

EDN: <https://elibrary.ru/vohtlm>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-11-722-729>

УДК 613.6.027 + 613.633

© Коллектив авторов, 2024

Зайцева Н.В., Нурисламова Т.В., Зорина А.С., Стенно Е.В., Крылов А.А., Недошитова А.В., Гилева К.О., Сухих Е.А.

Гигиеническая оценка потенциальной опасности воздействия мелкодисперсных частиц и редкоземельных элементов, присутствующих в воздухе рабочей зоны, на работников металлургических предприятий

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»

Роспотребнадзора, ул. Монастырская, 82, Пермь, 614045

Введение. Одним из основных загрязнителей воздуха рабочей зоны предприятий металлургической промышленности являются редкоземельные элементы, которые сорбируются на мелкодисперсных частицах пыли и оказывают негативное влияние на здоровье работников.

Цель исследования — комплексная гигиеническая оценка потенциальной опасности для здоровья работающих мелкодисперсных частиц и редкоземельных элементов (РЗЭ) воздуха рабочей зоны предприятий металлургической промышленности.

Материалы и методы. Проведён отбор проб воздуха рабочей зоны для измерения содержания РЗЭ, пыли и промышленного аэрозоля мелкодисперсных фракций. Оценены уровни содержания РЗЭ в крови работников металлургического предприятия ($n=31$) и группы сравнения ($n=12$). Измерение содержания РЗЭ в воздухе рабочей зоны и крови проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с помощью масс-спектрометра Agilent 7900. Измерение содержания пыли в воздухе рабочей зоны определяли в соответствии с методикой МУК 4.1.2468-09. Определение содержания мелкодисперсных фракций промышленного аэрозоля — анализатором аэрозоля DustTrak 8533.

Результаты. Анализ содержания металлов в воздухе рабочей зоны показал превышение референтных концентраций при хроническом ингаляционном воздействии для церия. В точках с высокими концентрациями металлов преобладает содержание промышленного аэрозоля мелкодисперсной фракции 10 мкм. В период исследования воздуха рабочей зоны были установлены достоверно более высокие концентрации в крови у работников, занятых на производстве, по сравнению с группой сравнения.

Ограничения исследования. Ограничение исследований связано с периодом отбора проб воздуха рабочей зоны, недостаточным количеством проб воздуха рабочей зоны и проб биоматериала. Расширение перечня обследуемых точек на производстве и списка металлургических предприятий, а также увеличение количества обследуемых работников может стать направлением дальнейших исследований по оценке воздействия мелкодисперсных частиц и редкоземельных элементов на работников металлургических предприятий.

Заключение. Поскольку в воздухе рабочей зоны и в крови работников были обнаружены более высокие концентрации РЗЭ по сравнению с контрольной точкой / группой, сокращение воздействия вредных производственных факторов условий труда и производственных процессов с целью сохранения здоровья работающих остаётся актуальным для предприятий металлургической промышленности.

Этика. Исследование проведено с соблюдением этических норм согласно этическим принципам, изложенным в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (ред. 2013 г.). Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора (протокол заседания № 2 от 11.02.2021 г.).

Ключевые слова: воздух рабочей зоны; мелкодисперсные частицы; редкоземельные металлы

Для цитирования: Зайцева Н.В., Нурисламова Т.В., Зорина А.С., Стенно Е.В., Крылов А.А., Недошитова А.В., Гилева К.О., Сухих Е.А. Гигиеническая оценка потенциальной опасности воздействия мелкодисперсных частиц и редкоземельных элементов, присутствующих в воздухе рабочей зоны, на работников горнорудных предприятий. *Мед. труда и пром. экол.* 2024; 64(11): 722–729. <https://elibrary.ru/vohtlm> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-11-722-729>

Для корреспонденции: Зорина Анастасия Сергеевна, e-mail: zorina@fcrisk.ru

Участие авторов:

Зайцева Н.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование;

Нурисламова Т.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование;

Зорина А.С. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, написание текста;

Стенно Е.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование;

Крылов А.А. — сбор материала и обработка данных;

Недошитова А.В. — сбор материала и обработка данных;

Гилева К.О. — сбор материала и обработка данных;

Сухих Е.А. — сбор материала и обработка данных.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Дата поступления: 02.10.2024 / Дата принятия к печати: 03.11.2024 / Дата публикации: 27.11.2024

Nina V. Zaitseva, Tatyana V. Nurislamova, Anastasia S. Zorina, Elena V. Stenno, Aleksey A. Krylov, Anna V. Nedoshitova, Ksenia O. Gileva, Ekaterina A. Sukhikh

Hygienic assessment of the potential danger of exposure to fine particles and rare earth elements present in the workplace air for workers at metallurgical enterprises

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82, Monastyrskaya St, Perm, 614045

Introduction. One of the main air pollutants in the working area of metallurgical enterprises is rare earth elements, which are sorbed on fine dust particles and have a negative impact on the health of workers.

The study aims to carry out a comprehensive hygienic assessment of the potential health hazards of fine particles and rare earth elements (REE) contained in the air of the working area at metallurgical enterprises.

