



Характеристика аэрозольной нагрузки на участках литейного производства предприятия машиностроения

М.А. Волкова¹, Г.А. Тимербулатова^{1,2}, Л.И. Яппарова¹, Ю.М. Файзова^{1,3}, Л.М. Фатхутдинова¹

¹ ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Бутлерова, д. 49, Казань, 420012, Российская Федерация

² ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)», ул. Сеченова, д. 13а, Казань, 420061, Российская Федерация;

³ ООО «Клиника-санаторий Набережные Челны», пр. Чулман, д. 61/4, г. Набережные Челны, 423800, Российская Федерация

Резюме

Введение. В результатах ранее проведенных исследований отсутствуют комплексные данные о составе промышленных аэрозолей современных литейных производств, что ограничивает возможности разработки адресных профилактических программ, учитывающих произошедшие за последние годы изменения производства.

Цель исследования: углубленная характеристика качественного и количественного состава аэрозолей в воздухе рабочей зоны на различных производственных участках литейного завода предприятия автомобилестроения.

Материалы и методы. Исследование проводилось на производствах чугунного и цветного литья (плавильный, литейные, формовочный, стержневой, обрубочный участки). Пробы воздуха рабочей зоны отбирались одновременно в одних и тех же точках для определения среднесменной концентрации, фракционного и химического состава аэрозолей, содержания летучих органических соединений. Отбор проб проводился на кварцевые фильтры и картриджи с угольным абсорбентом с использованием индивидуальных пробоотборников, а для изучения фракционного состава аэрозоля – на поливинилхлоридные фильтры с использованием 8-ступенчатого каскадного импактора в аэродинамическом диапазоне менее 18 мкм.

Результаты. Воздух рабочей зоны литейного производства загрязнен промышленными аэрозолями сложного состава. На всех исследованных участках взвешенные частицы, способные депонироваться в дыхательной системе, представлены респираторными частицами и мелкодисперсной (10–18 мкм) частью экстраторакальной фракции. Выявлена высокая доля ультрадисперсных частиц в составе респираторной фракции на плавильном и литейных участках. Содержание диоксида кремния не превышало 10 %. В пробах воздуха рабочей зоны обнаружены летучие органические соединения, обладающие раздражающим и sensibilizing действием, а также отдаленными мутагенными, канцерогенными эффектами, потенциальной репродуктивной токсичностью.

Заключение. Комбинированное воздействие аэрозолей фиброгенного характера, токсичных металлов и летучих органических соединений может повышать риски развития заболеваний органов дыхания. Наличие ультрадисперсной фракции обуславливает повышенную биологическую активность аэрозоля. Необходимы эпидемиологические исследования, а также разработка комплексных профилактических программ, учитывающих особенности современных литейных производств.

Ключевые слова: литейное производство, аэрозоли в воздухе рабочей зоны, вдыхаемая, экстраторакальная, респираторная и ультрадисперсная фракции, диоксид кремния, металлы, летучие органические соединения, каскадный импактор, хромато-масс-спектрометрия.

Для цитирования: Волкова М.А., Тимербулатова Г.А., Яппарова Л.И., Файзова Ю.М., Фатхутдинова Л.М. Характеристика аэрозольной нагрузки на участках литейного производства предприятия машиностроения // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 7. С. 61–71. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-7-61-71

Characteristics of Aerosol Loading at Foundry Sites of an Automotive Industry Plant

Maria A. Volkova,¹ Guzel A. Timerbulatova,^{1,2} Laila I. Yapparova,¹ Yulia M. Faizova,^{1,3} Liliya M. Fatkhutdinova¹

¹ Kazan State Medical University, 49 Butlerov Street, Kazan, 420012, Russian Federation

² Center for Hygiene and Epidemiology in the Republic of Tatarstan, 13a Sechenov Street, Kazan, 420061, Russian Federation

³ Naberezhnye Chelny Clinic and Health Resort, 61/4 Chulman Ave., Naberezhnye Chelny, 423800, Russian Federation

Summary

Introduction: The results of previous studies lack comprehensive data on the composition of industrial aerosols at modern foundries, which limits opportunities of developing targeted preventive programs in view of recent technological changes.

Objective: An in-depth characterization of the qualitative and quantitative composition of aerosols in the workplace air at various production sites of the foundry of an automotive industry plant.

Materials and methods: The study was conducted at iron and non-ferrous casting production facilities (smelting, casting, molding, core, and chipping sections). Workplace air samples were taken simultaneously at the same sites to establish the 8-hour time-weighted average concentration, fractional and chemical composition of aerosols, and concentrations of volatile organic compounds. Sampling was carried out on quartz filters and cartridges with carbon absorbent using personal samplers and on polyvinylchloride filters using an 8-stage cascade impactor to determine particle size distribution in the aerodynamic range of less than 18 μm.

Results: The workplace air at the foundry was contaminated with industrial aerosols of complex composition. At all the sites, suspended particles capable of being deposited in the respiratory system were represented by the respirable fraction and the finely dispersed (10 to 18 μm) part of the extrathoracic fraction. We found a high proportion of ultrafine particles in the smelting and casting areas. The proportion of silica dust was within 10 %. Volatile organic compounds causing irritation and sensitization, having remote mutagenic and carcinogenic effects and potential reproductive toxicity were found in the air samples.

Conclusions: Combined exposures to fibrogenic aerosols, toxic metals, and volatile organic compounds may increase the risk of respiratory diseases. The presence of an ultrafine fraction accounts for increased biological activity of the aerosol. Epidemiological studies are needed, as well as the development of comprehensive preventive programs that consider specifics of modern foundries.

Keywords: foundry, workplace aerosols, inhalable, extrathoracic, respirable and ultrafine fractions, silica, metals, volatile organic compounds, cascade impactor, chromatography-mass spectrometry.

Cite as: Volkova MA, Timerbulatova GA, Yapparova LI, Faizova YuM, Fatkhutdinova LM. Characteristics of aerosol loading at foundry sites of a mechanical engineering enterprise. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2025;33(7):61-71. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-7-61-71

Введение. Российская Федерация исторически обладает высоким уровнем индустриализации, что предполагает наличие большого количества работников, занятых в разных областях промышленности, где имеется значительное влияние промышленных аэрозолей на здоровье работающих [1, 2]. При этом уровень профессиональных заболеваний органов дыхания остается довольно высоким, несмотря на проведение мероприятий, направленных на профилактику заболеваний и внедрение новых технологий производства¹.

Металлургическая отрасль, в частности литейное производство, отличается высокой частотой профессиональных заболеваний, связанных с органами дыхания. На производствах, где происходит литье металлов, образуется значительное количество взвешенных частиц [3, 4]. Аэрозоли различного состава выделяются в воздух рабочей зоны при выплавке и литье металлов, изготовлении отливок и стержней, шихтообработке и других процессах. При этом современное литейное производство меняется – на смену доменным печам старой конструкции пришли индукционные и электродуговые печи, применяются другие температурные режимы, изменился состав шихты [5–8].

Состав аэрозолей, присутствующих в воздухе рабочей зоны, во многом зависит от сырья и методов выплавки металлов [9–16]. В последние годы, наряду с общей массовой концентрацией [9, 12, 13, 15, 16] и химическим составом [14, 15] аэрозоля, особое внимание уделяется определению дисперсного состава взвешенных частиц^{2,3}.

