{-10}	6×10^{-6}	6×10^{-6}
11	4×10^{-10}	7×10^{-6}	7×10^{-6}
12	6×10^{-10}	7×10^{-6}	7×10^{-6}
13	2×10^{-10}	4×10^{-6}	4×10^{-6}
14	2×10^{-10}	3×10^{-6}	3×10^{-6}
15	2×10^{-10}	3×10^{-6}	3×10^{-6}
16	2×10^{-10}	3×10^{-6}	3×10^{-6}
17	1×10^{-10}	2×10^{-6}	2×10^{-6}
18	1×10^{-10}	2×10^{-6}	2×10^{-6}
19	1×10^{-10}	2×10^{-6}	2×10^{-6}
20	1×10^{-10}	2×10^{-6}	2×10^{-6}
21	1×10^{-10}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
22	1×10^{-10}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
23	1×10^{-10}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
24	1×10^{-10}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
25	1×10^{-10}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
26	1×10^{-10}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
27	1×10^{-10}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
28	1×10^{-10}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
29	1×10^{-10}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
30	1×10^{-10}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
31	1×10^{-10}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
32	1×10^{-10}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
33	1×10^{-10}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
34	1×10^{-11}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
35	2×10^{-11}	5×10^{-7}	5×10^{-7}
36	1×10^{-11}	4×10^{-7}	4×10^{-7}
37	3×10^{-11}	6×10^{-7}	6×10^{-7}
38	2×10^{-11}	4×10^{-7}	4×10^{-7}
39	3×10^{-11}	6×10^{-7}	6×10^{-7}
40	4×10^{-11}	7×10^{-7}	7×10^{-7}

Новокузнецка сократились с 14577,7 тонн в 2017 году до 13414,206 тонн в 2022 году [20].

Тем не менее настоящая работа показала, что максимальные концентрации веществ, содержащихся в атмосферных выбросах НКАЗ, составляют 0,1–3,77 ПДК у пыли неорганической с содержанием $\text{SiO}_2 < 20\%$; 0,1–2,64 ПДК — у фтороводорода; 0,05–1,74 ПДК — у диоксида серы в различных ТВК. Средние концентрации превышают ПДК до 9,16 раз у бенз(а)пирена. Индексы опасности при острых воздействиях являются допустимыми, но при

хронических воздействиях индексы опасности достигают значения 13,469, соответствуя настораживающему и высокому уровням риска в разных ТВК. Индексы опасности по критическим органам и системам при острых воздействиях находятся на допустимом или минимальном (целевом) уровнях риска. При хронических воздействиях наиболее уязвимыми являются дыхательная и иммунная системы, индексы опасности соответствуют настораживающему и высокому уровням риска, достигая максимального значения (10,0) в ТВК № 12. Канцерогенный риск для здоровья

населения не превышает допустимый уровень, при том, что средние концентрации бенз(а)пирена при расчётах его рассеивания по большинству точек воздействия превышают ПДК. Это связано с тем, что индивидуальный канцерогенный риск, вызываемый воздействием бенз(а)пирена на уровне его ПДК, равен $1,114 \times 10^{-6}$, что составляет всего лишь 0,011 долей от приемлемого уровня риска. В целом наиболее подверженными неблагоприятному воздействию выбросов НКАЗ являются жители Кузнецкого района города. По результатам проведённого исследования рекомендовано административным органам, кроме реализации технических мероприятий, рассмотреть возможность расселения жителей из наиболее опасных селитебных зон.

Таким образом, использованная методология оценки риска дала возможность выявить приоритетные химические вещества, вносящие наибольший вклад в нарушение состояния здоровья населения, а также позволяет определить наиболее неблагоприятные для проживания районы города по уровням рисков [21, 22].

Заключение. Несмотря на природоохранные мероприятия, реализуемые на АО «РУСАЛ Новокузнецк», в атмосферном воздухе селитебных зон, прилегающих к территории алюминиевого завода, выявляются повышенные концентрации загрязняющих веществ, определяющие настоятельно высокие уровни неканцерогенного риска для здоровья населения.

