



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕГАТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ У РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЭКСПОЗИЦИИ МЕТАЛЛАМИ

Н.В. ЗАЙЦЕВА*, А.Г. ФАДЕЕВ**, Д.В. ГОРЯЕВ**, М.А. ЗЕМЛЯНОВА*, Ю.В. КОЛЬДИБЕКОВА*

*ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, ул. Монастырская, д. 82, г. Пермь, 614045, Россия

**Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю, ул. Каратанова, д. 21, г. Красноярск 660049, Россия

Аннотация. Сохранение здоровья работающего населения является приоритетным направлением государственной политики в области охраны труда и профилактики профессиональной и производственно обусловленной заболеваемости. Рабочая среда горнорудных производств, осуществляющих добычу металлических руд преимущественно подземным способом, связана с сочетанным воздействием производственных факторов, в том числе значительного количества пылевых частиц в воздухе рабочей зоны и химических веществ, в первую очередь, металлов. Одновременное воздействие оксидов и соединений металлоэлементов в различных сочетаниях на организм работников может обуславливать профессиональные риски развития широко спектра заболеваний. **Цель работы** заключается в сравнительном анализе изменения показателей негативных эффектов у работников предприятия горнорудной промышленности в условиях воздействия производственной экспозиции металлами. **Материалы и методы.** Технология сравнительной оценки включала скрининговые углубленные исследования здоровья работников производства по добыче медно-никелевых руд. Материалом служили образцы биосред 134 работников, в том числе 39 (группа наблюдения) и 95 (группа сравнения). Группы не имели существенных различий по возрасту, полу, стажу, гигиеническим условиям и социально-экономическому уровню проживания. Сравнительный анализ выполнен по химико-аналитическим, гематологическим, биохимическим, иммунологическим, цитологическим и клиническим показателям исходя из механизмов повреждающего действия повышенных уровней контаминантов в крови. Всего 7684 определений по 68 показателям. **Результаты и их обсуждение.** Среднесменная экспозиция металлами на уровне до 0,2 мг/м³ (до 4 ПДК) обуславливает повышение концентрации до 3,4 раза марганца, меди, никеля, кобальта и хрома в крови работников группы наблюдения относительно аналогичных показателей сравнения. Основные типы заболеваний, связанных с воздействием производственной экспозиции металлами, включают болезни костно-мышечной системы в виде радикулопатии, дорсопатии и полиартроза; нервной системы – полинейропатии; гипертензивной болезни сердца, ожирения, бронхиальной астмы и аллергического ринита. Установленная распространенность данных заболеваний, превышающая до 7,9 раза, подтверждена изменением биохимических и иммунологических показателей, характеризующих усиление резорбции костной ткани, дисбаланс нейротрансмиттеров и оксидантно-антиоксидантных процессов, нарушение метаболизма липидов, дисфункцию эндотелия сосудов, развитие специфической сенсибилизации и чувствительности к металлам на фоне лимфопролиферативных процессов. **Заключение.** Результаты сравнительного анализа изменения показателей негативных эффектов у работников в условиях производственной экспозиции металлами позволили обосновать их ключевые патогенетические механизмы воздействия, что является необходимым для разработки ранних мер профилактики профессиональных и производственно обусловленных заболеваний.

Ключевые слова: работники горнорудного производства, металлы, производственная экспозиция, негативные эффекты, лабораторные показатели.

COMPARATIVE ANALYSIS OF NEGATIVE EFFECT INDICATORS IN MINING INDUSTRY WORKERS UNDER OCCUPATIONAL EXPOSURE TO METALS

N.V. ZAITSEVA*, A.G. FADEEV**, D.V. GORYAEV**, M.A. ZEMLYANOVA*, Y.V. KOLDIBEKOVA*

*Federal Budgetary Institution of Science "Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies" of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 82 Monastyrskaya Street, Perm, 614045, Russia

**Office of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Krasnoyarsk Territory, 21 Karatanova Street, Krasnoyarsk, 660049, Russia