Следует отметить, что на сегодняшний день в доступной литературе не представлено работ, в которых проводился бы детальный анализ дисперсного состава аэрозолей в воздухе рабочей зоны литейных производств с одномоментной характеристикой вдыхаемой, экстраторакальной, торакальной, респираторальной и ультрадисперсной фракций в соответствии с международными классификационными требованиями^{2,3}.

При исследовании дисперсности аэрозоля при помощи пробоотборников с циклоном выделяли респираторальную фракцию [10, 11, 14]. В некоторых исследованиях был проведен более детальный анализ, в рамках которого за счет применения оборудования типа DustTruck [13, 16] в составе

аэрозоля определялись частицы размером менее 10 мкм, менее 2,5 мкм и менее 1 мкм. Только в одной статье проведен более подробный анализ дисперсного состава аэрозолей с описанием торакальной и респираторальной фракций, а в составе респираторальной фракции – частиц размером менее 2,5 мкм и менее 1 мкм [16]. С учетом того, что при плавке и литье металлов образуются аэрозоли конденсации, особого внимания заслуживают исследования с применением высокоточного оборудования для сбора ультрадисперсной³ фракции аэрозоля. При этом лишь в единичных работах проведен анализ содержания частиц с диаметром менее 0,1 мкм аэрозоля с применением технологий SMPS-спектрометрии [9] и электрического импактора низкого давления ELPI [12].

Отдельные работы позволяют предположить, что внедрение новых технологических процессов привело к изменению не только дисперсного состава аэрозолей, но и их фиброгенности: в частности, показано, что при применении электродуговых печей аэрозоль имеет высокую степень фиброгенности [10], в то время как при выплавке в индукционных печах характер пыли характеризуется слабофиброгенными свойствами [11, 14]. Помимо фиброгенного эффекта, аэрозоли литейных производств могут вызывать токсические и раздражающие реакции со стороны дыхательной системы из-за содержания в своём составе различных химических соединений. В ряде исследований [14, 15] было показано, что в зависимости от типа шихты, используемой на производстве, вдыхаемая фракция аэрозоля может включать в себя железо (5–20 мг/м³), алюминий (10–26 мг/м³), свинец (20–25 мг/м³), цинк (2–15 мг/м³), медь (30–45 мг/м³). Кроме того, для увеличения плотности готовых отливок в процессе металлургической плавки используются различные типы добавок [8]. В процессе температурного воздействия данные добавки и продукты их термодеструкции могут выделяться в воздух рабочей зоны, однако подобные исследования современных производств практически отсутствуют.

Таким образом, информации о комплексной характеристике загрязнения воздуха рабочей зоны современных литейных производств все еще недостаточно, а имеющиеся работы затрагивают, как правило, лишь отдельные аспекты проблемы. При

¹ Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году». Москва, 2024.

² ГОСТ 7708-2006/ ISO 7708:1995 «Качество воздуха. Определение гравиметрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле» (ISO 7708:1995, *Air quality – Particle size fraction definitions for health-related sampling*).

³ ГОСТ Р 54597-2011/ISO/ TR 27628:2007 «Ультрадисперсные аэрозоли, аэрозоли наночастиц и наноструктурированных частиц. Определение характеристик и оценка воздействия при вдыхании (ISO/TR 27628:2007, *Workplace atmospheres – Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols – Inhalation exposure characterization and assessment (IDT)*).

этом отсутствие комплексных данных об особенностях аэрозолей в воздухе рабочей зоны не позволяет разрабатывать адресные профилактические программы по сохранению здоровья работников с учетом произошедших технологических изменений.

Целью исследования явилась углубленная характеристика качественного и количественного состава аэрозолей в воздухе рабочей зоны на различных производственных участках литейного завода предприятия автомобилестроения с применением комплексного подхода на основе комбинации различных физико-химических методов характеристики состава аэрозоля.

Материалы и методы. В ходе исследования были отобраны пробы воздуха на рабочих местах литейного завода ПАО «КАМАЗ». В состав предприятия входит 12 структурных подразделений. Одним из них является литейный завод – крупнейшее литейное производство в России. На литейном заводе реализован полный производственный комплекс от выплавки металлов до финишной обработки отливок.

Настоящее исследование проводилось в июле–августе 2023 г. на производствах чугунного и цветного литья. Для плавки и литья отливок на чугунном производстве используются индукционные плавильные комплексы с заливкой в формы, в качестве материала применяется железная шихта с присадками. На производстве цветного литья изготoвление отливок из алюминия осуществляется методом литья под высоким давлением с использованием индукционных плавильных комплексов, а из меди, цинка, латуни и бронзы – на индукционных печах карусельного типа в кокиль и литье-ковка по технологии Autoforge.

На начальном этапе исследования было проведено картографирование производства и определены участки, в которых технологические процессы связаны с выделением большого количества пыли в воздух рабочей зоны. На основании полученных данных были выбраны следующие точки отбора проб: на производстве чугунного литья – плавильный цех, формовочный цех, стержневой цех, обрубочный цех; на производстве цветного литья – цех литья под высоким давлением, цех литья тяжелых металлов, обрубочный цех. В каждом цехе отбор проб проводился на типичном рабочем месте.

Отбор проб воздуха рабочей зоны проводился одновременно на одних и тех же рабочих местах для определения среднесменной концентрации, фракционного и химического состава аэрозолей.

Воздух рабочей зоны отбирался на кварцевые фильтры с использованием индивидуальных пробоотборников PS 103 (Норвегия). Калибровка по объёму воздуха выполнялась дважды до начала отбора и после него с помощью флоуриметра, для последующих расчётов использовалось среднеарифметическое значение скорости отбора. Воздух отбирался 4 раза за рабочую смену по 30 минут со скоростью $(1,5 \pm 0,2)$ л/мин на одни и те же фильтры с приведением объема воздуха к нормальным условиям. Измерения параметров микроклимата и

атмосферного давления проводились с использованием комбинированного прибора «Метеоскоп-М».

Для изучения фракционного состава аэрозоля отбор воздуха рабочей зоны проводился с использованием 8-ступенчатого каскадного импактора MOUDI 100NR (TSI) на гидрофобные фильтры из поливинилхлорида (PVC504700, Millipore). Импактор MOUDI 100NR имеет верхнюю точку отсечения 18 мкм, что соответствует вдыхаемой фракции аэрозоля. Ступени импактора соотносятся со следующими размерными фракциями аэрозоля 10–18 мкм, 5,6–10 мкм, 3,2–5,6 мкм, 1,8–3,2 мкм, 1,0–1,8 мкм, 0,56–1 мкм, 0,32–0,56 мкм, 0,18–0,32 мкм и < 0,18 мкм. Применение электрического каскадного импактора является одним из наиболее информативных методов отбора проб воздуха рабочей зоны для характеристики гранулометрического состава аэрозоля и массовых концентраций мелкодисперсных фракций [17, 18] каждой точке пробы отбирались 4 раза в сутки по 30 минут со скоростью 30 л/мин на одни и те же фильтры за одну рабочую смену; объём воздуха приводился к нормальным условиям ($t = 293$ К, атмосферное давление 760 мм рт. ст. или 101,3 КПа).

На основе гравиметрического метода по результатам отбора проб на кварцевые фильтры рассчитывалась среднесменная концентрация аэрозолей, а по результатам отбора на поливинилхлоридные фильтры на разные ступени импактора – массовые концентрации и распределение каждой из фракций аэрозоля в аэродинамическом диапазоне менее 18 мкм⁴. Масса фильтров измерялась с использованием прецизионных весов AMD GR300.

