



Обзорная статья

## ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО СЕКТОРА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАК ФАКТОРЫ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

А.Г. Фадеев<sup>1</sup>, Д.В. Горяев<sup>1</sup>, П.З. Шур<sup>2</sup>, Н.В. Зайцева<sup>2</sup>, В.А. Фокин<sup>2</sup>, С.В. Редько<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю, Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, ул. Каратанова, 21

<sup>2</sup>Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Российская Федерация, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

*Производственные условия предприятий цветной металлургии характеризуются воздействием комплекса вредных химических элементов, присутствующих в воздухе рабочей зоны, способных приводить к развитию у работников патологических состояний, в частности, заболеваний органов дыхания. С целью обобщения информации о воздействии химических веществ, поступающих с воздухом рабочей зоны, на здоровье работников предприятий горнодобывающей отрасли проведен анализ научной литературы по библиографическим базам данных.*

*Профессиональная патология подземных горнорабочих характеризуется большой распространенностью заболеваний дыхательной системы – пневмокониозов, острых и хронических пылевых бронхитов. В структуре нозологических форм нарушений здоровья с временной утратой трудоспособности у работников горнодобывающей промышленности, занятых добычей руд цветных металлов, среди заболеваний дыхательной системы преобладают острый и хронический бронхиты. В горнорудной промышленности при проведении буровых и взрывных работ, дроблении полученной руды наблюдается выделение большого количества пыли в воздух рабочей зоны. Среди основных веществ, содержащихся в воздухе рабочей зоны горнодобывающей отрасли промышленности, присутствуют канцерогенные вещества: никель, свинец, формальдегид, кадмий, бенз(а)пирен. Отмечается однонаправленное действие сернистого ангидрида, никеля, оксидов азота, акролеина, формальдегида, кадмия, взвешенных веществ на органы дыхания. На нервную систему способны оказывать негативное влияние марганец, свинец, селен. На систему крови негативно влияют никель, свинец, оксид углерода; на сердечно-сосудистую систему – оксид углерода и селен.*

*Условия труда рабочих подземных подразделений предприятий цветной металлургии характеризуются интенсивным воздействием химических веществ в воздухе рабочей зоны, которые создают риски развития профессиональных болезней дыхательной системы и злокачественных новообразований. Вероятно развитие болезней нервной, иммунной, сердечно-сосудистой систем, системы крови. При планировании комплекса профилактических мероприятий целесообразно выявление групп заболеваний, связанных с условиями труда, обусловленных в том числе присутствием специфического химического фактора.*

**Ключевые слова:** химические вещества, профессиональный риск, воздух рабочей зоны, болезни органов дыхания, горнодобывающая промышленность, условия труда, предприятия цветной металлургии, фактор риска.

© Фадеев А.Г., Горяев Д.В., Шур П.З., Зайцева Н.В., Фокин В.А., Редько С.В., 2024

**Фадеев Алексей Геннадьевич** – начальник отдела надзора за условиями труда (e-mail: onut@24.rospotrebnadzor.ru; тел.: 8 (391) 227-66-43; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1712-9196>).

**Горяев Дмитрий Владимирович** – кандидат медицинских наук, руководитель, главный государственный санитарный врач по Красноярскому краю (e-mail: office@24.rospotrebnadzor.ru; тел.: 8 (391) 226-89-50; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6450-4599>).

**Зайцева Нина Владимировна** – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель (e-mail: znv@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-34; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

**Шур Павел Залманович** – доктор медицинских наук, ученый секретарь, главный научный сотрудник (e-mail: shur@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5171-3105>).

**Редько Светлана Валентиновна** – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела анализа риска для здоровья (e-mail: redkovs@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2736-5013>).

**Фокин Владимир Андреевич** – научный сотрудник отдела анализа риска для здоровья (e-mail: fokin@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0539-7006>).