Materials and methods. The specialists have taken samples of the working area air to measure the content of REE, dust and industrial aerosol of small fractions, they have assessed the levels of REE in the blood of employees of the metallurgical enterprise ($n=31$) and the comparison group ($n=12$). The scientists have measured the REE content in the air of the working area and blood using inductively coupled plasma mass spectrometry on an Agilent 7900 mass spectrometer. The authors have measured the dust content in the air of the working area in accordance with the MUK 4.1.2468-09 method and determined the content of fine fractions of industrial aerosol using the DustTrak 8533 aerosol analyzer.

Results. Analysis of the metal content in the air of the working area showed an excess of control concentrations for chronic inhalation exposure to cerium. In points with a high concentration of metals, the content of industrial aerosol of a fine fraction of 10 microns prevails. During the study of the work area, experts found significantly higher concentrations in the blood of workers employed in production, compared with the comparison group.

Limitations. The limitation of research is due to the period of sampling of the working area air, insufficient number of samples of the working area air and samples of biomaterial. The expansion of the list of surveyed points in production and the list of metallurgical enterprises, as well as an increase in the number of surveyed workers, may become a direction for further research to assess the impact of fine particles and rare earth elements on workers of metallurgical enterprises.

Conclusion. Since higher concentrations of REE were found in the air of the work area and in the blood of workers compared to the control point/group, reducing the impact of harmful production factors of working conditions and production processes in order to preserve the health of workers remains relevant for enterprises of the metallurgical industry.

Ethics. The study was conducted in compliance with Ethical standards in accordance with the Ethical principles set out in the Helsinki Declaration of the World Medical Association (ed. 2013). The study was approved by the local Ethical Committee of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Technologies for Public Health Risk Management of Rospotrebnadzor (meeting protocol No. 2 dated 02/11/2021).

Keywords: air of the working area; fine particles; rare earth metals

For citation: Zaitseva N.V., Nurislamova T.V., Zorina A.S., Stenno E.V., Krylov A.A., Nedoshitova A.V., Gileva K.O., Sukhikh E.A. Hygienic assessment of the potential danger of exposure to fine particles and rare earth elements present in the workplace air for workers at metallurgical enterprises. *Med. truda i prom. ecol.* 2024; 64(11): 722–729. <https://elibrary.ru/vohtml> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-11-722-729> (in Russian)

For correspondence: Anastasia S. Zorina, e-mail: zorina@fcrisk.ru

Contribution:

Zaitseva N.V. — concept and design of the study, editing;

Nurislamova T.V. — concept and design of the study, editing;

Zorina A.S. — research concept and design, material collection and data processing, text writing;

Stenno E.V. — concept and design of the study, editing;

Krylov A.A. — material collection and data processing;

Nedoshitova A.V. — material collection and data processing;

Gileva K.O. — material collection and data processing;

Sukhikh E.A. — material collection and data processing.

Funding. The study had no funding.

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

Received: 02.10.2024 / Accepted: 03.11.2024 / Published: 27.11.2024

Введение. Одним из основных производственных факторов неблагоприятного влияния на здоровье работников предприятий металлургической и перерабатывающей промышленности является пыль. Промышленность, в особенности те отрасли, в которых происходит сжигание различных видов топлива и выплавка металлов, является одним из основных источников мелкодисперсных частиц [1]. Мелкодисперсные частицы могут длительное время находиться во взвешенном состоянии и, проникая глубоко в лёгкие, вне зависимости от своего состава представлять опасность для здоровья человека [2, 3]. Исследованиями установлено, что как длительное, так и кратковременное воздействие промышленных аэрозолей может приводить к различным заболеваниям, а также увеличивает риск смертности [4–13].

В настоящее время большое внимание уделяется теме производства и потребления редкоземельных металлов, которые широко используются в современных технологиях. Россия находится на втором месте по объёму запасов и ресурсов РЗМ. Соединения РЗЭ относятся к III–IV классам опасности, в воздухе рабочей зоны находятся в виде аэрозолей и оказывают негативное влияние на здоровье человека. Так в различных исследованиях было показано, что РЗЭ оказывают негативное влияние на сер-

дечно-сосудистую, эндокринную, респираторную, нервную и репродуктивную системы, вызывают нарушения липидного обмена [14–19].

Цель исследования — комплексная гигиеническая оценка потенциальной опасности для здоровья работающих мелкодисперсных частиц и РЗЭ воздуха рабочей зоны предприятий металлургической промышленности (на примере Соликамского магниевого завода Пермского края).

Материалы и методы. Отбор проб воздуха рабочей зоны проведён на четырёх рабочих местах. Для сравнительной оценки в качестве точки сравнения было выбрано помещение, изолированное от производства (здравпункт). Обследованы работники металлургического предприятия, занятые на разных этапах получения соединений редкоземельных элементов ($n=31$). Ввиду отсутствия установленных нормативов содержания РЗЭ для биосред полученные концентрации сравнивались с уровнями содержания элементов в крови работников группы сравнения, в которую вошли лица, не занятые на прямом производстве ($n=12$).

Измерение содержания РЗЭ в воздухе рабочей зоны и крови проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) с помощью масс-спектрометра Agilent 7900 (производство «Agilent

Technologies Inc.», США). Измерение массовых концентраций РЗЭ в воздухе рабочей зоны выполняли в соответствии с методиками: МУК 4.1.3741-22 и МУК 4.1.3743-22. Измерение массовых концентраций РЗЭ в крови выполняли в соответствии с методикой МУК 4.1.3851-23.