На основании полученных данных были выбраны 4 точки отбора проб со сложным химическим составом аэрозоля: две точки на производстве чугунного литья и 2 точки на производстве цветного литья. Для этих точек было произведено углубленное исследование проб, отобранных на кварцевый фильтр, на содержание металлов (железа, меди, алюминия, цинка) и диоксида кремния, а также оценка содержания летучих органических соединений в воздухе рабочей зоны. Химический состав аэрозолей определялся по технологии NSAM 499–АЭС/МС атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой и масс-спектральным анализом. Для проведения анализа содержания летучих органических соединений пробы воздуха рабочей зоны отбирались на картриджи с угольным адсорбентом. Анализ содержания летучих органических соединений выполнен методом хромато-масс-спектрометрии с использованием хроматографа газового Clarus 680 с МС детектором SQ 8С и термодесорбционной приставкой TurboMatrix 300 (GC PERKIN ELMER). Химико-аналитические исследования проб выполнялись на базе комплексной лаборатории «Наноаналитика» (г. Казань).

Исследование одобрено на заседании Локального этического комитета ФГБОУ ВО Казанский ГМУ, протокол № 6 от 20 июня 2023 г.

Результаты исследования. В ходе исследования проведен отбор проб воздуха рабочей зоны на

⁴ ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». М.: Стандартинформ, 2005. 49 с.

7 производственных участка литейного завода ПАО КАМАЗ. Среднесменные концентрации, полученные в точках отбора, представлены в табл. 1 и 2. Распределение фракций аэрозолей по дисперсности и массовые концентрации аэрозольных фракций в пробах воздуха рабочей зоны в аэродинамическом диапазоне менее 18 мкм представлены в табл. 3 и 4.

8-часовые среднесменные концентрации аэрозоля, в зависимости от участка, находились в диапазоне 12,03–19,1 мг/м³.

При оценке дисперсного состава фракций размером менее 18 мкм (мелкодисперсная часть экстраторакальной, трахеобронхиальная и респираторная фракции в сумме) было выявлено, что

Таблица 1. 8-часовые среднесменные концентрации аэрозолей в воздухе рабочей зоны на участках производства чугунного литья (мг/м³)

Table 1. Time-weighted average (TWA) concentrations of aerosols in the workplace air of the iron casting site (mg/m³)

	Среднесменные массовые концентрации (мг/м ³) / Time-weighted average (TWA) concentrations (mg/m ³)			
	Плавильный цех / Smelter workshop	Формовочный цех / Molding workshop	Стержневой цех / Core workshop	Обрубочный цех / Stumping workshop
Общая массовая концентрация / Total mass concentration	18,3	17,07	13,2	19,1
$C_{cc}/ПДК_{cc} / C_{TWA}/MAC_{TWA}^5$	3 ПДК / MAC	2,8 ПДК / MAC	2,2 ПДК / MAC	3,18 ПДК / MAC

Примечание: * – Отношение среднесменной концентрации к предельно допустимой концентрации аэрозолей в воздухе рабочей зоны.

Note: * The ratio of the time-weighted average concentration to the maximum allowable concentration of aerosols in the workplace air.

Таблица 2. 8-часовые среднесменные концентрации аэрозолей в воздухе рабочей зоны на участках производства цветного литья (мг/м³)

Table 2. Time-weighted average (TWA) concentrations of aerosols in the workplace air of the non-ferrous casting site (mg/m³)

	Среднесменные массовые концентрации (мг/м ³) / Time-weighted average (TWA) concentrations (mg/m ³)		
	Цех литья под высоким давлением / High-pressure casting workshop	Цех литья тяжелых металлов / Heavy metal casting Workshop	Обрубочный цех / Stumping workshop
Общая массовая концентрация / Total mass concentration	15,36	18,98	12,03
$C_{cc}/ПДК_{cc} / C_{TWA}/MAC_{TWA}^5$	2,56 ПДК / MAC	3,16 ПДК / MAC	2 ПДК / MAC

Примечание: * – Отношение среднесменной концентрации к предельно допустимой концентрации аэрозолей в воздухе рабочей зоны.

Note: * The ratio of the time-weighted average concentration to the maximum allowable concentration of aerosols in the workplace air.

Таблица 3. Массовые концентрации и распределение аэрозольных фракций в аэродинамическом диапазоне менее 18 мкм на отдельных участках производства чугунного литья

Table 3. Mass concentrations and distribution of aerosol fractions with aerodynamic diameter of less than 18 μm at selected iron casting sites

Фракция аэрозолей / Aerosol fractions	Массовые концентрации (мг/м ³) и распределение аэрозоля по фракциям (%) / Mass concentrations (mg/m ³) and aerosol distribution by fractions (%)							
	Плавильный цех / Smelter workshop		Формовочный цех / Molding workshop		Стержневой цех / Core workshop		Обрубочный цех / Stumping workshop	
	мг/м ³ / mg/m ³	%	мг/м ³ / mg/m ³	%	мг/м ³ / mg/m ³	%	мг/м ³ / mg/m ³	%
10–18 мкм / μm	0,00	0	0,00	0	0,03	7	0,00	0
5,6–10 мкм / μm	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0
3,2–5,6 мкм / μm	0,10	21	0,20	29	0,10	21	0,00	0
1,8–3,2 мкм / μm	0,00	0	0,07	10	0,00	0	0,00	0
1–1,8 мкм / μm	0,03	7	0,13	19	0,13	29	0,13	50
0,56–1 мкм / μm	0,03	7	0,10	14	0,03	7	0,03	13
0,32–0,56 мкм / μm	0,13	29	0,07	10	0,03	7	0,07	25
0,18–0,32 мкм / μm	0,07	14	0,10	14	0,06	14	0,03	12
< 0,18 мкм / μm	0,10	21	0,03	5	0,06	14	0,00	0
Общая массовая концентрация фракций аэрозоля / Total mass concentration of aerosol fractions	0,47		0,69		0,45		0,26	

⁵ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Таблица 4. Массовые концентрации и распределение аэрозольных фракций в аэродинамическом диапазоне менее 18 мкм на отдельных производственных участках производства цветного литья**Table 4. Mass concentrations and distribution of aerosol fractions with aerodynamic diameter of less than 18 μm at selected non-ferrous casting sites**