Abstract. Preserving the health of the working population is a priority area of state policy in occupational health and the prevention of occupational and work-related diseases. The working environment in mining operations extracting metal ores primarily by underground methods is associated with combined exposure to occupational factors, including a significant amount of dust particles in the workplace air and chemical substances, primarily metals. Simultaneous exposure to oxides and compounds of metallic elements in various combinations may lead to occupational risks of developing a wide range of diseases. *The purpose of the study* is to perform a comparative analysis of changes in indicators of negative effects among workers in the mining industry under conditions of occupational exposure to metals. *Materials and Methods.* The comparative assessment technology included in-depth screening studies of the health of workers engaged in copper-nickel ore mining. The material consisted of biosample analyses from 134 workers, including 39 (observation group) and 95 (comparison group). The groups did not differ significantly in terms of age, sex, work experience, hygienic conditions, or socio-economic living standards. The comparative analysis was carried out using chemical-analytical, hematological, biochemical, immunological, cytological, and clinical indicators, based on the mechanisms of damaging action of elevated levels of blood contaminants. A total of 7,684 determinations were made for 68 indicators. *Results and Discussion.* Average shift exposure to metals at levels up to 0.2 mg/m³ (up to 4 MACs) led to an increase in the concentration of manganese, copper, nickel, cobalt, and chromium in the blood of workers in the observation group by up to 3.4 times compared to corresponding values in the comparison group. The main types of diseases associated with occupational exposure to metals include musculoskeletal disorders such as radiculopathy, dorsopathy, and polyarthrosis; nervous system disorders – polyneuropathy; hypertensive heart disease, obesity, bronchial asthma, and allergic rhinitis. The identified prevalence of these diseases, increased up to 7.9 times, was confirmed by changes in biochemical and immunological indicators characterizing intensified bone tissue resorption, imbalance of neurotransmitters and oxidative-antioxidative processes, lipid metabolism disorders, vascular endothelium dysfunction, and the development of specific sensitization and metal sensitivity against the background of lymphoproliferative processes. *Conclusion.* The results of the comparative analysis of changes in indicators of negative effects among workers under conditions of occupational exposure to metals made it possible to substantiate the key pathogenetic mechanisms of impact, which is essential for the development of early preventive measures for occupational and work-related diseases.

Keywords: mining industry workers, metals, occupational exposure, negative effects, laboratory indicators.

Введение. Здоровьесбережение трудоспособного населения является приоритетной задачей национальной политики в области охраны труда, включающая в том числе санитарно-гигиенические и лечебно-профилактические мероприятия¹. По данным Федеральной службы государственной статистики, количество занятых в стране на 2023 г. составило 76 037 тыс. человек. При этом наибольший удельный вес численности работников с вредными и (или) опасными условиями труда представлен в группе по добыче металлических руд и составил 71,1 % от общей численности работников².

Для горнодобывающих основных профессий, преимущественно подземной разработки месторождений (крепильщики, бурильщики, машинист погрузочно-доставочной техники, горнорабочих очистного забоя), характерно совместное воздействие на работников длительного и интенсивного шума, повышенного уровня общей и локальной вибрации, значительного количества пылевых частиц в воздухе рабочей зоны и химических веществ, в том числе металлов [3, 6, 14]. В состав рудничной пыли, сварочных аэрозолей входят металлы (медь, никель, марганец, хром, кобальт и др.), относящиеся преимущественно к чрезвычайно и высокоопасным (I и II класс). Одновременное воздействие оксидов и соединений данных металлоэлементов в различных сочетаниях на организм работников может обуславливать профессиональные риски развития достаточно широко спектра заболеваний, что детерминировано патогенетическими механизмами их политропного токсического действия [9]. К числу критических при длительной экспозиции с воздухом рабочей зоны оксидов меди, никеля, марганца (IV), хрома (VI), кобальта относятся нервная система, опорно-двигательный аппарат, сердечно-сосудистая система, органы дыхания [7, 11].

В связи с вышесказанным, при выделении групп риска и планировании комплекса профилактических мероприятий, направленных на предупреждение и снижение негативных последствий со стороны здоровья, целесообразно проводить персональную оценку показателей негативных эффектов у работников, подвергающихся воздействию производственной химической экспозиции, в том числе металлами.

Цель исследования – сравнительный анализ изменения показателей негативных эффектов у работников предприятия горнорудной промышленности в условиях воздействия производственной экспозиции металлами.

¹ Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. От 07.04.2025)

² Удельный вес численности работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, в организациях Российской Федерации по отдельным видам экономической деятельности. [Электронный ресурс]. – URL: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/usl_trud1-2023.xlsx (дата обращения 29.05.2025).

Материалы и методы исследования. Технология сравнительной оценки включала скрининговые углубленные исследования здоровья работников производства по добыче медно-никелевых руд в количестве 134 человек основных профессий (горнорабочий очистного забоя, взрывник, бурильщик шпуров, проходчик, крепильщик, машинист погрузочно-доставочных работ, машинист буровой установки). Охвачено 39 человек (мужчины 100 %, возраст 37-65 лет в среднем $49,5 \pm 0,8$ лет, стаж работы в профессии $15,2 \pm 1,0$ лет) (группа наблюдения). Для проведения сравнительных оценок использовали показатели 95 работников предприятия, деятельность которых не связана с вредными и опасными факторами производственной среды и трудового процесса (группа сравнения мужчины 100 %, возраст 31-61 год, в среднем $45,4 \pm 0,63$ лет, стаж работы в профессии $16,1 \pm 1,1$ лет). Группы сопоставимы по возрастно-гендерному составу, стажу работы, гигиеническим условиям и социально-экономическому уровню проживания. От каждого обследованного работника получено информированное добровольное согласие на проведение углубленных медицинских исследований. Требования Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (редакция 2013 г.) и принципы проведения медицинских исследований с привлечением человека соблюдены.