Список литературы

1. Малышев М.К. Значение цветной металлургии для социально-экономического развития России и её регионов. *Проблемы развития территории*. 2022; 26(6): 29–43. <https://doi.org/10.15838/ptd.2022.6.122.2> <https://elibrary.ru/xstiuk>
2. Петров И.М. Цветная металлургия России: итоги 30-летия (1992–2021), основные тенденции и прогнозы. Минеральные ресурсы России. *Экономика и управление*. 2022; (3–4): 75–8. <https://elibrary.ru/ectgem>
3. Самарина В.П., Склярова Е.А., Жилинкова А.П. Перспективы развития российской металлургии в условиях новых экономических вызовов геополитического генезиса. *Фундаментальные исследования*. 2023; (3): 17–22. <https://doi.org/10.17513/fr.43437> <https://elibrary.ru/xbtnwh>
4. Шварцкопф Н.В. Проблемы и перспективы развития алюминиевой промышленности России. *Эпоха науки*. 2020; (23): 146–8. <https://doi.org/10.24411/2409-3203-2020-12337> <https://elibrary.ru/plcohh>
5. Палакина Д.С. Развитие корпораций цветной металлургии в России. Учёные записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. *Экономика и управление*. 2023; 9(1): 86–100. <https://elibrary.ru/misnyj>
6. Бородин В.В., Рыжкова О.В., Улас Ю.В. Перспективы развития алюминиевого производства в России. *Фундаментальные исследования*. 2018; (12–1): 72–7. <https://elibrary.ru/vruwek>
7. Горланов Е.С., Бричкин В.Н., Поляков А.А. Электролитическое производство алюминия. Обзор. Часть 1. Традиционные направления развития. *Цветные металлы*. 2020; (2): 36–41. <https://doi.org/10.17580/tsm.2020.02.04> <https://elibrary.ru/utkuvo>
8. Куршов И.С., Бахтина И.С., Скобелев Д.О. Ресурсная и экологическая эффективность производства алюминия на принципах НДТ. *Компетенция*. 2022; (4): 10–5. <https://doi.org/10.24412/1993-8780-2022-4-10-15> <https://elibrary.ru/plvnbk>
9. Кондратьев В.В., Колосов А.Д., Гусева Е.А., Мартюшев Н.В., Карлина А.И. Сокращение выбросов смолистых веществ при электролитическом производстве алюминия. *Металлург*. 2022; (8): 108–11. https://doi.org/10.52351/00260827_2022_08_108 <https://elibrary.ru/luvsgr>
10. Матвеева К.А., Грязнова В.А., Чазов Т.К. Экологические проблемы и устойчивое развитие алюминиевой промышленности. *Отходы и ресурсы*. 2019; 6(2): 9. <https://doi.org/10.15862/11ECOR219> <https://elibrary.ru/hdrqah>
11. Варданян М.А., Никифорова В.А., Лапина С.Ф. Аспекты воздействия фтористых соединений в условиях урбанизированной среды. *Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки*. 2022; (1): 218–24. <https://elibrary.ru/hsaijw>
12. Палакина Д.С. Экологическая обстановка в регионах базирования российских корпораций цветной металлургии. *Экономика и экология территориальных образований*. 2022; 6(1): 43–54. <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2021-6-1-43-54> <https://elibrary.ru/gwhhti>
13. Мещакоев Н.М., Шаяхметов С.Ф., Рукавишников В.С., Меринов А.В. Оценка профессионального риска здоровью работников основных профессий алюминиевого производства. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(10): 1106–11. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1106-1111> <https://elibrary.ru/bokzth>
14. Ядыкина Т.К., Михайлова Н.Н., Бугаева М.С., Горохова Л.Г., Кислицына В.В., Данилов И.П. и др. Проблемы формирования токсической гепатопатии в условиях хронической фтористой интоксикации организма. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(7): 693–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-7-693-699> <https://elibrary.ru/wpxbio>
15. Панев Н.И., Коротенко О.Ю., Филимонов С.Н., Семёнова Е.А., Панев Р.Н. Распространённость сердечно-сосудистой патологии у работников алюминиевой промышленности. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(3): 276–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-3-276-279> <https://elibrary.ru/zbdzln>
16. Бейгель Е.А., Катаманова Е.В., Казакова П.В., Шаяхметов С.Ф. Качество жизни работников алюминиевой промышленности с бронхолегочной патологией. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(12): 1412–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-12-1412-1416> <https://elibrary.ru/vlqjel>
17. Зайцева Н.В., Онищенко Г.Г., Май И.В., Шур П.З. Развитие методологии анализа риска здоровью в задачах государственного управления санитарно-эпидемиологическим благополучием населения. *Анализ риска здоровью*. 2022; (3): 4–20. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.01> <https://elibrary.ru/imrune>
18. Попова А.Ю., Гурвич В.Б., Кузьмин С.В., Мишина А.А., Ярушин С.В. Современные вопросы оценки и управления риском для здоровья. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(12): 1125–9. <https://doi.org/0016-9900-2017-96-12-1125-1129> <https://elibrary.ru/yqxmne>
19. Кузьмин С.В., Гурвич В.Б., Диконская О.В., Малых О.А., Ярушин С.В. Методология оценки и управления риском для здоровья населения в системе законодательного регулирования санитарно-эпидемиологического благополучия населения. *Мед. труда и пром. экол.* 2016; (1): 4–8. <https://elibrary.ru/vtrorpz>
20. Комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов. Доклад о состоянии окружающей среды города Новокузнецка за 2022 год; 2023. <https://clck.ru/3DYBzN>
21. Мякишева Ю.В., Федосейкина И.В., Михайлюк Н.А., Сказкина О.Я., Алешина Ю.А., Павлов А.Ф. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на формирование риска здоровью населения экологически неблагоприятного района крупного промышленного центра. *Здоровье населения и среда обитания* — 3НУСО. 2022; 30(3): 44–52. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-3-44-52> <https://elibrary.ru/vfnfsm>