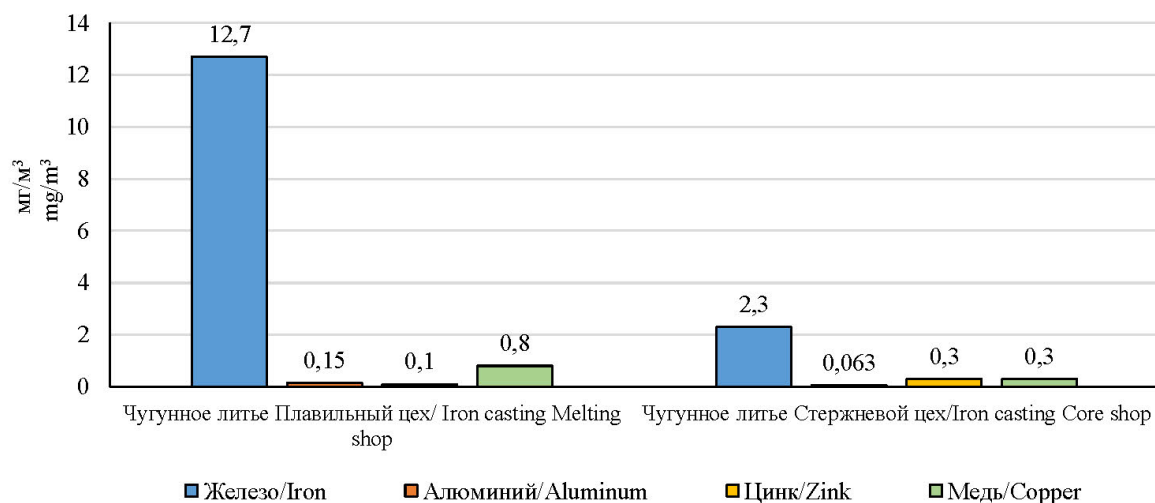
Фракция аэрозолей / Aerosol fractions	Массовые концентрации (мг/м ³) и распределение аэрозоля по фракциям (%) / Mass concentrations (mg/m ³) and aerosol distribution by fractions (%)					
	Цех литья под высоким давлением / High-pressure casting workshop		Цех литья тяжелых металлов / Heavy metal casting workshop		Обрубочный цех / Stumping workshop	
	мг/м ³ / mg/m ³	%	мг/м ³ / mg/m ³	%	мг/м ³ / mg/m ³	%
10–18 мкм / μm	0,07	13%	0,03	6%	0,00	0%
5,6–10 мкм / μm	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
3,2–5,6 мкм / μm	0,07	13%	0,07	12%	0,13	31%
1,8–3,2 мкм / μm	0,00	0%	0,07	12%	0,00	0%
1–1,8 мкм / μm	0,03	7%	0,00	0%	0,00	0%
0,56–1 мкм / μm	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
0,32–0,56 мкм / μm	0,00	0%	0,03	6%	0,26	62%
0,18–0,32 мкм / μm	0,07	13%	0,10	18%	0,03	8%
< 0,18 мкм / μm	0,26	53%	0,27	47%	0,00	0%
Общая массовая концентрация фракций аэрозоля / Total mass concentration of aerosol fractions	0,49		0,57		0,42	

в воздухе рабочей зоны на производстве чугунного литья в плавильном цехе преобладают аэрозоли фракций 3,2–5,6 мкм (21 %), 0,32–0,56 мкм (29 %) и менее 0,18 мкм (21 %), в формовочном цехе – аэрозоли фракции 3,2–5,6 мкм (29 %), 1–1,8 мкм (19 %); в стержневом цехе – аэрозоли с диаметром частиц 3,2–5,6 мкм (21 %) и 1–1,8 мкм (29 %); в обрубочном цехе в пробе воздуха преобладали аэрозоли фракции 1–1,8 мкм (50 %) и 0,32–0,56 мкм (25 %). Анализ распределения аэрозольных частиц на производстве цветного литья показал, что в пробах воздуха цеха литья под высоким давлением и цеха литья тяжелых металлов преобладает ультрадисперсная фракция < 0,18 мкм: 53 и 47 %

соответственно; в обрубочном цехе преобладающая фракция аэрозоля – 0,32–0,56 мкм (62 %).

Результаты химического анализа проб воздуха рабочей зоны на содержание металлов, выполненного для 4 точек отбора проб на кварцевые фильтры, представлены на рис. 1 и 2.

Оценка качественного состава аэрозолей в пробах воздуха рабочей зоны показала, что на производстве чугунного литья в плавильном цехе выявлено повышенное содержание железа (ПДК 4 мг/м³), в стержневом цехе содержание металлов было незначительным. На производстве цветного литья в цехе литья под высоким давлением выявлено содержание железа и алюминия, а в пробе

**Рис. 1. Химический состав аэрозолей в воздухе рабочей зоны на производстве чугунного литья (атомно-эмиссионный метод с индуктивно связанной плазмой и масс-спектральным анализом)****Fig. 1. Chemical composition of aerosols in the iron casting workplace air (inductively coupled plasma – atomic emission spectrometry)**

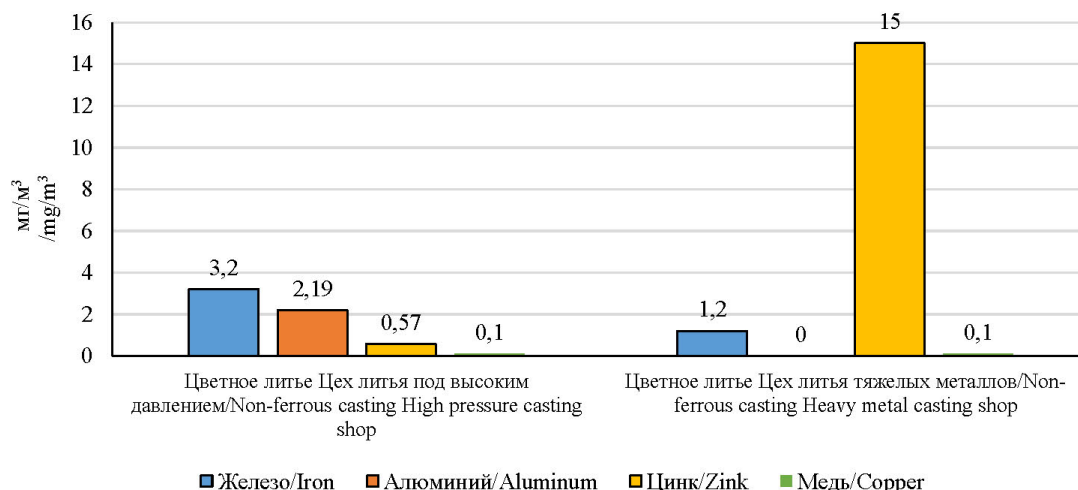


Рис. 2. Химический состав аэрозолей в воздухе рабочей зоны на производстве цветного литья (атомно-эмиссионный метод с индуктивно связанной плазмой и масс-спектральным анализом)

Fig. 2. Chemical composition of aerosols in the non-ferrous casting workplace air (inductively coupled plasma – atomic emission spectrometry)

воздуха цеха литья тяжелых металлов на производстве цветного литья – высокая концентрация цинка (ПДК 1,5 мг/м³).

Содержание диоксида кремния во всех пробах, отобранных на кварцевые фильтры, составило менее 10 %, что позволяет сделать вывод о слабофиброгенном характере аэрозолей.

В ходе качественного анализа методом хромато-масс-спектрометрии в плавильном цехе производства чугунного литья было выявлено присутствие следующих органических соединений – этанол (этиловый спирт), ацетон (пропан-2-он), этилацетат, 2-этилбутанол-1, фурфурол, 2-бутоксид-этанол, ди-

метилвый эфир пентандиовой кислоты, а в стержневом цехе того же производства – присутствие ацетона (см. на рис. 3). На производстве цветного литья в цехе литья под высоким давлением выявлено присутствие пропиленгликоля, 2-фуранметанола, 2-ундеканола, а в цехе литья тяжелых металлов – 1-метокси-2-пропанола, изопропилового спирта, фурфурола, 2-бутоксид-этанола, 2-бутоксид-1,3-диоксан-4-метанола, нонановой кислоты (см. на рис. 4).