Измерение содержания пыли в воздухе рабочей зоны определяли в соответствии с методикой МУК 4.1.2468-09. Определение содержания мелкодисперсных частиц промышленного аэрозоля (1 мкм, 2,5 мкм, 4 мкм, 10 мкм) в воздухе рабочей зоны выполнялось анализатором аэрозоля DustTrak 8533 (TSI Incorporated, США). Отбор проб проводился в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88. Длительность отбора составила 15 минут. Всего на каждой точке было отобрано по 4 пробы пыли и проведено по 4 замера на мелкодисперсные частицы.

Морфологический состав мелкодисперсных частиц, отобранных на фильтры, определяли методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на сканирующем микроскопе JSM-63090LV (JEOL, Япония). Анализ изображений для получения количественных характеристик проведен при помощи программного обеспечения ImageJ-Fiji (программное обеспечение с открытым кодом, разработчик Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA).

Результаты. Результаты анализа разовых проб воздуха рабочей зоны по содержанию РЗЭ в пересчете на вещества (оксиды), а также Гигиенические нормативы для химических факторов производственной среды в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21¹, референтные концентрации при хроническом ингаляционном воздействии (RfC_{хр}) в соответствии с Руководством Р 2.1.10.1920-04² представлены в **таблице 1**.

Полученные результаты определения разовых массовых концентраций исследуемых РЗЭ (в пересчете на их оксиды) в воздухе рабочей зоны не превышают значений ПДК и ОБУВ. Превышение референтных концентраций при хроническом ингаляционном воздействии обнаружено для церия (в 15–247 раз) во всех проанализированных пробах воздуха рабочей зоны.

На участке карбонизации (точка № 1) были обнаружены все 15 элементов, из них 10 элементов выше НПО. При этом содержание РЗЭ в точке № 1 было в 80–520 раз выше, чем в точке сравнения (точка № 5). В точках № 2 (баки растворения) и № 4 (участок ректификации 3 отделения) были обнаружены также все 15 элементов, но только 7 из них выше НПО. На участке ректификации 3 отделения (точка № 4) обнаружено превышение массовых концентраций РЗЭ по сравнению с их содержанием в точке сравнения в 22–33 раза. В точке № 2 (баки растворения) обнаружено превышение массовых концентраций РЗЭ по сравнению с их содержанием в точке сравнения в 13–18 раз. В точке № 3 (участок ректификации 2 отделения) было обнаружено 13 из 15 элементов и только 4 выше НПО. При этом превышения массовой концентрации РЗЭ по сравнению с точкой сравнения были не такими значительными, как для точек № 1 (участок карбонизации), № 2 (баки растворения) и № 4 (участок ректификации 3 отделения): лантана в 2 раза, церия в 18 раз и празеодима в 1,8 раза.

¹ Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Постановление Роспотребнадзора от 28.01.2021 г. № 2.

² Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04

Исследование содержания общей пыли показало, что в воздухе рабочей зоны на всех исследованных рабочих местах уровни содержания пыли были выше относительно точки сравнения в 2,8–4,3 раза (**табл. 2**). Самой запылённой точкой оказалась точка № 2 (баки растворения).

В воздухе рабочей зоны на всех исследованных рабочих местах уровни содержания мелкодисперсных фракций промышленного аэрозоля были выше относительно точки сравнения в 3,3–15,9 раза для частиц 1 мкм, в 4,5–17,3 раза для частиц 2,5 мкм, в 5,3–14,5 раза для частиц 4 мкм, в 3,1–7 раз для частиц 10 мкм (**табл. 3**).

При этом процентное соотношение мелкодисперсных фракций промышленного аэрозоля на рабочих местах было разным (**табл. 4**).

На наиболее загрязнённом редкоземельными элементами рабочем месте (участок карбонизации, точка № 1) наблюдалось преобладание мелкодисперсных частиц 10 мкм по сравнению с другими фракциями. На втором по загрязнённости РЗЭ рабочем месте (участок ректификации 3 отделения, точка № 4) частицы 1 мкм и частицы 10 мкм имели примерно равное соотношение и их сумма составила 82,5%. Можно предположить, что РЗЭ в воздухе рабочей зоны в большей степени представлены более крупными частицами.

В воздухе рабочей зоны обнаружены достоверно более сферичные частицы, чем в точке сравнения (**табл. 5**).

Данные по определению содержания РЗЭ в крови группы наблюдения и группы сравнения приведены в **таблице 6**.

В крови работников металлургического предприятия обнаружены достоверные превышения массовых концентраций для лантана, церия, европия, гадолиния, диспрозия, эрбия, иттербия, а также суммы РЗЭ по сравнению со значениями группы сравнения.

Обсуждение. Основным видом сырья для производства соединений РЗЭ является лопарит. Среди РЗЭ в лопарите преобладает цериевая группа, а именно, оксиды церия и лантана³. Анализ данных показал, что наибольшие концентрации в воздухе рабочей зоны (**табл. 1**) определены для церия и лантана, что объясняется их преобладанием в исходном сырье (лопарите).