22. Ревич Б.А. Планирование городских территорий и здоровье населения: аналитический обзор. *Анализ риска здоровью*. 2022; (1): 157–69. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.1.17> <https://elibrary.ru/ajevgs>

вью. 2022; (1): 157–69. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.1.17> <https://elibrary.ru/ajevgs>

References

- Malyshev M.K. The importance of non-ferrous metallurgy for the socio-economic development of Russia and its regions. *Problemy razvitiya territorii*. 2022; 26(6): 29–43. <https://doi.org/10.15838/ptd.2022.6.122.2> <https://elibrary.ru/xstiuk> (in Russian).
- Petrov I.M. Russian non-ferrous metallurgy: 30-year (1992–2021) results, main trends and projections. *Mineral'nyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye*. 2022; (3–4): 75–8. <https://elibrary.ru/ectgem> (in Russian).
- Samarina V.P., Sklyarova E.A., Zhilinkova A.P. Prospects for the development of Russian metallurgy in the context of new economic challenges of geopolitical genesis. *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2023; (3): 17–22. <https://doi.org/10.17513/fr.43437> <https://elibrary.ru/xbtwnh> (in Russian).
- Schwarzkopf N.V. Problems and prospects of development of the aluminum industry in Russia. *Epokha nauki*. 2020; (23): 146–8. <https://doi.org/10.24411/2409-3203-2020-12337> <https://elibrary.ru/plcohh> (in Russian).
- Palkina D.S. Development of non-ferrous metallurgy corporations in Russia. *Uchenyye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Ekonomika i upravleniye*. 2023; 9(1): 86–100. <https://elibrary.ru/misnyj> (in Russian).
- Borodkina V.V., Ryzhkova O.V., Ulas Yu.V. Prospects for the development of aluminum production in Russia. *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2018; (12–1): 72–7. <https://elibrary.ru/vruwek> (in Russian).
- Gorlanov E.S., Brichkin V.N., Polyakov A.A. Electrolytic production of aluminium. Review. Part 1. Conventional areas of development. *Tsvetnyye metally*. 2020; (2): 36–41. <https://doi.org/10.17580/tsm.2020.02.04> <https://elibrary.ru/utkuvo> (in Russian).
- Kuroshv I.S., Bakhtina I.S., Skobelev D.O. Resource and environmental efficiency of aluminum production based on the BAT principles. *Kompetentnost*. 2022; (4): 10–5. <https://doi.org/10.24412/1993-8780-2022-4-10-15> <https://elibrary.ru/plvnbk> (in Russian).
- Kondrat'ev V.V., Kolosov A.D., Guseva E.A., Martyushev N.V., Karlina A.I. Reduction of emissions of resinous substances in extraction of aluminum by electrolysis. *Metallurgist*. 2022; 66(7): 1001–5. <https://doi.org/10.1007/s11015-022-01412-0>
- Matevosova K.L., Gryaznova V.A., Chazov T.K. Environmental problems and sustainable development of aluminium industry. *Otkhody i resursy*. 2019; 6(2): 9. <https://doi.org/10.15862/11ECOR219> <https://elibrary.ru/hdpqah> (in Russian).
- Vardanyan M.A., Nikiforova V.A., Lapina S.F. Aspects of exposure to fluoride compounds in an urban environment. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye i inzhenernyye nauki*. 2022; (1): 218–24. <https://elibrary.ru/hsaijw> (in Russian).
- Palkina D.S. The environmental situation in the regions where Russian nonferrous metallurgy corporations are based. *Ekonomika i ekologiya territorial'nykh obrazovaniy*. 2022; 6(1): 43–54. <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2021-6-1-43-54> <https://elibrary.ru/gwhhti> (in Russian).
- Meshchakova N.M., Shayakhmetov S.F., Rukavyshnikov V.S., Merinov A.V. Assessment of occupational health risk for employees of the main occupations of aluminum production. *Gigiena i sanitaria*. 2020; 99(10): 1106–11. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1106-1111> <https://elibrary.ru/bokzth> (in Russian).
- Yadykina T.K., Mikhailova N.N., Bugaeva M.S., Gorokhova L.G., Kisilitsyna V.V., Danilov I.P., et al. Problems of formation of the toxic hepatopathy forming in the conditions of chronic fluoride intoxication of the body. *Gigiena i sanitaria*. 2021; 100(7): 693–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-7-693-699> <https://elibrary.ru/wpxbio> (in Russian).
- Panev N.I., Korotenko O.Yu., Filimonov S.N., Semenova E.A., Panev R.N. Prevalence of cardiovascular pathology in workers of the aluminum industry. *Gigiena i sanitaria*. 2019; 98(3): 276–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-3-276-279> <https://elibrary.ru/zbzdln> (in Russian).
- Beigel E.A., Katamanova E.V., Kazakova P.V., Shayakhmetov S.F. Assessment of the quality of life related to the health of workers in the aluminium industry with broncholuminal diseases. *Gigiena i sanitaria*. 2021; 100(12): 1412–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-12-1412-1416> <https://elibrary.ru/vlqjel> (in Russian).
- Zaitseva N.V., Onishchenko G.G., May I.V., Shur P.Z. Developing the methodology for health risk assessment within public management of sanitary-epidemiological welfare of the population. *Analiz riska zdorov'yu*. 2022; (3): 4–20. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.01.eng> <https://elibrary.ru/naciyf>
- Popova A.Yu., Gurvich V.B., Kuzmin S.V., Mishina A.L., Yarushin S.V. Modern issues of the health risk assessment and management. *Gigiena i sanitaria*. 2017; 96(12): 1125–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129> <https://elibrary.ru/yqxmne> (in Russian).
- Kuz'min S.V., Gurvich V.B., Dikonskaya O.V., Malykh O.L., Yarushin S.V. Methodology of assessing and evaluating public health risk in legal regulation of sanitary epidemiologic well-being of population. *Meditina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2016; (1): 4–8. <https://elibrary.ru/vrorpz> (in Russian).
- Committee for Environmental Protection and Natural Resources. Report on the state of the environment of the city of Novokuznetsk for 2022; 2023. <https://clck.ru/3DYBzN> (in Russian).
- Myakisheva Yu.V., Fedoseikina I.V., Mikhayluk N.A., Skazkina O.Y., Aleshina Yu.A., Pavlov A.F. Ambient air pollution and population health risks in a contaminated area of a large industrial center. *Zdorov'ye naseleniya i sreda obitaniya — ZNiSO*. 2022; 30(3): 44–52. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-3-44-52> <https://elibrary.ru/vfnfsm> (in Russian).
- Reвич B.A. Urban planning and public health: analytical review. *Analiz riska zdorov'yu*. 2022; (1): 157–69. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.1.17> <https://elibrary.ru/ajevgs>