Сравнительный анализ выполнен по химико-аналитическим, гематологическим, биохимическим, иммунологическим, цитологическим и клиническим показателям. Идентификация и оценка уровня воздействия кобальта, меди, свинца и их неорганических соединений, оксидов никеля, марганца, триоксида хрома (VI) в воздухе рабочей зоны проводились по данным специальной оценки условий труда. Количественное определение массовых концентраций изучаемых металлов в крови выполнено универсальным масс-спектрометрическим методом современной аналитической химии в соответствии с МУК 4.1.3230-14, МУК 4.1.3161-14 на масс-спектрометре *Agilent 7500cx* (*Agilent Technologies, Inc.*, США) с учётом оценки значений с показателями группы сравнения и референтными уровнями. Всего 516 элементопределений.

Лабораторные показатели негативных эффектов обоснованы исходя из механизмов повреждающего действия повышенных уровней содержания химических контаминантов в биосредах. Биохимический, гематологический и иммунологический спектр исследований включал IgE общий, эозинофильно-лимфоцитарный индекс, эозинофилы, индекс эозинофилии, IgE к марганцу, IgE к никелю, IgE к хрому, IgG к кобальту, IgG к меди, IgG к кобальту; активность фагоцитоза, Ig A, M, G; *малоновый диальдегид* (МДА), *общая антиоксидантная активность* (АОА), гидропероксид липидов; магний, *тарпрат-резистентная кислая фосфатаза (TRACP)*, костный глутаминовый белок; катехоламины; показатели общего клинического анализа крови; печёночные трансферазы, общий белок, С-реактивный белок, билирубин общий, щелочная фосфатаза, γ -глутамилтрансфераза, креатинин; липидный профиль, липопротеин(а), оксид азота, соотношение натрия и калия в организме; кортизол. Всего 7684 определений по 68 показателям, выполненных унифицированными методами на автоматическом гематологическом *BC-5150* (*Mindray*, Китай), полуавтоматическом биохимическом *Keylab 1000* (*Biosed*, Италия), иммуноферментном *Infinite F50* (*Tecan*, Австрия) анализаторах, лабораторном микроскопе DM 1000 (*Leica Microsystem*, Германия) и анализаторе электролитов крови *EasyLyte Calcium* (*Medica Corp*, США). Материалом исследования служили образцы цельной крови, сыворотки, плазмы крови, назального секрета. Результаты оценивали относительно показателей группы сравнения и физиологической нормы [2].

Клинические диагнозы установлены в соответствии с Приказом Министерства здравоохранения и социального развития РФ «Об утверждении перечня профессиональных заболеваний»³ и МКБ-10.

Применяли статистические методы и модели для сравнительного анализа показателей негативных эффектов с использованием среды «*Statistika 6.0*» и пакета «*Analysis ToolPak*» в *MS Excel*. Применяли непараметрический критерий Колмогорова-Смирнова для проверки нормальности распределения; параметрический *t*-критерий Стьюдента при заданной значимости $p \leq 0,05$ при сравнении двух независимых выборок; рассчитывали среднюю арифметическую (*M*) и ошибку средней (*m*) для оценки биохимических и иммунологических показателей [1].

Обоснование негативного эффекта и ответа осуществляли установлением достоверных причинно-следственных связей между вероятностью их отклонений от содержания металлов в цельной крови, с помощью уравнения логистической регрессии:

$$P = 1 / (1 + e^{-(b_0 + b_1 y)}), \quad 1)$$

где *P* – вероятность отклонения лабораторного показателя от физиологической нормы (негативный эффект) или вероятность повышения частоты заболевания относительно группы сравнения (ответ); *y* – концентрация вещества в крови, мг/дм³; *b*₀, *b*₁ – параметры регрессионной модели.

В качестве статистического критерия адекватности регрессионных моделей применяли *F*-критерий Фишера ($F > 3,96$), а значимости – критерий Стьюдента ($t \geq 2$) при пороговом уровне $p \leq 0,05$.

³ Приказ № 417н от 27.04.2012 г. «Об утверждении перечня профессиональных заболеваний» Министерства Здравоохранения и социального развития РФ.

Результаты и их обсуждение. В рабочей зоне у работников подземной добычи руды установлена среднесменная экспозиция неорганическими соединениями кобальта, меди, свинца, оксидами никеля, марганца, триоксидом хрома (VI) от 0,004 до 0,2 мг/м³ (до 4 ПДК). При этом в их крови выявлено высокое в 1,3-3,4 раза содержание марганца, меди, никеля, кобальта и хрома относительно показателей группы сравнения ($p = 0,0001 - 0,005$) и превышение в 1,3-7,0 раза уровня кобальта, меди, никеля и хрома относительно референтных значений. Статистически значимых межгрупповых различий содержания свинца в крови не установлено (табл. 1).