Обсуждение. В ходе исследования было выявлено, что на литейном производстве предприятия автомобилестроения воздух рабочей зоны загрязнен промышленными аэрозолями сложного

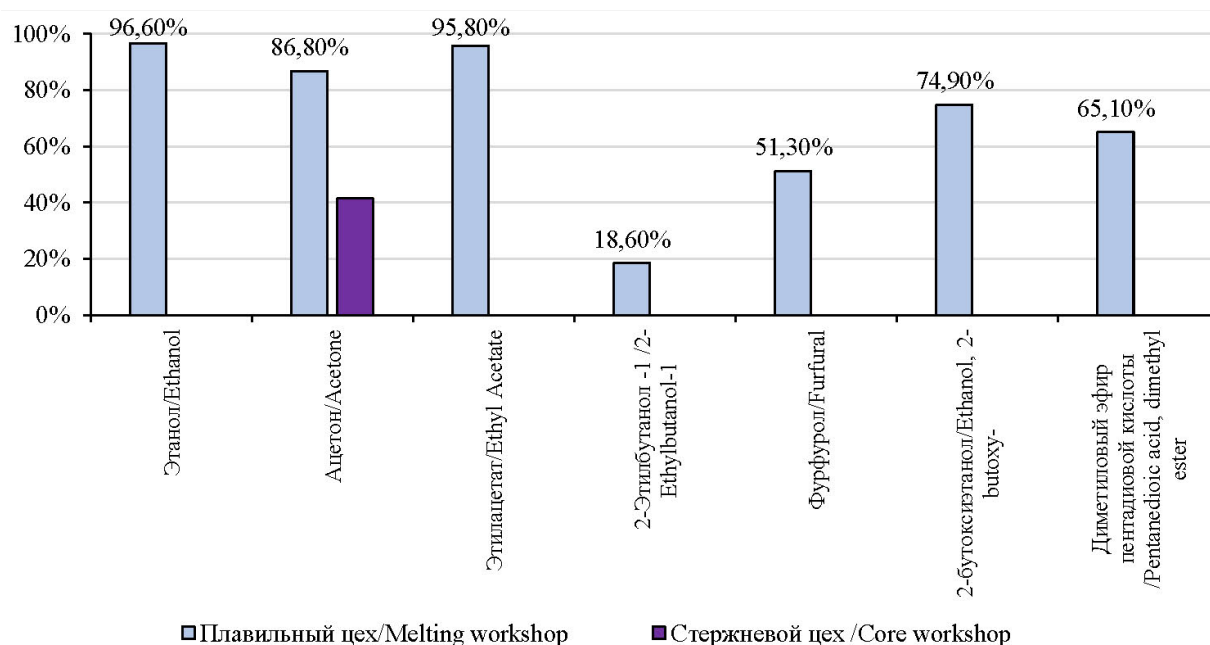


Рис. 3. Вероятность обнаружения методом хромато-масс-спектрометрии органических соединений в воздухе рабочей зоны на производстве чугунного литья в плавильном и стержневом цехах

Fig. 3. Probability of detection of organic compounds in the iron casting workplace air of smelting and core workshops by chromatography-mass spectrometry

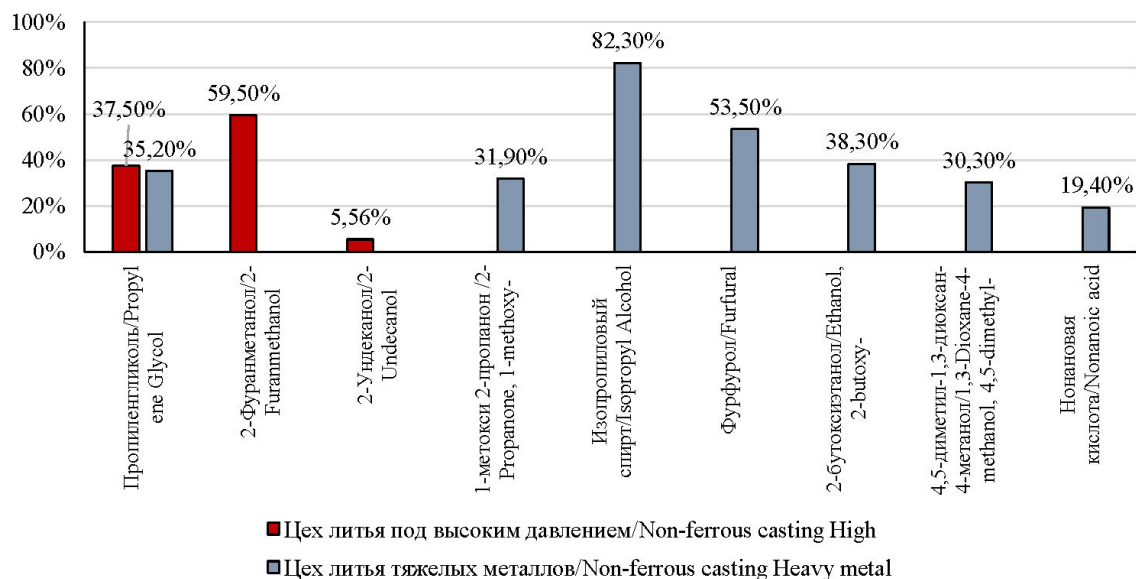


Рис. 4. Вероятность обнаружения методом хромато-масс-спектрометрии органических соединений в воздухе рабочей зоны на производстве цветного литья в цехе литья под высоким давлением и стержневом цехе

Fig. 4. Probability of detection of organic compounds in the non-ferrous casting workplace air of the high-pressure casting and core shops by chromatography-mass spectrometry

состава. С учетом среднесменной ПДК 6 мг/м^3 для аэрозолей слабофиброгенного действия⁶ условия труда соответствовали вредному классу условий труда 1-й или 2-й степени⁷.

Основная доля взвешенных частиц была представлена экстраторакальной фракцией, не проникающей в отделы дыхательной системы ниже гортани (86,1–98,7%). Мелкодисперсная часть экстраторакальной фракции (10–18 мкм) с высоким потенциалом депонирования в верхних дыхательных путях [19] присутствовала в стержневом цехе производства плавильного литья (0,22% от среднесменной концентрации), в цехе литья под высоким давлением (0,3% от среднесменной концентрации) и цехе литья тяжелых металлов (0,15% среднесменной концентрации).

Торакальная фракция, включающая частицы с аэродинамическим размером 10 мкм и менее, способные проникать в трахеобронхиальный и альвеолярный отделы дыхательной системы, была обнаружена во всех точках и составляла от 1,3 до 3,9% среднесменных концентраций. При этом в составе торакальной фракции присутствовали только взвешенные частицы, относящиеся по классификационным критериям¹ к респираторной (альвеолярной) фракции, и практически отсутствовали более крупные частицы трахеобронхиальной фракции. Массовые концентрации респираторной фракции составляли от 0,03 до 0,37 мг/м^3 , что сопоставимо с ранее опубликованными данными по аналогичным литейным производствам – 0,05–0,7 мг/м^3 [11, 12, 14].