Оригинальные статьи

Сведения об авторах:

- Суржиков Дмитрий Вячеславович* заведующий лабораторией экологии человека и гигиены окружающей среды, д-р биол. наук, доцент.
E-mail: ecologia_nie@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7469-4178>
- Кислицына Вера Викторовна* ведущий научный сотрудник лаборатории экологии человека и гигиены окружающей, канд. мед. наук.
E-mail: ecologia_nie@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2495-6731>
- Голиков Роман Анатольевич* старший научный сотрудник лаборатории экологии человека и гигиены окружающей среды, канд. мед. наук.
E-mail: ecologia_nie@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3112-2919>
- Ликонцева Юлия Сергеевна* научный сотрудник лаборатории экологии человека и гигиены окружающей среды.
E-mail: ecologia_nie@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8468-2533>
- Штайгер Варвара Адамовна* научный сотрудник лаборатории экологии человека и гигиены окружающей среды.
E-mail: ecologia_nie@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4628-3133>

About the authors:

- Dmitry V. Surzhikov* Head of the Laboratory of Human Ecology and Environmental Hygiene, Dr. of Sci. Biol., Associate Professor.
E-mail: ecologia_nie@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7469-4178>
- Vera V. Kislitsyna* Leading Researcher at the Laboratory of Human Ecology and Environmental Hygiene, Cand. of Sci. (Med.).
E-mail: ecologia_nie@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2495-6731>
- Roman A. Golikov* Senior Researcher at the Laboratory of Human Ecology and Environmental Hygiene, Cand. of Sci. (Med.).
E-mail: ecologia_nie@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3112-2919>
- Yuliya S. Likontseva* Researcher at the Laboratory of Human Ecology and Environmental Hygiene.
E-mail: ecologia_nie@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8468-2533>
- Varvara A. Shtai ger* Researcher at the Laboratory of Human Ecology and Environmental Hygiene.
E-mail: ecologia_nie@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4628-3133>
-