Известно, что мелкодисперсные частицы различного размера имеют разные физические свойства [2]. Было показано, что наиболее загрязнённые редкоземельными элементами точки на производстве характеризуются большим содержанием мелкодисперсных частиц промышленного аэрозоля размером 10 мкм. Это может быть связано с образованием вторичных частиц в результате агрегации более мелких первичных частиц, взвешенных в воздухе рабочей зоны, что подтверждается аналогичными исследованиями [3, 20].

В зависимости от особенностей и характера производства изменяется не только химический, но и физический состав мелкодисперсных фракций пыли. В воздухе рабочей зоны были обнаружены достоверно более сферичные частицы, чем в точке сравнения, не связанной с производством. На выбранных для отбора точках производственный процесс характеризуется жидкостной системой конденсации парогазовой смеси, полученной после хлорирования, с последующей ректификационной очисткой хлоридов РЗЭ. Таким образом, на данных этапах производственного процесса аэрозоли воздуха рабочей зоны представлены

³ Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов. М.: Металлургия; 1991

Таблица 1 / Table 1

Содержание РЗЭ в воздухе рабочей зоны
Content of rare earth elements in the workplace air

Элемент	Место отбора					ПДК	ОБУВ	RfCхр
	Точка № 1 (участок карбонизации)	Точка № 2 (баки растворения)	Точка № 3 (участок ректификации 2 отделения)	Точка № 4 (участок ректификации 3 отделения)	Точка № 5 (здравпункт)			
	Концентрация, мг/м³							
Иттрий	4,0×10 ⁻⁵ ±1,0×10 ⁻⁵	<1,0×10 ⁻⁵ (~4,0×10 ⁻⁶)	<1,0×10 ⁻⁵ (~7,0×10 ⁻⁷)	<1,0×10 ⁻⁵ (~5,0×10 ⁻⁶)	<1,0×10 ⁻⁵ (~5,0×10 ⁻⁷)	2 (м.р.)	—	—
Лантан	2,5×10 ⁻² ±0,6×10 ⁻² (p=0,009)	1,4×10 ⁻³ ±0,3×10 ⁻³ (p=0,008)	1,8×10 ⁻⁴ ±0,4×10 ⁻⁴ (p=0,02)	2,7×10 ⁻³ ±0,7×10 ⁻³ (p=0,01)	9,0×10 ⁻⁵ ±2,0×10 ⁻⁵	—	6	—
Церий	4,7×10 ⁻² ±1,1×10 ⁻² (p=0,009)	2,8×10 ⁻³ ±0,6×10 ⁻³ (p=0,008)	3,5×10 ⁻⁴ ±0,8×10 ⁻⁴ (p=0,03)	5,0×10 ⁻³ ±1,0×10 ⁻³ (p=0,007)	1,9×10 ⁻⁴ ±0,4×10 ⁻⁴	5 (м.р.)	—	0,0002
Празеодим	4,6×10 ⁻³ ±1,0×10 ⁻³	3,1×10 ⁻⁴ ±0,7×10 ⁻⁴	3,4×10 ⁻⁵ ±0,7×10 ⁻⁵	5,2×10 ⁻⁴ ±1,0×10 ⁻⁴	<3,0×10 ⁻⁵ (~2,0×10 ⁻⁵)	—	6	—
Неодим	1,0×10 ⁻² ±0,2×10 ⁻² (p=0,0001)	7,0×10 ⁻⁴ ±2,0×10 ⁻⁴ (p=0,01)	8,0×10 ⁻⁵ ±2,0×10 ⁻⁵ (p=0,03)	1,3×10 ⁻³ ±0,3×10 ⁻³ (p=0,009)	4,0×10 ⁻⁵ ±1,0×10 ⁻⁵	—	6	—
Самарий	9,0×10 ⁻⁴ ±2,0×10 ⁻⁴	5,7×10 ⁻⁵ ±1,0×10 ⁻⁵	<7,0×10 ⁻⁶ (~6,0×10 ⁻⁶)	1,0×10 ⁻⁴ ±0,2×10 ⁻⁴	<7,0×10 ⁻⁶ (~4,0×10 ⁻⁶)	5 (м.р.)	—	—
Европий	1,6×10 ⁻⁴ ±0,4×10 ⁻⁴	9,5×10 ⁻⁶ ±2,0×10 ⁻⁶	<7,0×10 ⁻⁶ (~1,0×10 ⁻⁶)	1,7×10 ⁻⁵ ±0,4×10 ⁻⁵	<7,0×10 ⁻⁶ (~6,0×10 ⁻⁷)	—	6	—
Гадолиний	4,2×10 ⁻⁴ ±0,8×10 ⁻⁴	2,5×10 ⁻⁵ ±0,5×10 ⁻⁵	<7,0×10 ⁻⁶ (~3,0×10 ⁻⁶)	4,3×10 ⁻⁵ ±0,9×10 ⁻⁵	<7,0×10 ⁻⁶ (~2,0×10 ⁻⁶)	—	4	—
Тербий	2,7×10 ⁻⁵ ±0,6×10 ⁻⁵	<7,0×10 ⁻⁶ (~2,0×10 ⁻⁶)	<7,0×10 ⁻⁶ (~2,0×10 ⁻⁷)	<7,0×10 ⁻⁶ (~3,0×10 ⁻⁶)	<7,0×10 ⁻⁶ (~1,0×10 ⁻⁷)	—	4	—
Диспрозий	4,3×10 ⁻⁵ ±0,8×10 ⁻⁵	<1,0×10 ⁻⁵ (~3,0×10 ⁻⁶)	<1,0×10 ⁻⁵ (~4,0×10 ⁻⁷)	<1,0×10 ⁻⁵ (~6,0×10 ⁻⁶)	<1,0×10 ⁻⁵ (~2,0×10 ⁻⁷)	—	4	—
Гольмий	<7,0×10 ⁻⁶ (~5,0×10 ⁻⁶)	<7,0×10 ⁻⁶ (~4,0×10 ⁻⁷)	<7,0×10 ⁻⁶ (~3,0×10 ⁻⁸)	<7,0×10 ⁻⁶ (~5,0×10 ⁻⁷)	<7,0×10 ⁻⁶ (н/о)	—	4	—
Эрбий	<7,0×10 ⁻⁶ (~6,0×10 ⁻⁶)	<7,0×10 ⁻⁶ (~6,0×10 ⁻⁷)	<7,0×10 ⁻⁶ (~1,0×10 ⁻⁶)	<7,0×10 ⁻⁶ (~7,0×10 ⁻⁷)	<7,0×10 ⁻⁶ (~6,0×10 ⁻⁸)	—	4	—
Тулий	<7,0×10 ⁻⁶ (~4,0×10 ⁻⁶)	<7,0×10 ⁻⁶ (~3,0×10 ⁻⁸)	<7,0×10 ⁻⁶ (н/о)	<7,0×10 ⁻⁶ (~3,0×10 ⁻⁸)	<7,0×10 ⁻⁶ (н/о)	—	4	—
Иттербий	<7,0×10 ⁻⁶ (~2,0×10 ⁻⁶)	<7,0×10 ⁻⁶ (~2,0×10 ⁻⁷)	<7,0×10 ⁻⁶ (н/о)	<7,0×10 ⁻⁶ (~2,0×10 ⁻⁷)	<7,0×10 ⁻⁶ (н/о)	—	4	—
Лютеций	<7,0×10 ⁻⁶ (~2,0×10 ⁻⁷)	<7,0×10 ⁻⁶ (~3,0×10 ⁻⁸)	<7,0×10 ⁻⁶ (~1,0×10 ⁻⁸)	<7,0×10 ⁻⁶ (~3,0×10 ⁻⁸)	<7,0×10 ⁻⁶ (н/о)	—	4	—
Сумма РЗЭ	8,9×10 ⁻²	5,3×10 ⁻³	6,5×10 ⁻⁴	9,8×10 ⁻³	3,5×10 ⁻⁴	—	—	—