Индустрия цветной металлургии, в том числе добывающего сектора, представляет собой одну из наиболее конкурентоспособных и прогрессивно развивающихся ветвей экономики Российской Федерации [1]. Функционирование предприятий цветной металлургии основывается на комплексе взаимодействующих технологических этапов, охватывающих добычу рудных источников, их обогащение, стадию металлургического передела, дальнейшую переработку, погрузочно-разгрузочные операции и транспортировку сырья и металлических продуктов. Однако в контексте промышленного производства данной сферы основным процессом является извлечение сырьевых ресурсов с целью их последующей переработки, что предопределяет ключевые вредные производственные элементы, влияющие на состояние здоровья персонала, занятого на данных предприятиях.

По данным, полученным в результате проведения специальной оценки условий труда на рабочих местах в горнодобывающем сегменте цветной металлургической отрасли, более 75 % из них демонстрируют превышение гигиенических норм в отношении производственных факторов [2]. В результате многолетних научных изысканий было установлено наличие комплекса вредных химических элементов в воздухе рабочей зоны на предприятиях цветной металлургии. Отмечается повышенный уровень воздействия химических элементов, выделение аэрозольных веществ преимущественно фиброгенного действия (АПФД), что способствует развитию ряда патологических состояний органов и систем работников, включая заболевания органов дыхательной системы [3–8].

**Цель исследования** – анализ данных о влиянии химических элементов воздушной среды рабочей зоны предприятий горнодобывающего сектора металлургической промышленности на состояние здоровья работников.

**Материалы и методы.** Анализ данных из авторитетных научно-практических изданий и релевантной научно-технической литературы проводился на основе статей, опубликованных в научных электронных библиотеках Elibrary, CyberLeninka, а также поисковике по биомедицинским исследованиям PubMed, библиографических базах данных Scopus, Web of Science, MEDLINE, RSCI. Был изучен массив исследований, направленных на изучение текущего состояния вопросов, связанных с условиями труда и заболеваемостью работников подземных подразделений, занятых в добыче цветных металлов. В целях оптимизации поиска и соответствия результатов обзора установленным критериям авторами использовались дескрипторы с терминами

«предприятия цветной металлургии», «условия труда», «профессиональная и профессионально обусловленная заболеваемость». Критерии отбора и целесообразность включения публикаций в обзор определялись на основании наличия в статье сведений о связи химического фактора со степенью заболеваемости, а также на основании коллективного экспертного мнения авторов обзора. Заключение этической экспертизы для данной работы не требовалось.

**Результаты и их обсуждение.** К ведущим вредным факторам производственной среды и трудового процесса работников подземных специальностей предприятий по добыче руд цветных металлов относятся ингаляционное воздействие АПФД, пыли и химических веществ; интенсивный производственный шум; воздействие повышенных уровней вибрации; высокую степень тяжести и напряженности трудового процесса [3, 4, 9, 10]. Исследования показывают, что общая оценка условий труда подземных горнорабочих (проходчики, взрывники, машинисты буровых установок, оборщики горных выработок) характеризуется сочетанным воздействием производственных факторов и соответствует 3.2–3.4 классу условий труда [11–13]. Данные классы условий труда соответствуют категориям априорного риска от среднего до очень высокого в соответствии с руководством Р 2.2.3969-23<sup>1</sup>.

В горнорудных работах при бурении и взрывных операциях, измельчении и размоле полученного сырья образуется значительное количество пылевых частиц в воздухе рабочей зоны. Концентрации пыли и аэрозолей в случае превышения допустимых значений могут оказывать фиброгенное воздействие [14], токсическое, раздражающее и аллергическое влияние [15]. В профессии подземного горнорабочего часто отмечается широкий спектр заболеваний дыхательной системы, таких как пневмококиоз, острые и хронические пылевые бронхиты [15]. Результаты исследований отечественных ученых подкрепляют данные зарубежных коллег, например, изучение профессиональных заболеваний подземных рабочих, вызванных воздействием пыли, показывает, что пневмококиоз распространен среди горняков Америки, Китая и Южной Африки [16–19].