Важно отметить, что на участках плавильных производств, где образуется аэрозоль конденсации,

в составе респираторной фракции было выявлено высокое содержание ультрадисперсных частиц: на производстве чугуна в плавильном цехе – 21% от респираторной фракции, на производстве цветного литья в цехе литья под высоким давлением – 61% от респираторной фракции, а в цехе литья тяжелых металлов – 51% от респираторной фракции. Массовые концентрации ультрадисперсной фракции на плавильных участках составляли от 0,06 до 0,27 мг/м^3 , что также сопоставимо с предыдущими публикациями – 0,025–0,2 мг/м^3 [9, 12, 20]. Ультрадисперсная фракция включает частицы нанометрового диапазона (менее 0,1 мкм), обладающие потенциально высокой биологической активностью. В настоящее время влияние вторичных (ненамеренных) наноразмерных частиц на здоровье работников промышленных предприятий изучено мало, но есть основания полагать, что несмотря на очень малые концентрации вдыхание таких частиц может повышать риски заболеваний органов дыхания [21–23] и сердечно-сосудистой системы [16, 24, 25].

Таким образом, проведенное исследование показало, что практически на всех исследованных участках литейного производства взвешенные частицы, способные депонироваться в различных отделах дыхательной системы и повышать риск развития хронических заболеваний дыхательной системы, были представлены в основном респираторной фракцией, проникающей в глубокие отделы легких, и в меньшей степени мелкодисперсной частью экстраторакальной фракции. На формовочном и стержневом участках, несмотря на удаленность от плавильных печей и литейных машин, доля респираторной фракции была даже несколько

⁶ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

⁷ Р 2.2.2006–05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».

выше, чем на плавильных участках: 3,9 и 3,2 % соответственно против 2,5–2,8 % на плавильных и литейных участках. Но на участках цветного литья респираторная фракция промышленного аэрозоля состояла преимущественно (более половины массовой концентрации респираторной фракции), а в плавильном цехе производства чугунного литья – почти на четверть (22 % респираторной фракции) из ультрадисперсных частиц, обладающих высокой биологической активностью. Проведение гранулометрического анализа предоставляет возможность более точно прогнозировать уровень депонирования и оценить воздействие взвешенных частиц на респираторную систему человека. Это, в свою очередь, способствует разработке и реализации более действенных мер защиты для работников, подвергающихся влиянию данных частиц, по сравнению с использованием лишь общих массовых концентраций.

Помимо содержания диоксида кремния и особенностей дисперсного состава, воздух рабочей зоны исследовался на содержание металлов и летучих органических соединений. Содержание отдельных металлов на плавильных и литейных участках превышало гигиенические нормативы: среднесменная концентрация железа была выше ПДК в 5 раз (ПДК – 4 мг/м³), цинка – в 9 раз (ПДК – 1,5 мг/м³), что соответствовало вредному классу условий труда 2-й степени. Летучие органические соединения были представлены во всех исследованных пробах; при этом более разнообразный состав выявлен в плавильном цехе производства чугунного литья и в цехах литья под высоким давлением и литья тяжелых металлов. На основании данных Федерального регистра потенциально опасных химических и биологических веществ установлено (РПОХиБВ), что практически все обнаруженные летучие органические соединения обладают раздражающим на органы дыхания, а также некоторые из них обладают сенсibiliзирующим действием (фурфурол, 2-фуранметанол, 2-ундеканол, наноновая кислота). В соответствии с данными РПОХиБВ, в ходе токсикологических исследований у некоторых из этих веществ выявлены отдаленные эффекты, включая мутагенную активность (2-битоксиэтанол, фурфурол, 2-фуранметанол, наноновая кислота) и канцерогенные свойства (этанол, фурфурол), а также репротоксичность (ацетон, этилацетат, 2-битоксиэтанол, диметилловый эфир пентандиовой кислоты, пропиленгликоль, изопропиловый спирт). Таким образом, показано, что при изучении загрязнения воздуха различных участков литейных производств и оценке воздействия факторов рабочей среды на здоровье работников необходимо учитывать комбинированное действие аэрозолей преимущественно фиброгенного характера и веществ с токсическими эффектами.

Ограничением настоящего исследования является оценка аэрозольной фракции с аэродинамическим размером менее 18 мкм, так как в ходе отбора проб воздуха импактор отсекает фракцию пыли более 18 мкм. Тем не менее этот метод отбора позволяет охарактеризовать мелкодисперсную часть вдыхаемой

фракции в составе аэрозоля, в том числе выделить в ее составе ультрадисперсную фракцию менее 0,18 мкм. Для углубленной оценки наноразмерных частиц (менее 0,1 мкм) необходимо использование дополнительных методов исследования, к примеру сканирующую электронную микроскопию, которая позволяет увидеть частицы менее 0,1 мкм и подсчитать их количество. Анализ летучих органических соединений, с учетом разведывательного характера и примененных методов, был ограничен качественным химическим анализом без определения концентраций в воздухе рабочей зоны. Тем не менее получены новые результаты, свидетельствующие о необходимости расширения объема исследований воздуха литейных производств при проведении производственного контроля и специальной оценки условий труда, а также области аккредитации задействованных в исследованиях лабораторий.

Заключение

Проведенное исследование выявило сложный состав аэрозолей воздуха рабочей зоны на литейном производстве, характеризующийся не только превышением предельно допустимых концентраций, но и разнородным составом и мелкодисперсностью. Получены новые данные, свидетельствующие о том, что практически на всех исследованных участках литейного производства взвешенные частицы, способные депонироваться в дыхательной системе, представлены в основном респираторной фракцией, проникающей в глубокие отделы легких, и мелкодисперсной частью экстракаторакальной фракции, которая может вызывать заболевания верхних дыхательных путей. Особого внимания заслуживает высокая доля ультрадисперсной фракции в составе респираторной фракции на плавильных и литейных участках. Несмотря на невысокое содержание диоксида кремния, присутствие таких частиц может быть причиной значительного фиброгенного потенциала, что требует дальнейших исследований. Комбинированное воздействие аэрозолей фиброгенного характера, токсичных металлов и летучих органических позволяет прогнозировать значительный риск развития профессиональных заболеваний органов дыхания и других систем организма, в том числе за счет отдаленных эффектов. Полученные результаты подчеркивают необходимость проведения эпидемиологических исследований состояния здоровья работников литейных производств для уточнения характеристик указанного риска и требуют разработки комплексных профилактических мероприятий, учитывающих особенности загрязнения воздуха рабочей зоны современных литейных производств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухтияров И.В., Тихонова Г.И., Бетц К.В. Заболеваемость, инвалидность и смертность населения трудоспособного возраста в России // Медицина труда и промышленная экология. 2023. Т. 62. № 12. С. 791–796. doi: 10.31089/1026-9428-2022-62-12-791-796
2. Rantanen J, Muchiri F, Lehtinen S. Decent work, ILO's response to the globalization of working life: Basic concepts and global implementation with special reference

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2025-33-7-61-71>
Original Research Article