Примечание: н/о — не обнаружено, м.р. — максимальная разовая концентрация.

Note: н/о — not detected, м.р. — maximum single concentration.

Таблица 2 / Table 2

Результаты анализа воздуха рабочей зоны по содержанию общей пыли
Results of analysis of the workplace air for dust

Показатель	Место отбора				
	Точка № 1 (участок карбонизации)	Точка № 2 (баки растворения)	Точка № 3 (участок ректификации 2 отделения)	Точка № 4 (участок ректификации 3 отделения)	Точка № 5 (здравпункт)
Пыль, мг/м ³	0,595±0,143	0,605±0,145	0,395±0,095	0,430±0,103	0,140±0,034

аэрозолями конденсации. В научной литературе представлены данные, подтверждающие, что сферические частицы обычно образуются на производствах, связанных с темпе-

ратурной обработкой металлов [21]. При этом ряд авторов указывает, что более сферичные частицы имеют меньшую площадь поверхности, хуже проникают в лёгкие

Таблица 3 / Table 3

Результаты анализа воздуха рабочей зоны по содержанию мелкодисперсных частиц промышленного аэрозоля
Results of analysis of the workplace air for dust content

Место отбора	Частицы 1 мкм, мг/м³	Частицы 2,5 мкм, мг/м³	Частицы 4 мкм, мг/м³	Частицы 10 мкм, мг/м³
Точка № 1 (участок карбонизации)	0,026±0,005	0,045±0,009	0,069±0,014	0,197±0,039
Точка № 2 (баки растворения)	0,127±0,025	0,173±0,035	0,188±0,038	0,237±0,047
Точка № 3 (участок ректификации 2 отделения)	0,056±0,011	0,078±0,016	0,083±0,016	0,105±0,021
Точка № 4 (участок ректификации 3 отделения)	0,067±0,013	0,084±0,016	0,097±0,019	0,171±0,034
Точка № 5 (здравпункт)	0,008±0,002	0,01±0,002	0,013±0,003	0,034±0,007

Таблица 4 / Table 4

Процентное соотношение мелкодисперсных фракций
Percentage of fine fractions

Место отбора	Частицы 1 мкм, мг/м³	Частицы 2,5 мкм, мг/м³	Частицы 4 мкм, мг/м³	Частицы 10 мкм, мг/м³
Точка № 1 (участок карбонизации)	13,2	9,6	12,2	65,0
Точка № 2 (баки растворения)	53,6	19,4	6,3	20,7
Точка № 3 (участок ректификации 2 отделения)	53,3	21,0	4,7	21,0
Точка № 4 (участок ректификации 3 отделения)	39,2	9,9	7,6	43,3
Точка № 5 (здравпункт)	23,5	5,9	8,8	61,8