В структуре нозологий, приводящих к временной утрате трудоспособности среди работников горнодобывающих предприятий, занятых в сфере добычи цветных металлов, среди заболеваний дыхательной системы преобладают острый и хронический бронхиты [20, 21].

Гигиеническая оценка производственных условий показывает, что образующаяся в ходе основных технологических процессов металлургического

<sup>1</sup> Р 2.2.3969-23. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 07.09.2023. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителя и благополучия человека, 2023. – 77 с.

производства пыль отличается высокой степенью дисперсности и включает более 80 % частиц размером менее 1 мк. Высокие уровни концентрации пыли, диоксида серы, металлического никеля, никелевых гидроаэрозолей и свинца обнаруживаются при переработке сульфидных медно-никелевых руд в плавильных помещениях, агломерационных и фэйнштейн-разделительных цехах и т. д. Процессы измельчения, дробления и обработки материалов с использованием механических и термических методов сопровождаются значительным образованием промышленных аэрозолей, которые попадают в рабочую зону [22]. В добывающей отрасли это касается дробильного оборудования, но также относится к использованию печей обжига и плавки, где в половине проб концентрация силикатосодержащей пыли и аэрозолей при изготовлении титановых сплавов превышает предельно допустимые нормы, а концентрации каолинового шамота варьируются в диапазоне от 1,4 до 150,0 мг/м<sup>3</sup> при среднесуточном ПДК 8,0 мг/м<sup>3</sup> [23].

Высокий уровень соматической заболеваемости на фоне существенной канцерогенной нагрузки за счет производственной среды, связанной с медно-никелевым производством, требует проведения мониторинга онкологических заболеваний. Наиболее высокие показатели индивидуального канцерогенного риска среди рабочих были выявлены в отношении развития злокачественных новообразований ободочной кишки (величина риска –  $7,7 \cdot 10^{-3}$ ) и рака желудка (величина риска –  $5,9 \cdot 10^{-3}$ ). У горнорабочих были отмечены наиболее высокие значения риска в отношении рака легких (величина риска –  $1,07 \cdot 10^{-3}$ ) и злокачественных новообразований толстой кишки (величина риска –  $1,06 \cdot 10^{-3}$ ) [24]. Наряду с этим ряд химических соединений, таких как цинк, кадмий, мышьяк, сурьма, медь, свинец и другие, способны влиять на центральную нервную систему, вызывая увеличение времени слухомоторных и зрительно-моторных реакций, снижая подвижность нервных процессов в анализаторных системах [25–26].

У работников медно-никелевой промышленности, помимо болезней дыхательной системы, регистрируются патологии кожных покровов и подкожной жировой клетчатки. К ним относятся контактные дерматиты, онихомикозы, себорея и псориаз. Показано, что частота кожных заболеваний у лиц, работающих в карбонильной переработке никеля, превышает таковую у горняков и работников электролизной переработки меди ( $p < 0,02$ ) [27]. Анализ данных углубленных медосмотров работников позволил установить, что сердечно-сосудистые заболевания занимают одно из лидирующих мест как в структуре производственно обусловленной, так и в структуре профессиональной патологии. У рабочих, занятых в производстве легких и редких цветных металлов, с трудовым стажем свыше 15 лет была выявлена высокая профессиональная обусловленность развития артериальной гипертензии с этиоло-

гической ролью производственных факторов – 65,5 % [28–31].