Таблица 1

Содержание металлов в цельной крови работников группы наблюдения и сравнения

Вещество	Референтный уровень ⁴ , мг/дм ³	Среднее значение ($M \pm m$), мг/дм ³		Статистическая значимость различий показателей между группами, $p \leq 0,05$
		Группа наблюдения	Группа сравнения	
Кобальт	0,0001	0,0007 ± 0,0001	0,0005 ± 0,0001	0,005
Марганец	0,01	0,013 ± 0,001	0,008 ± 0,001	0,0001
Медь	0,7	0,933 ± 0,036	0,553 ± 0,049	0,0001
Никель	0,001	0,0061 ± 0,0017	0,0018 ± 0,0005	0,0001
Свинец	0,1	0,132 ± 0,030	0,115 ± 0,017	0,322
Хром	0,0007	0,0048 ± 0,0004	0,002 ± 0,0006	0,0001

Установлены группы заболеваний, соответствующих органам-мишеням при воздействии токсичных металлов. Так, у работников группы наблюдения зарегистрирована распространенность болезней опорно-двигательного аппарата в виде радикулопатии (M54.1), дорсопатии (M53) и полиартроза (M15), частота которых составила 12,6 %, 10,5 % и 2,8 % соответственно и болезней нервной системы – полинейропатии (G62) с частотой регистрации до 37,2 % при отсутствии таковых случаев в группе сравнения ($p = 0,0001 - 0,001$). У работников группы наблюдения выявлялась гипертензивная болезнь (I11), бронхиальная астма (J45.0), аллергические риниты (J30.3), не установленные в группе сравнения ($p = 0,035 - 0,045$). В распространенности ожирения (E66) установлена достоверная большая частота регистрации (в 13,0 раза) относительно группы сравнения ($p = 0,046$). Установлена зависимость развития болезней костно-мышечной системы и соединительной ткани от концентрации в крови марганца, хрома и кобальта ($R^2 = 0,15 - 0,87$; $15,94 \leq F \leq 168,96$; $p = 0,0001$), нервной системы от концентрации в крови марганца, никеля и меди ($R^2 = 0,16 - 0,57$; $19,17 \leq F \leq 152,58$; $p = 0,0001$), органов дыхания ($R^2 = 0,17 - 0,35$; $15,94 \leq F \leq 152,58$; $p = 0,0001 - 0,002$), ожирения от уровня в крови марганца и никеля ($R^2 = 0,15 - 0,25$; $122,43 \leq F \leq 157,95$; $p = 0,0001$), гипертензивной болезни от концентрации марганца, никеля и меди в крови ($R^2 = 0,14 - 0,42$; $17,83 \leq F \leq 605,37$; $p = 0,0001 - 0,007$).

Клинические особенности системных проявлений со стороны опорно-двигательного аппарата подтверждаются избыточной костной резорбцией, представленной достоверным повышением в 1,2 раза TRACP в сыворотке крови ($p = 0,004$) (табл. 2).

Установлена причинно-следственная связь между вероятностью повышения уровня данного показателя в сыворотке крови и содержанием в крови кобальта ($R^2 = 0,14$; $b_0 = -0,56$; $b_1 = 18,30$; $F = 15,6$; $p = 0,021$). Основными звеньями патогенеза действия изучаемых металлов на опорно-двигательный аппарат, обусловленного их депонированием в костной ткани, является нарушение процессов биосинтеза и минерализации кости вследствие усиления процесса резорбции [13, 15].

Большая распространенность болезней нервной системы в виде полиневропатии у работников группы наблюдения подтверждается однонаправленным снижением в 1,7-1,9 раза уровня катехоламинов (адреналина, норадреналина и дофамина) в сыворотке крови относительно аналогичных показателей в группе сравнения ($p = 0,0001$), что может свидетельствовать об изменении синаптической пластичности [10]. Выявлена причинно-следственная связь между снижением норадреналина и дофамина в сыворотке крови и повышенным уровнем в крови хрома ($R^2 = 0,13 - 0,22$; $-0,2,60 \leq b_0 \leq -0,54$; $70,65 \leq b_1 \leq 581,55$; $16,81 \leq F \leq 28,28$; $p = 0,0001 - 0,0002$). Кроме этого, выявлен дисбаланс оксидантно-антиоксидантных процессов, подтверждающийся повышенным уровнем МДА и снижением общей антиоксидантной активности в плазме крови до 1,2 раза относительно данных показателей в группе сравнения ($p = 0,001 - 0,045$). Повышенный уровень МДА вероятно связан с содержанием в крови марганца, меди, никеля и хрома ($R^2 = 0,10 - 0,45$; $-0,95 \leq b_0 \leq -0,14$; $1,42 \leq b_1 \leq 175,85$; $11,79 \leq F \leq 93,48$; $p = 0,0001 - 0,002$). Ключевыми звеньями патогенеза действия изучаемых металлов на нервную систему является нарушение процессов биосинтеза и минерализации кости вследствие усиления процесса резорбции [13, 15].