Таблица 5 / Table 5

Характеристика сферичности частиц воздуха рабочей зоны на двух рабочих местах и воздуха точки сравнения
Characteristics of the sphericity of particles in the workplace air at two workplaces and the air at the control point

Маркировка образца	Показатель			
	Среднее значение	Медиана	Минимальное значение	Максимальное значение
Точка № 1 (участок карбонизации)	0,6598* (<i>p</i> -value=6,1941×10 ⁻⁸)	0,702±0,520	0,040	0,996
Точка № 2 (баки растворения)	0,6856** (<i>p</i> -value=2,9334×10 ⁻⁹⁵)	0,716±0,536	0,058	0,998
Точка № 5 (здравпункт)	0,5256*** (<i>p</i> -value=0,0001)	0,513±0,283	0,024	0,997

и в меньшей степени оказывают физическое повреждающее действие на мягкие ткани, по сравнению с частицами неправильной формы [22, 23]. Однако существует противоположное мнение, что сферические частицы лучше проникают в глубокие отделы лёгких [24]. Учитывая противоречивость данных относительно проникновения частиц разной формы в глубокие отделы лёгких, можно допустить, что токсичность мелкодисперсных фракций промышленного аэрозоля металлургического предприятия в большей степени будет определяться химическим составом частиц.

Для подтверждения данного утверждения необходимо проведение дополнительных исследований. Основным путём поступления РЗЭ в организм работников является ингаляционный. Обнаруженные концентрации этих металлов в воздухе рабочей зоны обуславливают их повышенные уровни содержания в крови работников, занятых на производстве, в сравнении с группой сравнения. Так более высокие по сравнению с другими РЗЭ концентрации церия в воздухе рабочей зоны (до 0,047 мг/м³) определяют и более высокое его со-

Таблица 6 / Table 6

Массовая концентрация редкоземельных элементов в крови экспонируемых и неэкспонируемых работников, Me (25;75), мкг/дм³

Массовая концентрация редкоземельных элементов в крови экспонируемых и неэкспонируемых работников, Me (25;75), мкг/дм³

Ингредиент	Медиана (25;75)		Достоверность различий
	Группа наблюдения	Группа сравнения	
Иттрий	0,058 (0,043;0,070)	0,054 (0,05;0,061)	0,17
Лантан	0,101 (0,070;0,117)	0,069 (0,058;0,080)	0,001
Церий	0,118 (0,089;0,142)	0,082 (0,076;0,097)	0,001
Празеодим	0,012 (0,007;0,022)	0,012 (0,010;0,015)	0,29
Неодим	0,054 (0,044;0,079)	0,051 (0,046;0,059)	0,07
Самарий	0,012 (0,007;0,022)	0,014 (0,009;0,018)	0,27
Европий	0,0020 (0,0015;0,0030)	0,0013 (0,0009;0,0020)	0,001
Гадолиний	0,014 (0,005;0,019)	0,007 (0,006;0,008)	0,0001
Тербий	0,0015 (0,0010;0,0023)	0,0015 (0,0014;0,0025)	0,45
Диспрозий	0,014 (0,006;0,018)	0,0055 (0,0041;0,0073)	0,00003
Гольмий	0,0015 (0,001;0,002)	0,0018 (0,0015;0,0025)	0,06
Эрбий	0,0045 (0,0028;0,0070)	0,0043 (0,0033;0,0051)	0,04
Тулий	0,0005 (0,0003;0,0013)	0,0005 (0,0005;0,0005)	0,10
Иттербий	0,0045 (0,0025;0,0070)	0,0033 (0,0030;0,0055)	0,05
Лютеций	0,0005 (0;0,0005)	0,0005 (0,0004;0,0005)	0,42
Сумма РЗЭ	0,411 (0,306;0,485)	0,316 (0,271;0,348)	0,002

держание в крови работников, занятых на предприятии (до 0,359 мкг/дм³).

Заключение. Анализ содержания металлов в воздухе рабочей зоны показал превышение референтных концентраций при хроническом ингаляционном воздействии для церия. В период исследования воздуха рабочей зоны были установлены достоверно более высокие концентрации в крови у работников, занятых на производстве, по сравнению с группой сравнения. Поскольку РЗЭ являются токсичными элементами, способными оказывать негативное воздействие на здоровье человека, для предприятий металлургической промышленности актуальным вопросом остаётся сокращение

воздействия вредных производственных факторов условий труда и производственных процессов с целью сохранения здоровья работающих.

В воздухе рабочей зоны обнаружены более сферичные частицы. В точках с высокими концентрациями металлов преобладает содержание мелкодисперсной фракции размером 10 мкм, что позволяет предположить, что РЗЭ в воздухе рабочей зоны представлены более крупными аэрозольными частицами. Для подтверждения этого предположения необходимо проведение дополнительных исследований по фракционированию воздуха рабочей зоны с последующим исследованием наличия РЗЭ в каждой фракции.