При выполнении работ по погрузке и транспортировке рудного материала задействованы водители погрузчиков и другой большегрузной дизельной спецтехники, а также операторы дорожно-строительной и землеройной техники. Условия труда этих работников значительно отличаются от условий, в которых работают подземные горняки и рабочие основных профессий. Воздух рабочих зон водителей и машинистов самоходных горных машин содержит оксиды азота, акролеин и формальдегид в концентрациях, которые могут в 2–3 раза превышать предельно допустимые значения [32]. Внутри кабины экскаватора, где не предусмотрено средств борьбы с пылью, ее концентрация варьируется от 4 до 25 мг на 1 м<sup>3</sup>, а в области выполнения экскаваторных работ может достигать сотен мг на 1 м<sup>3</sup>. Большая часть пыли и аэрозолей (80–90 %) в пределах рабочей области обладает фиброгенными свойствами, что обуславливает высокий уровень профессионального пневмокониоза и хронических пылевых бронхитов в результате воздействия фиброгенной пыли и частого переохлаждения, а также воздействия раздражающих газов и токсических веществ [33].

Фактор риска развития респираторной патологии у шахтеров Норильского региона – это воздействие пыли сульфидных медных и никелевых руд с содержанием свободного кремнезема до 1 % в сочетании с некомфортным микроклиматом. Концентрация пыли достигает 4,3 мг на 1 м<sup>3</sup> во время бурения и проходки и 6,75 мг на 1 м<sup>3</sup> при разгрузке горных пород (класс условий труда 3.2–3.3, высокий и очень высокий риск). Концентрация пыли на рабочих местах подземных сварщиков достигает 6–7,2 мг на 1 м<sup>3</sup>, хромового ангидрида – 0,29–0,35 мг на 1 м<sup>3</sup> и окисей марганца – 0,149–0,5 мг на 1 м<sup>3</sup> (класс 3.4, очень высокий риск) [34].

В научной литературе имеется множество данных, касающихся исследования качественного состава пыли, характерной для горно-выемочных работ. В качестве приоритетных элементов, определяемых при проведении горно-выемочных работ Арктической зоны, выделяют соединения меди и никеля [35]. К основным клиническим проявлениям избыточного поступления в организм человека меди относятся: функциональные расстройства центральной нервной системы; медная лихорадка; слезотечение, раздражение конъюнктивы и слизистых оболочек; желудочно-кишечные расстройства; нарушения функций печени и почек. Вместе с тем ряд авторов указывает, что у меди нет значимых воздействий на органы дыхания человека [36, 37]. Никель как одно из основных веществ, определяемых в воздухе рабочей зоны, обладает канцерогенным, токсическим и аллергическим действием [38–41]. Ингаляционное поступление водорастворимых соединений никеля может вызывать раздражение носа и придаточных

пазух носа, а также может привести к потере обоняния и перфорации носовой перегородки. Вдыхание нерастворимых соединений никеля вызывает развитие рака [42–44]. Помимо меди и никеля, в воздухе рабочей зоны определяются микро- и наночастицы мышьяка, свинца, кадмия, селена, таллия, цинка [45], которые могут являться причиной развития патологии органов дыхания, нервной и иммунной систем. В составе рудничного аэрозоля также определяются такие приоритетные загрязнители, как оксид азота, оксид углерода, тринитротолуол, бенз(а)пирен [46].

Среди основных веществ, содержащихся в воздухе рабочей зоны горнодобывающей отрасли промышленности, присутствуют канцерогенные вещества (в соответствии с руководством Р 2.1.10.3968-23<sup>2</sup>): никель и его соединения, свинец, формальдегид, кадмий, бенз(а)пирен. Отмечается однонаправленное действие сернистого ангидрида, никеля и его соединений, оксидов азота, акролеина, формальдегида, кадмия, взвешенных веществ, в том числе АПФД на органы дыхания. На нервную систему способны оказывать влияние марганец и его соединения, свинец, селен. На систему крови негативно влияют никель и его соединения, свинец, оксид углерода. Оксид углерода и селен способны вызывать негативные ответы со стороны сердечно-сосудистой системы.