⁴ Клиническое руководство по лабораторным тестам/Под ред Н.Тица. – М: Издательство «ЮНИМЕД-пресс», 2003 – 960 с.

чевыми звеньями патогенеза при действии данных металлов на нервную систему является прямое повреждение астроцитов и олигодендроцитов, ПОЛ, генерация активных форм кислорода и нарушение нейротрансмиссии в нейронах [10, 11]. В результате происходит замедление проведения нервного импульса, снижение рефлекторной возбудимости, симпатотропному действию, когнитивным расстройствам, нейропатии [12].

Таблица 2

Сравнительный анализ среднегрупповых статистически значимых гематологических, биохимических и иммунологических показателей у работников

Показатель	Физиол. норма	Группа наблюдения	Группа сравнения	Статистическая значимость различий между группами, $p \leq 0,05$	
				средние значения	кратности превышения физиолог. нормы
Антиоксидантная активность плазмы крови, %	36,2-38,6	29,60 ± 2,45	34,60 ± 1,25	0,001	0,001
Индекс атерогенности, усл. ед.	1,98-2,51	3,86 ± 0,37	2,95 ± 0,26	0,0001	0,000
Липопротеин(а), мг/100 см ³	0-14	12,26 ± 3,66	26,27 ± 15,61	0,089	0,130
Малоновый диальдегид плазмы, мкмоль/см ³	1,8-2,5	2,82 ± 0,19	2,60 ± 0,13	0,045	0,188
Холестерин ЛПВП, ммоль/дм ³	1,42-10	1,14 ± 0,09	1,43 ± 0,07	0,0001	0,000
IgE спец. к марганцу, МЕ/см ³	0-1,21	0,19 ± 0,01	0,17 ± 0,02	0,014	-
IgE спец. к никелю, МЕ/см ³	0-1,55	0,36 ± 0,04	0,30 ± 0,02	0,003	-
IgE спец. к хрому, МЕ/см ³	0-1,01	0,19 ± 0,007	0,18 ± 0,01	0,045	-
IgG спец. к меди, у.е.	0-0,1	0,16 ± 0,04	0,11 ± 0,01	0,025	0,0001
IgG к кобальту, у.е.	0-0,1	0,14 ± 0,01	0,12 ± 0,02	0,043	0,082
Тартрат-резистентная кислая фосфатаза, Е/дм ³	1,25-3,1	1,43 ± 0,14	1,15 ± 0,13	0,004	-
Адреналин, пг/см ³	10-100	45,03 ± 5,05	78,75 ± 6,95	0,0001	-
Дофамин, пг/см ³	10-100	39,18 ± 6,69	73,06 ± 7,01	0,0001	-
Норадреналин, пг/см ³	70-600	269,42 ± 27,23	483,91 ± 76,57	0,0001	0,323
VEGF, пг/см ³	10-700	504,02 ± 15,12	325,42 ± 97,63	0,0005	-
Лимфоциты, %	30-34	37,54 ± 2,48	34,35 ± 1,34	0,029	0,009
Эозинофилы, %	0,5-3	3,49 ± 0,79	2,59 ± 0,34	0,041	0,164
Эозинофильно-лимфоцитарный индекс	0,015-0,02	0,088 ± 0,019	0,069 ± 0,008	0,049	0,059

Лабораторным подтверждением нарушений обмена веществ (в виде ожирение) и гипертензивной болезни является изменения содержания биохимических показателей, характеризующих нарушение обратного транспорта холестерина и ангиогенеза (снижение в сыворотке крови уровня ЛПВП и липопротеина (а) в 1,3-2,1 раза, повышение индекса атерогенности в 1,3 раза и показателя роста эндотелия сосудов в 1,5 раза, $p = 0,0001 - 0,013$). Снижение ЛПВП в сыворотке крови вероятно обусловлено повышенным содержанием марганца, никеля и кобальта в крови ($R^2 = 0,65 - 0,66$; $-0,66 \leq b_0 \leq -0,01$; $134,80 \leq b_1 \leq 303,04$; $230,12 \leq F \leq 254,51$; $p = 0,0001$); повышение VEGF – уровнем никеля в крови ($R^2 = 0,19$; $b_0 = -2,41$; $b_1 = 36,96$; $F = 15,45$; $p = 0,0002$). Вазоконстрикторный эффект связан с конкурентоспособностью к ионам кальция отдельных металлов (например, оксида марганца) и с индуцированной генерацией активных форм кислорода, повреждающих эндотелий сосудов. Это приводит к нарушению проницаемости, снижению выработки вазодилататоров, сужению сосудов и уменьшению кровотока в них, снижению сократительной способности, нарушение ритма сердечной проводимости. Значительный рост индекса атерогенности за счет увеличения концентрации как общего холестерина, так и разнонаправленных изменений со стороны его фракций – уменьшения ЛПВП и повышения ЛПНП [2, 5].