Список литературы (пп. 1–8, 13–18, 21–24 см. References)

- Федотов В.Д. Сравнительная динамика показателей спирографии у больных с различной патологией бронхолегочной системы профессиональной этиологии. *Астраханский медицинский журнал*. 2023; 18(1): 88–96. <https://doi.org/10.29039/1992-6499-2023-1-88-96>
- Садурдинова Г.Р., Шайхисламова Э.Р., Масагутова Л.М., Ахметшина В.Т., Рафикова Л.А., Музафарова А.Р. Цитотоксические эффекты в букальных эпителиоцитах у работников горнорудной промышленности в возрасте до 30 лет. *Научное обозрение*. 2024; 1: 10–15. <https://doi.org/10.17513/srms.1379>
- Дайхес Н.А., Федина И.Н., Учуров А.Г., Бомштейн Н.Г., Панкова В.Б. Особенности ранней диагностики патологии верхнего отдела респираторного тракта на фоне пылевой нагрузки. *Российская ринология*. 2023; 31(2): 144–150. <https://doi.org/10.17116/rostrino202331021144>
- Чеботарев А.Г., Семенцова Д.Д. Комплексная оценка условий труда и состояния профессиональной заболеваемости работников горно-металлургических предприятий. *Горная промышленность*. 2021; 1: 114–119. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-114-119>
- Землянова М.А., Пескова Е.В., Кольдибекова Ю.В., Недошитова А.В., Ухабов В.М. Биохимические показатели липидного обмена у работников, занятых в производстве продукции из редкоземельных металлов. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(5): 433–438. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-5-433-438>
- Голохваст К.С., Кириченко К.Ю., Кикун П.Ф., Ефимова Н.В., Савченков М.Ф., Вахнюк И.А., и др. Содержание нано- и микрочастиц в воздухе рабочей зоны гальванического производства: плотное исследование. *Анализ риска здоровью*. 2019; 3: 34–41. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.04>

References

1. Cai A., Zhang H., Wang Q., Wu X. Source apportionment and health risk assessment of heavy metals in PM_{2.5} in Handan: A typical heavily polluted city in North China. *Atmosphere*. 2021; 12(10): 1232. <https://doi.org/10.3390/atmos12101232>
2. Cherian D., Hyun K.Y., Jaegoo H., Choi J. Assessing the distributional characteristics of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ exposure profile produced and propagated from a construction activity. *J. Clean. Prod.* 2020; 276: 124335. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124335>
3. Kim B.W., Cha W., Choi S., Shin J., Choi B.S., Kim M. Assessment of occupational exposure to indium dust for indium-tin-oxide manufacturing workers. *Biomolecules*. 2021; 11(3): 419. <https://doi.org/10.3390/biom11030419>
4. Luna-Carrascal J., Olivero-Verbel J., Acosta-Hoyos A.J., Quintana-Sosa M. Auto repair workers exposed to PM_{2.5} particulate matter in Barranquilla, Colombia: Telomere length and hematological parameters. *Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.* 2023; 887: 503597. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2023.503597>
5. Abdel-Rasoul G.M., Abu-Salem M.E., Salem E.A.-A., Younis F.E., Abdel-Monaem A., Allam H.K. Respiratory health disorders among workers in some Egyptian welding enterprises. *Toxicol. Ind. Health.* 2022; 38(12): 074823372110649. <https://doi.org/10.1177/07482337211064950>
6. Hua J.T., Zell-Baran L., Go L.H.T., Kramer M.R., Van Bree J.B., Chambers D., et al. Demographic, exposure and clinical characteristics in a multinational registry of engineered stone workers with silicosis. *J. Occup. Environ. Med.* 2022; 79(9): 586–593. <https://doi.org/10.1136/oemed-2021-108190>
7. Lenander-Ramirez A., Bryngelsson I.-L., Vihlborg P., Westberg H., Andersson L. Respirable dust and silica. Respiratory diseases among Swedish iron foundry workers. *J. Occup. Environ. Med.* 2022; 64(7): 593–598. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000002533>
8. Neophytou A.M., Ferguson J.M., Costello S., Picciotto S., Balmes J.R., Koutros S., et al. Diesel exhaust and respiratory dust exposure in miners and chronic obstructive pulmonary disease (COPD) mortality in DEMS II. *Environ. Int.* 2024; 185: 108528. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108528>
9. Fedotov V.D. Comparative dynamics of spirometry indicators in patients with different occupational pathologies of the bronchopulmonary system. *Astrakhanskij meditsinskij zhurnal.* 2023; 18(1): 88–96. <https://doi.org/10.29039/1992-6499-2023-1-88-96> (in Russian).
10. Sadrtidina G.R., Shajhislamova Je.R., Masjagutova L.M., Ahmetshina V.T., Rafikova L.A., Muzafarova A.R. Cytotoxic effects in buccal epithelial cells of mining workers under 30 years of age. *Nauchnoe obozrenie.* 2024; 1: 10–15. <https://doi.org/10.17513/srms.1379> (in Russian).
11. Daikhes N.A., Fedina I.N., Uchurov A.G., Bomshteyn N.G., Pankova V.B. Features of early diagnosis of the upper airways pathology affected by dust load. *Rossiyskaya rinologiya.* 2023; 31(2): 144–150. <https://doi.org/10.17116/rostrino202331021144> (in Russian).
12. Chebotarev A.G., Sementsova D.D. Comprehensive assessment of working conditions and occupational disease rates at mining and metallurgical enterprises. *Gornaya promyshlennost'.* 2021; 1: 114–119. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-114-119> (in Russian).
13. Andersson E., Sallsten G., Lohman S., Neitzel R., Toren K. Lung function and paper dust exposure among workers in a soft tissue paper mill. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* 2019; 93(1): 105–110. <https://doi.org/10.1007/s00420-019-01469-6>
14. Zhong Q., Cao M., Gu Y., Fang Y., Zhong T., Xie J., et al. Hypertension risk is associated with elevated concentrations of rare earth elements in serum. *J. Trace. Elem. Med. Biol.* 2022; 74: 127084. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2022.127084>
15. Zhao A.N., Yin H.J., Fan M.G., Zhang Z., Li N., Ma T. Study on lung injury induced by rare earth samarium oxide particles in rats. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi.* 2021; 39(12): 881–886. <https://doi.org/10.3760/cmaj.cn121094-20200622-00354>
16. Guo C., Wei Y., Yan L., Li Z., Qian Y., Liu H., et al. Rare earth elements exposure and the alteration of the hormones in the hypothalamic-pituitary-thyroid (HPT) axis of the residents in an e-waste site: A cross-sectional study. *Chemosphere.* 2020; 252: 126488. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126488>
17. Xiao X., Yong L., Jiao B., Yang H., Liang C., Jia X., et al. Postweaning exposure to lanthanum alters neurological behavior during early adulthood in rats. *Neurotoxicology.* 2021; 83: 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2020.12.012>
18. Lee W.Y., Park H.J. Toxicity of cerium oxide nanoparticles on neonatal testicular development in mouse organ culture. *Reprod. Toxicol.* 2022; 111: 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2022.05.014>
19. Zemlyanova M.A., Peskova E.V., Koldibekova J.V., Nedoshitova A.V., Ukhavov V.M. Biochemical indicators of the lipid metabolism in workers involved in the processing of raw materials and production of rare metal products. *Hygiene and Sanitation.* 2023; 102(5): 433–438. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-5-433-438> (in Russian).
20. Golokhvast K.S., Kirichenko K.Y., Kiku P.F., Efimova N.V., Savchenkov M.F., Vakhnyuk I.A., et al. Nano- and micro-particles concentrations in working area air at galvanic production: pilot research. *Health Risk Analysis.* 2019; 3: 34–41. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.04> (in Russian).
21. Castanheiro A., Wuyts K., Hofman J., Nuyts G., De Wael K., Samson R. Morphological and elemental characterization of leaf-deposited particulate matter from different source types: a microscopic investigation. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2021; 28: 25716–25732. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12369-z>
22. Wu Y., Wang M., Luo S., Gu Y., Nie D., Xu Z., et al. Comparative toxic effects of manufactured nanoparticles and atmospheric particulate matter in human lung epithelial cells. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021; 18: 22. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010022>
23. Feng Y., Kleinstreuer C. Analysis of non-spherical particle transport in complex internal shear flows. *Phys. Fluids.* 2013; 25(9): 091904. <https://doi.org/10.1063/1.4821812>
24. Jia L., Zhang L., Yu S. Deposition of non-spherical microparticles in the human upper respiratory tract. *Particuology.* 2018; 36: 185–189. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2017.06.009>