- to occupational health. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(10):3351. doi: 10.3390/ijerph17103351
3. Максимова М.А. Оценка профессиональных рисков для работников литейного цеха // XXI век. Техносферная безопасность. 2021. Т. 6. №1 (21). С. 75-93. doi: 10.21285/2500-1582-2021-1-75-93
 4. Schulte P, Fischer FM, Iavicoli I, et al. The challenge of new forms of work, innovative technologies, and aging on decent work: Opportunities for occupational safety and health. *Med Lav*. 2024;115(5):e2024037. doi: 10.23749/mdl.v115i5.16421
 5. Протасов А.В. Внепечная металлургия на машиностроительных заводах // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2023. Т. 79. № 11. С. 901-914. doi: 10.32339/0135-5910-2023-11-901-914.
 6. Ровин С.Л. Современный литейный цех – прототип энерго-эффективного экологически нейтрального производства будущего // Литье и металлургия. 2023. № 4. С. 25-29. doi: 10.21122/1683-6065-2023-4-25-29
 7. Витязь П.А., Свидунович Н.А., Куис Д.В. и др. Модифицирование литейных сплавов наноструктурированными материалами // Литье и металлургия. 2021. № 2. С. 37-41. doi: 10.21122/1683-6065-2021-2-37-41
 8. Волкова М.А., Рахимзянов А.Р., Файзова Ю.М., Фатхутдинова Л.М. Особенности воздействия промышленных аэрозолей на дыхательную систему работников машиностроительного предприятия // Медицина труда и экология человека. 2023. № 3(35). С. 118-130. doi: 10.24412/2411-3794-2023-10309
 9. Рузаков В.О. Биологические эффекты воздействия наночастиц меди: маркеры экспозиции // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. № 3. С. 292-298. doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-3-292-298
 10. Lenander-Ramirez A, Bryngelsson IL, 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. doi: 10.1097/JOM.0000000000002533
 11. Kuo CT, Chiu FF, Bao BY, Chang TY. Determination and prediction of respirable dust and crystalline-free silica in the Taiwanese foundry industry. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(10):2105. doi: 10.3390/ijerph15102105
 12. Pili S, Lecca LI, Pedrazzi T, et al. Exposure assessment to fine and ultrafine particulate matter during welding activity in the maintenance shop of a steelmaking factory. *Heliyon*. 2024;10(23):e40815. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e40815
 13. Liu F, Qian H, Ma J, He P. A simple model for predicting dispersion characteristics of high-temperature airflow and particle distribution during smelting process in a thermally stratified foundry shop. *Energy Build*. 2023;278(9):112614. doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112614
 14. Kelvin M, Verpaele S, Gopalapillai Y, Poland C, Leybourne MI, Layton-Matthews D. Application of quantitative mineralogy to determine sources of airborne particles at a European copper smelter. *Heliyon*. 2023;9(3):e13803. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e13803
 15. Tong R, Cheng M, Ma X, Yang Y, Liu Y, Li J. Quantitative health risk assessment of inhalation exposure to automobile foundry dust. *Environ Geochem Health*. 2019;41(5):2179-2193. doi: 10.1007/s10653-019-00277-8
 16. Westberg H, Hedbrant A, Persson A, et al. Inflammatory and coagulatory markers and exposure to different size fractions of particle mass, number and surface area air concentrations in Swedish iron foundries, in particular respirable quartz. *Int Arch Occup Environ Health*. 2019;92(8):1087-1098. doi: 10.1007/s00420-019-01446-z
 17. Viitanen AK, Uuksulainen S, Koivisto AJ, Hämeri K, Kauppinen T. Workplace measurements of ultrafine particles – A literature review. *Ann Work Expo Health*. 2017;61(7):749-758. doi: 10.1093/annweh/wxx049
 18. Galey L, Audignon S, Brochard P, et al. Strategies to assess occupational exposure to airborne nanoparticles: Systematic review and recommendations. *Saf Health Work*. 2023;14(2):163-173. doi: 10.1016/j.shaw.2023.02.002
 19. International Commission on Radiological Protection. *Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection*. ICRP Publication 66. Ann ICRP. 1994;24(1-3). Accessed July 9, 2025. <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2066>
 20. Шпагина Л.А., Зенкова М.А., Сапрыкин А.И. и др. Роль наночастиц промышленных аэрозолей в формировании профессиональной бронхолегочной патологии // Медицина труда и промышленная экология. 2024. № 64(2). С. 111-120. doi: 10.31089/1026-9428-2024-64-2-111-120
 21. Луценко Л.А., Ракитский В.Н., Ильницкая А.В., Егорова А.М., Гвоздева Л.Л. Особенности действия наноразмерных аэрозолей и меры безопасности // Медицина труда и промышленная экология. 2018. № 3. С. 6–11.
 22. Bellisario V, Garzaro G, Squillacioti G, et al. Occupational exposure to metal-based nanomaterials: A possible relationship between chemical composition and oxidative stress biomarkers. *Antioxidants (Basel)*. 2024;13(6):676. doi: 10.3390/antiox13060676
 23. Schulte PA, Leso V, Niang M, Iavicoli I. Current state of knowledge on the health effects of engineered nanomaterials in workers: A systematic review of human studies and epidemiological investigations. *Scand J Work Environ Health*. 2019;45(3):217-238. doi: 10.5271/sjweh.3800
 24. Forest V, Pourchez J, Pélissier C, Audignon Durand S, Vergnon JM, Fontana L. Relationship between occupational exposure to airborne nanoparticles, nanoparticle lung burden and lung diseases. *Toxics*. 2021;9(9):204. doi: 10.3390/toxics9090204
 25. Kapellos TS, Bonaguro L, Gemünd I, et al. Human monocyte subsets and phenotypes in major chronic inflammatory diseases. *Front Immunol*. 2019;10:2035. doi: 10.3389/fimmu.2019.02035

REFERENCES

1. Bukhtiyarov IV, Tikhonova GI, Betts KV, Bryleva MS, Gorchakova TYu, Churanova AN. Morbidity, disability and mortality of the working-age population in Russia. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2022;62(12):791-796. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2022-62-12-791-796
2. Rantanen J, Muchiri F, Lehtinen S. Decent work, ILO's response to the globalization of working life: Basic concepts and global implementation with special reference to occupational health. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(10):3351. doi: 10.3390/ijerph17103351
3. Maksimova MA. Assessment of professional risks for employees of the foundry of the "Production company" LLC (Irkutsk). *XXI Vek. Tekhnosfernaya Bezopasnost'*. 2021;6(1(21)):75-93. (In Russ.) doi: 10.21285/2500-1582-2021-1-75-93
4. Schulte P, Fischer FM, Iavicoli I, et al. The challenge of new forms of work, innovative technologies, and aging on decent work: Opportunities for occupational safety and health. *Med Lav*. 2024;115(5):e2024037. doi: 10.23749/mdl.v115i5.16421
5. Protasov AV. Secondary metallurgy at machine-building plants. *Chernaya Metallurgiya. Byulleten' Nauchno-Tekhnicheskoy i Ekonomicheskoy Informatsii*.