У работников группы наблюдения зарегистрирована достоверно большая распространенность бронхиальной астмы (J45.0). Это проявляется в основном в виде повышенного уровня эозинофилов,

лимфоцитов и эозинофильно-лимфоцитарного индекса в крови (до 2,1 раза чаще, $p = 0,009$). Установлена зависимость повышенного уровня эозинофилов от повышенного содержания в крови марганца, никеля и хрома ($R^2 = 0,11 - 0,56$; $-2,48 \leq b_0 \leq -0,72$; $84,42 \leq b_1 \leq 116,48$; $10,7 \leq F \leq 163,82$; $p = 0,0001 - 0,002$); уровня лимфоцитов от повышенного содержания в крови меди и хрома ($R^2 = 0,24 - 0,45$; $-1,64 \leq b_0 \leq -1,21$; $2,85 \leq b_1 \leq 110,51$; $32,29 \leq F \leq 85,62$; $p = 0,0001$). Данные изменения выявлены на фоне специфической чувствительности организма к экспозиции металлами. Об этом свидетельствует достоверное повышение уровня *IgE* специфического к марганцу, никелю, хрому до 1,2 раза и *IgG* специфического к меди и кобальту до 1,4 раза относительно показателей группы сравнения ($p = 0,003 - 0,045$). Это связано с повышенным уровнем в крови марганца, никеля, хрома, меди и кобальта ($R^2 = 0,12 - 0,89$; $-4,57 \leq b_0 \leq -0,82$; $43,98 \leq b_1 \leq 301,95$; $5,44 \leq F \leq 605,37$; $p = 0,0001 - 0,028$). Изучаемые металлы оказывают специфическое сенсibiliзирующее действие на организм, реализующееся через образование гаптен-белковых комплексов, которые распознаются иммунной системой как чужеродные, что приводит к выработке специфических антител (например, *IgE*) и/или активации *T*-лимфоцитов [4]. Вследствие длительного взаимодействия последних с гаптен-белковыми комплексами высвобождаются медиаторы воспаления, способные нарушать целостность эпителиального барьера лёгких, снижать регенерацию эпителия альвеолоцитов и др., тем самым приводить к дисрегуляции иммунного ответа местной защиты органов дыхания [8].

Заключение. Сравнительный анализ изменения лабораторных показателей крови работников подземной добычи металлических руд свидетельствует, что выявленные у них негативные эффекты и ответы соответствуют критическим системам при воздействии химической производственной экспозиции. Основные негативные ответы у работников с высоким до 3,4 раза уровнем в крови марганца, меди, хрома, никеля и кобальта относительно группы сравнения, представлены болезнями костно-мышечной системы в виде дорсопатии, радикулопатии и полиартроза, вегетативной и ЦНС – полинейропатией, нарушениями обмена веществ (преимущественно ожирение), гипертензивной болезнью, органов дыхания – бронхиальной астмой и аллергическим ринитом. Данные ответы подтверждаются негативными эффектами в виде усиления костной резорбции, нарушения синаптической пластичности, дисбаланса оксидантно-антиоксидантных процессов, дезорганизации обратного транспорта холестерина, дислипидемии, роста фактора эндотелия сосудов, развития специфической сенсibiliзации и чувствительности к марганцу, никелю, хрому, меди, кобальту и их соединениям. Показатели, характеризующие перечисленные негативные эффекты, у экспонированных работников в 1,2-2,1 раза выше относительно показателей группы сравнения. На основании полученных результатов обоснованы ключевые звенья патогенетических механизмов воздействия изучаемых металлов, что является необходимым для выявления групп риска и разработки мер ранней профилактики профессиональных и производственно обусловленных заболеваний у работников подземной добычи медно-никелевых руд.