**Выводы.** Условия работы на предприятиях горнодобывающего сектора металлургической промышленности характеризуются высоким уровнем ингаляционного воздействия промышленных аэрозолей, пыли и химических веществ. В контексте добычи рудного сырья цветных металлов работники

подземных подразделений, такие как горнорабочие, проходчики, бурильщики, операторы погрузочно-доставочных машин и операторы буровых установок, подвергаются воздействию вредных веществ на рабочих местах. Основные типы заболеваний, связанных с воздействием вредных веществ на рабочем месте, включают заболевания дыхательной системы, такие как пневмокониоз, хронический бронхит, бронхиальная астма и хроническая обструктивная болезнь легких, а также онкологические заболевания легких и верхних дыхательных путей.

В качестве приоритетных критических органов и систем при оценке профессионального аэрогенного риска для здоровья работников горнодобывающего сектора металлургической промышленности следует рассматривать органы дыхания, нервную систему, иммунную систему, систему крови и сердечно-сосудистую систему. Среди потенциальных ответов со стороны здоровья работников можно ожидать развития болезней кожи и подкожной клетчатки, крови и центральной нервной системы. Таким образом, на предприятиях цветной металлургии, в частности горнодобывающего сектора, при планировании комплекса профилактических мероприятий целесообразно выявление групп заболеваний, связанных с условиями труда, обусловленных в том числе присутствием специфического химического фактора, влияющего на риски для здоровья работников.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Дюндик К.А. Эффективная система промышленной безопасности компании «Норникель» // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. – 2016. – № 1. – С. 67–72.
2. Гигиеническая оценка условий труда и профессиональной заболеваемости работников горнодобывающей промышленности в Арктической зоне Норильского промышленного района / Д.В. Горяев, А.Г. Фадеев, П.З. Шур, В.А. Фокин, Н.В. Зайцева // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 2. – С. 88–94. DOI: 10.21668/health.risk/2023.2.08
3. Медицина труда работников подземных профессий производства добычи полиметаллических медно-цинковых руд / Э.Р. Шайхлисламова, Л.К. Каримова, А.Д. Волгарева, Н.А. Мулдашева // Санитарный врач. – 2020. – № 5. – С. 9–23. DOI: 10.33920/med-08-2005-01
4. Fan Z., Xu F. Health risks of occupational exposure to toxic chemicals in coal mine workplaces based on risk assessment mathematical model based on deep learning. // Environmental Technology & Innovation. – 2021. – Vol. 22. – P. 101500. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101500
5. The relationship between psychosocial risk and occupational functioning among miners / A. Moscicka-Teske, J. Sadtowska-Wrzesinska, A. Najder, M. Butlewski // Int. J. Occup. Med. Environ. Health. – 2019. – Vol. 32, № 1. – P. 87–98. DOI: 10.13075/ijomeh.1896.01162
6. Marica L., Irimie S., Baleanu V. Aspects of occupational morbidity in the mining sector // Procedia Economics and Finance. – 2015. – Vol. 23. – P. 146–151. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00368-8
7. Талыкова Л.В., Быков В.Р. Исследование эффектов профессионального воздействия в условиях Арктической зоны (обзор литературы) // Российская Арктика. – 2021. – № 3 (14). – С. 41–53. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-3-00-04
8. Чеботарёв 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

<sup>2</sup> Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 06.09.2023 г. [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/408644981/> (дата обращения: 17.04.2024).