- 2023;79(11):901-914. (In Russ.) doi: 10.32339/0135-5910-2023-11-901-914
6. Rovin SL. A modern foundry is a prototype of energy-efficient environmentally neutral production of the future. *Lit'e i Metallurgiya*. 2023;(4):25-29. (In Russ.) doi: 10.21122/1683-6065-2023-4-25-29
 7. Vitiaz PA, Svidunovich NA, Kuis DV, Nikalaichyk YuA, Rovin SL. Modification of cast alloys nanostructured material. *Lit'e i Metallurgiya*. 2021;(2):37-41. (In Russ.) doi: 10.21122/1683-6065-2021-2-37-41
 8. Volkova MA, Rakhimzyanov AR, Fayzova YuM, Fatkhutdinova LM. Features of the impact of industrial aerosols on the respiratory system of machine-building workers. *Meditcina Truda i Ekologiya Cheloveka*. 2023;(3(35)):118-130. (In Russ.) doi: 10.24412/2411-3794-2023-10309
 9. Ruzakov VO. Biological effects of exposure to copper nanoparticles: Markers of exposure. *Gigiena i Sanitariya*. 2023;102(3):292-298. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-3-292-298
 10. Lenander-Ramirez A, Bryngelsson IL, 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. doi: 10.1097/JOM.0000000000002533
 11. Kuo CT, Chiu FF, Bao BY, Chang TY. Determination and prediction of respirable dust and crystalline-free silica in the Taiwanese foundry industry. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(10):2105. doi: 10.3390/ijerph15102105
 12. Pili S, Lecca LI, Pedrazzi T, et al. Exposure assessment to fine and ultrafine particulate matter during welding activity in the maintenance shop of a steelmaking factory. *Heliyon*. 2024;10(23):e40815. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e40815
 13. Liu F, Qian H, Ma J, He P. A simple model for predicting dispersion characteristics of high-temperature airflow and particle distribution during smelting process in a thermally stratified foundry shop. *Energy Build*. 2023;278(9):112614. doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112614
 14. Kelvin M, Verpaele S, Gopalapillai Y, Poland C, Leybourne MI, Layton-Matthews D. Application of quantitative mineralogy to determine sources of airborne particles at a European copper smelter. *Heliyon*. 2023;9(3):e13803. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e13803
 15. Tong R, Cheng M, Ma X, Yang Y, Liu Y, Li J. Quantitative health risk assessment of inhalation exposure to automobile foundry dust. *Environ Geochem Health*. 2019;41(5):2179-2193. doi: 10.1007/s10653-019-00277-8
 16. Westberg H, Hedbrant A, Persson A, et al. Inflammatory and coagulatory markers and exposure to different size fractions of particle mass, number and surface area air concentrations in Swedish iron foundries, in particular respirable quartz. *Int Arch Occup Environ Health*. 2019;92(8):1087-1098. doi: 10.1007/s00420-019-01446-z
 17. Viitanen AK, Uuksulainen S, Koivisto AJ, Hämeri K, Kauppinen T. Workplace measurements of ultrafine particles – A literature review. *Ann Work Expo Health*. 2017;61(7):749-758. doi: 10.1093/annweh/wxx049
 18. Galey L, Audignon S, Brochard P, et al. Strategies to assess occupational exposure to airborne nanoparticles: Systematic review and recommendations. *Saf Health Work*. 2023;14(2):163-173. doi: 10.1016/j.shaw.2023.02.002
 19. International Commission on Radiological Protection. *Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection*. ICRP Publication 66. Ann ICRP. 1994;24(1-3). Accessed July 9, 2025. <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2066>
 20. Shpagina LA, Zenkova MA, Saprykin AI, et al. The role of nanoparticles of industrial aerosols in the formation of occupational bronchopulmonary pathology. *Meditcina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2024;64(2):111-120. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2024-64-2-111-120
 21. Lutsenko LA, Rakitskiy VN, Il'nitskaya AV, Egorova AM, Gvozdeva LL. Features of nano aerosols action and safety measures. *Meditcina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2016;(3):6-11. (In Russ.)
 22. Bellisario V, Garzaro G, Squillacioti G, et al. Occupational exposure to metal-based nanomaterials: A possible relationship between chemical composition and oxidative stress biomarkers. *Antioxidants (Basel)*. 2024;13(6):676. doi: 10.3390/antiox13060676
 23. Schulte PA, Leso V, Niang M, Iavicoli I. Current state of knowledge on the health effects of engineered nanomaterials in workers: A systematic review of human studies and epidemiological investigations. *Scand J Work Environ Health*. 2019;45(3):217-238. doi: 10.5271/sjweh.3800
 24. Forest V, Pourchez J, Péliissier C, Audignon Durand S, Vergnon JM, Fontana L. Relationship between occupational exposure to airborne nanoparticles, nanoparticle lung burden and lung diseases. *Toxics*. 2021;9(9):204. doi: 10.3390/toxics9090204
 25. Kapellos TS, Bonaguro L, Gemünd I, et al. Human monocyte subsets and phenotypes in major chronic inflammatory diseases. *Front Immunol*. 2019;10:2035. doi: 10.3389/fimmu.2019.02035

Сведения об авторах:

✉ **Волкова Мария Александровна** – аспирант кафедры гигиены, медицины труда ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, e-mail: maria.volkova@kazangmu.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5738-818X>.

Тимербулатова Гюзель Абдулхалимовна – к.м.н., доцент кафедры гигиены, медицины труда ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2479-2474>.

Яппарова Ляйля Ильфатовна – аспирант кафедры гигиены, медицины труда ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3558-8807>.

Файзова Юлия Мударисовна – главный врач-директор ООО «Клиника-санаторий Набережные Челны», ассистент кафедры гигиены, медицины труда ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6075-0908>.

Фатхутдинова Лилия Минвагизовна – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой гигиены, медицины труда ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9506-563X>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Фатхутдинова Л.М.*; сбор данных: *Волкова М.А., Яппарова Л.И., Файзова Ю.М.*; анализ и интерпретация результатов: *Волкова М.А., Яппарова Л.И., Тимербулатова Г.А., Файзова Ю.М.*; литературный обзор: *Фатхутдинова Л.М.*; подготовка рукописи: *Тимербулатова Г.А.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено Локальным этическим комитетом Казанского государственного медицинского университета, протокол № 6 от 20 июня 2023 года.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2025-33-7-61-71>
Original Research Article

Финансирование: исследование поддержано грантом (соглашение № 1/22-7 от 15 июля 2022 года) Казанского государственного медицинского университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, выделенным для проведения исследований в рамках программы «Приоритет 2030».

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

Статья получена: 23.01.25 / Принята к публикации: 10.07.25 / Опубликована: 31.07.25

Author information:

✉ Maria A. **Volkova**, postgraduate student, Department of Hygiene, Occupational Medicine, Kazan State Medical University; e-mail: maria.volkova@kazangmu.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5738-818X>.

Guzel A. **Timerbulatova**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Hygiene, Occupational Medicine, Kazan State Medical University; Center for Hygiene and Epidemiology in the Republic of Tatarstan; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2479-2474>.

Laila I. **Yapparova**, postgraduate student, Department of Hygiene, Occupational Medicine, Kazan State Medical University; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3558-8807>.

Yulia M. **Faizova**, Chief Physician – Director of the Naberezhnye Chelny Clinic and Health Resort; Assistant, Department of Hygiene, Occupational Medicine, Kazan State Medical University; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6075-0908>.

Liliya M. **Fatkhutdinova**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Hygiene, Occupational Medicine, Kazan State Medical University; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9506-563X>.

Author contributions: study conception and design: *Fatkhutdinova L.M.*; data collection: *Volkova M.A., Yapparova L.I., Faizova Yu.M.*; analysis and interpretation of results: *Volkova M.A., Yapparova L.I., Timerbulatova G.A., Faizova Yu.M.*; bibliography compilation and referencing: *Fatkhutdinova L.M.*; draft manuscript preparation: *Timerbulatova G.A.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: The study was approved by the Local Ethics Committee of the Kazan State Medical University (protocol No. 6 of June 20, 2023).

Funding: The study was supported by a grant (agreement No. 1/22-7 of July 15, 2022) from the Kazan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation allocated for conducting research within the framework of the Priority 2030 program.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: January 23, 2025 / Accepted: July 10, 2025 / Published: July 31, 2025