Литература

1. Гланц С. Медико-биологическая статистика, под ред. Н.Е. Бузикашвили и соавт. М.: Практика, 1998. 459 с.
2. Клиническое руководство по лабораторным тестам / Под ред. Н.У. Тица. М: ЮНИМЕД-пресс, 2003. 960 с.
3. Коваленко М.С. Ресурсный состав Арктики, сложности добычи и перспективы ее развития // Арктика XXI век. Гуманитарные науки. 2023. № 1(31). С. 26–36. DOI: 10.25587/SVFU.2023.44.59.003
4. Основные подходы к диагностике профессиональных аллергических заболеваний в современных условиях // Л.М. Масыгутова, Е.Р. Абдрахманова, А.Б. Бакиров, Э.Ф. Габдулвалеева и др. // Социальные аспекты здоровья населения. 2022. Т. 68, № 4. С. 1-19. DOI: 10.21045/2071-5021-2022-68-4-14
5. Химические основы токсического действия тяжёлых металлов (обзор)/ С.Г. Скугорева, Т.Я. Ашихмина, А.И. Фокина, Е.И. Лялина и др. // Теоретическая и прикладная экология. 2016. №1. С.4-13.
6. Чеботарев А.Г., Семенцова Д.Д. Комплексная оценка условий труда и состояния профессиональной заболеваемости работников горно-металлургических предприятий. // Горная промышленность. 2021. № 1. С. 114–119. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-114-119
7. Effects of occupational cadmium exposure on workers' cardiovascular system / Z.R Cao, S.M. Cui, X.X. Lu, X.M. Chen, X. Yang, J.P. Cui, G.H. Zhang et al.// Zhonghua lao dong wei sheng zhi ye bing za zhi = Zhonghua laodong weisheng zhiyebing zazhi = Chinese journal of industrial hygiene and occupational diseases. 2018. 36(6). P. 474–477. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2018.06.025
8. Impact of atmospheric microparticles and heavy metals on external respiration function of urbanized territory population / L.V. Veremchuk, E.E. Mineeva, T.I. Vitkina, T.A. Gvozdenko, K. S. Golokhvast et al.// Russian Open Medical Journal. 2017. № 6. P. 1–6. DOI: 10.15275/rusomj.2017.0402
9. In vitro bioaccessibility, phase partitioning, and health risk of potentially toxic elements in dust of an iron mining and industrial complex / N. Soltani, B. Keshavarzi, F. Moore, M. Cave, A. Sorooshian, M.R.

Mahmoudi, M.R. Ahmadi, R. Golshani et al.// *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2021. Vol. 212. P. 111972. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.111972

10. Mechanistic considerations and biomarkers level in nickel-induced neurodegenerative diseases: An updated systematic review / C.P. Anyachor, D.B. Dooka, C.N. Orish, C.N. Amadi, B. Bocca, F. Ruggieri, M. Senofonte, C. Frazzoli, O.E. Orisakwe. et al. // *IBRO Neurosci Rep.* 2022. №31(13). P. 136-146. DOI: 10.1016/j.ibneur.2022.07.005.

11. Neurotoxic effects of aluminum and manganese: From molecular to clinical effects / N.V. Zaitseva, M.A. Zemlyanova, A.B. Gekht, S.I. Dedaev, Yu.V. Kol'dibekova, E.V. Peskova, M.S. Stepankov, A.A. Tinkov, A.C. Martins, A.V. Skalny, M. Aschner et al.// *Journal of the Neurological Sciences.* 2025. Vol. 473. 123480. DOI: 10.1016/j.jns.2025.123480

12. Nielsen Depression and anxiety in a manganese-exposed community / B.A. Racette, G. Nelson, W.W. Dlamini, T. Hershey, P. Prathibha, J. R. Turner, H. Checkoway, L. Sheppard, S. Searles et al.// *Neurotoxicology.* 2021. Vol. 85. P. 222-233. DOI: 10.1016/j.neuro.2021.05.017

13. Pereira de M.D., Schumacher M., Habibovic P. Cobalt-containing calcium phosphate induces resorption of biomineralized collagen by human osteoclasts // *Biomater Res.* 2021. №25(6). DOI: 10.1186/s40824-021-00209-7

14. The relationship between psychosocial risk and occupational functioning among miners / A. Moscicka-Teske, J. Sadtowska-Wrzesinska, A. Najder, M. Butlewski et al.// *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health.* 2019. Vol.32 (1). P. 87–98. DOI: 10.13075/ijomeh.1896.01162.

15. Toxicological Profile for Manganese / I M. Williams., G.D. Todd, N. Roney, J. Crawford, C. Coles, P.R. McClure, J.D. Garey, K. Zaccaria et al., M. Citra, Atlanta (GA), 2012.

References

1. Glants S. *Mediko-biologicheskaya statistika [Medical and biological statistics]* pod red. N.E. Buzikashvili i soavt. M.: Praktika, 1998. 459 p. Russia

2. *Klinicheskoe rukovodstvo po laboratornym testam [Clinical guidelines for laboratory tests]*/ Pod red. N.U. Titsa. M: YuNIMED-press, 2003. – 960 p. Russia

3. Kovalenko MS., Sibileva EV. The Arctic's resource composition, production challenges and prospects. *Arctic XXI century. Humanitarian sciences.* 2023; 1(31): 26–36. DOI: 10.25587/SVFU.2023.44.59.003 Russia

4. Masyagutova LM, Abdrakhmanova ER, Bakirov AB, Gabdulvaleeva EF. Major approaches to the diagnosis of occupational allergic diseases in modern conditions. *Social aspects of population health.* 2022; 68(4): 1-19. DOI: 10.21045/2071-5021-2022-68-4-14 Russia