Сведения об авторах:

- Зайцева Нина Владимировна* научный руководитель, академик РАН, д-р мед. наук, профессор.
E-mail: root@fcrisk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>
- Нурисламова Татьяна Валентиновна* заведующий отделом, д-р биол. наук, доцент.
E-mail: nurtat@fcrisk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2344-3037>
- Зорина Анастасия Сергеевна* заведующий лабораторией, канд. биол. наук.
E-mail: zorina@fcrisk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4276-9921>
- Стенно Елена Вячеславовна* заведующий лабораторией.
E-mail: steno@fcrisk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5772-2379>
- Крылов Алексей Александрович* младший научный сотрудник.
E-mail: Krylov@fcrisk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8931-0539>
- Недошитова Анна Владимировна* старший научный сотрудник.
E-mail: nav@fcrisk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6514-7239>
- Гилева Ксения Олеговна* научный сотрудник, канд. хим. наук.
E-mail: ksenimanilova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6898-3646>
- Сухих Екатерина Александровна* младший научный сотрудник.
E-mail: suhih@fcrisk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3787-6746>

About the authors:

- Nina V. Zaitseva* Scientific Director, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Med.), Professor.
E-mail: root@fcrisk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>
- Tatyana V. Nurislamova* Head of Department, Dr. of Sci. (Biol.), Docent.
E-mail: nurtat@fcrisk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2344-3037>
- Anastasia S. Zorina* Head of the Laboratory, Cand. of Sci. (Biol.).
E-mail: zorina@fcrisk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4276-9921>
- Elena V. Stenno* Head of the Laboratory.
E-mail: steno@fcrisk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5772-2379>
- Aleksey A. Krylov* Junior Researcher.
E-mail: Krylov@fcrisk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8931-0539>
- Anna V. Nedoshitova* Senior Researcher.
E-mail: nav@fcrisk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6514-7239>
- Ksenia O. Gileva* Researcher, Cand. of Sci. (Chem.).
E-mail: ksenimanilova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6898-3646>
- Ekaterina A. Sukhikh* Junior Researcher.
E-mail: suhih@fcrisk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3787-6746>