5. Skugoreva SG, Ashihmina TYa, Fokina AI, Lyalina EI. Chemical groups of toxic effect of heavy metals (review). *Theoretical and applied ecology.* 2016; 1: 4-13. Russia

6. Chebotarev AG., Sementsova DD. Comprehensive Assessment of Working Conditions and Occupational Disease Rates at Mining and Metallurgical Enterprises. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry.* 2021; (1):114–119. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-114-119 Russia

7. Cao ZR., Cui SM., Lu XX., Chen XM., Yang X., Cui JP., Zhang GH. Effects of occupational cadmium exposure on workers' cardiovascular system. *Zhonghua lao dong wei sheng zhi ye bing za zhi = Zhonghua laodong weisheng zhiyebing zazhi = Chinese journal of industrial hygiene and occupational diseases.* 2018; 36(6): 474–477. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2018.06.025

8. Veremchuk LV, Mineeva EE, Vitkina TI, Gvozdenko TA, Golokhvast KS. Impact of atmospheric microparticles and heavy metals on external respiration function of urbanized territory population. *Russian Open Medical Journal.* 2017; 6: 1–6. DOI: 10.15275/rusomj.2017.0402

9. Soltani N., Keshavarzi B., Moore F., Cave M., Sorooshian A., Mahmoudi M.R., Ahmadi M.R., Golshani R. In vitro bioaccessibility, phase partitioning, and health risk of potentially toxic elements in dust of an iron mining and industrial complex. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2021; 212. P. 111972. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.111972/

10. Anyachor CP, Dooka DB, Orish CN, Amadi CN, Bocca B, Ruggieri F, Senofonte M, Frazzoli C, Orisakwe OE. Mechanistic considerations and biomarkers level in nickel-induced neurodegenerative diseases: An updated systematic review. *IBRO Neurosci Rep.* 2022; 31(13):136-146. DOI: 10.1016/j.ibneur.2022.07.005.

11. Zaitseva NV., Zemlyanova MA., Gekht AB., Dedaev SI., Kol'dibekova YuV., Peskova EV., Stepankov MS., Tinkov AA., Martins AC., Skalny AV., Aschner M. Neurotoxic effects of aluminum and manganese: From molecular to clinical effects. *Journal of the Neurological Sciences.* 2025; 473. 123480, DOI:10.1016/j.jns.2025.123480

12. Racette BA, Nelson G, Dlamini WW, Hershey T, Prathibha P, Turner JR., Checkoway H, Sheppard L, Searles S. Nielsen Depression and anxiety in a manganese-exposed community. *Neurotoxicology.* 2021; 85: 222-233. DOI: 10.1016/j.neuro.2021.05.017.

13. Pereira MD, Schumacher M, Habibovic P. Cobalt-containing calcium phosphate induces resorption of biomineralized collagen by human osteoclasts. *Biomater Res.* 2021; 25(6). DOI: 10.1186/s40824-021-00209-7

14. Moscicka-Teske A, Sadtowska-Wrzesinska J, Najder A, Butlewski M. The relationship between psychosocial risk and occupational functioning among miners. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health.* 2019; 32 (1): 87–98. DOI: 10.13075/ijomeh.1896.01162.

15. Williams IM, Todd GD, Roney N, Crawford J, Coles C, McClure PR, Garey JD, Zaccaria K, Citra M. *Toxicological Profile for Manganese, Atlanta (GA).* 2012.

Библиографическая ссылка:

Зайцева Н.В., Фадеев А.Г., Горяев Д.В., Землянова М.А., Кольдибекова Ю.В. Сравнительный анализ показателей негативных эффектов у работников предприятия горнорудной промышленности в условиях воздействия производственной экспозиции металлами // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2025. №4. Публикация 2-6. URL: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-4/2-6.pdf> (дата обращения: 25.07.2025). DOI: 10.24412/2075-4094-2025-4-2-6. EDN QPDYPU*

Bibliographic reference:

Zaitseva NV, Fadeev AG, Goryaev DV, Zemlyanova MA, Koldibekova YV. Sravnitel'nyj analiz pokazatelej negativnyh effektorov u rabotnikov predpriyatiya gornorudnoj promyshlennosti v usloviyah vozdejstviya proizvodstvennoj ekspozicii metallami [Comparative analysis of negative effect indicators in mining industry workers under occupational exposure to metals]. *Journal of New Medical Technologies, e-edition.* 2025 [cited 2025 Jul 25];4 [about 8 p.]. Russian. Available from: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-4/2-6.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2025-4-2-6. EDN QPDYPU

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-4/e2025-4.pdf>

**идентификатор для научных публикаций EDN (eLIBRARY Document Number) будет активен после загрузки полной версии журнала в eLIBRARY