9. Чеботарев А.Г. Современные условия труда на горнодобывающих предприятиях и пути их нормализации // Горная промышленность. – 2012. – № 2 (102). – С. 84–88.
10. Сюрин С.А. Риски здоровью при добыче полезных ископаемых в Арктике // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2020. – № 11 (332). – С. 55–61. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-332-11-55-61
11. Хлусова В.П. Профессиональные риски в горнодобывающей промышленности и методы их снижения // Образование, наука, производство: сборник научных трудов VII Международного молодежного форума. – Белгород, 2015. – С. 461–465.
12. Горленко Н.В., Мурзин М.А. Сравнительный анализ профессиональных рисков работников предприятий Иркутской области по добыче полезных ископаемых // XXI век. Техносферная безопасность. – 2018. – Т. 3, № 4 (12). – С. 23–31. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-4-23-31
13. Головкова Н.П., Котова Н.И., Чеботарев А.Г. Оценка уровня профессионального риска у работников горно-металлургических предприятий по результатам специальной оценки условий труда // Современные проблемы медицины труда: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию академика РАН Н.Х. Аморова. – Казань: Казанский ГМУ; ФГБНУ «НИИ МТ», 2019. – С. 51–54. DOI: 10.31089/978-5-6042929-0-7-2019-1-51-54
14. Research status of pathogenesis of pneumoconiosis and dust control technology in mine – A review / G. Liu, Q. Xu, J. Zhao, W. Nie, Q. Guo, G. Ma // Appl. Sci. – 2021. – Vol. 11, № 21. – P. 10313. DOI: 10.3390/app112110313
15. Бухтияров И.В., Чеботарев А.Г. Гигиенические проблемы улучшения условий труда на горнодобывающих предприятиях // Горная промышленность. – 2018. – № 5 (141). – С. 33–35. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-33-35
16. Potential determinants of coal workers pneumoconiosis, advanced pneumoconiosis, and progressive massive fibrosis among underground coal miners in the United States, 2005–2009 / A.S. Laney, E.L. Petsonk, J.M. Hale, A.L. Wolfe, M.D. Attfield // Am. J. Public Health. – 2012. – Vol. 102, Suppl. 2. – P. S279–S283. DOI: 10.2105/AJPH.2011.300427
17. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Pneumoconiosis and advanced occupational lung disease among surface coal miners – 16 states, 2010–2011 // MMWR Morb. Mortal. Wkly Rep. – 2012. – Vol. 61, № 23. – P. 431–434.
18. Analysis on the incidence of coal workers pneumoconiosis from 2003 to 2008 in a coal mining group / Z.-F. Song, H.-Y. Qian, S.-S. Wang, X.-M. Jia, Y. Ye, C.-H. Ni // Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi. – 2011. – Vol. 29, № 1. – P. 56–58.
19. Cebi S., Karamustafa M. A New Fuzzy Based Risk Assessment Approach for the Analysis of Occupational Risks in Manufacturing Sector // Intelligent and Fuzzy Systems. INFUS 2022: Lecture Notes in Networks and Systems. – Cham: Springer, 2022. – Vol. 504. – P. 261–270. DOI: 10.1007/978-3-031-09173-5\_33
20. Сюрин С.А., Шилов В.В. Особенности нарушений здоровья горняков северных медно-никелевых рудников // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 5. – С. 455–459. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-5-455-459
21. Куренкова Г.В., Лемешевская Е.П. Гигиеническая характеристика условий труда в подземных сооружениях и их влияние на здоровье работников // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2015. – Т. 136, № 5. – С. 98–105.
22. Косяченко Г.Е. Гигиеническая оценка условий труда при профессиональном контакте с аэрозолями преимущественно фиброгенного типа действия // Здоровье и окружающая среда. – 2010. – № 16. – С. 196–201.
23. Состояние здоровья работников обогатительных фабрик при современных технологиях обогащения полезных ископаемых и меры профилактики / А.В. Сухова, Е.А. Преображенская, А.В. Ильницкая, В.А. Кирьяков // Здравоохранение Российской Федерации. – 2017. – Т. 61, № 4. – С. 196–201. DOI: 10.18821/0044-197X-2017-61-4-196-201
24. Серебряков П.В. Использование оценки канцерогенного риска на горнорудных и металлургических предприятиях Заполярья // Гигиена и санитария. – 2012. – Т. 91, № 5. – С. 95–98.
25. Кулиниченко С.К. Функциональное состояние центральной нервной системы рабочих свинцового производства // Наука и здравоохранение. – 2012. – Т. 2. – С. 128–130.
26. Gunnarsson L.-G., Vodin L. Occupational exposures and neurodegenerative diseases – a systematic literature review and meta-analyses // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2019. – Vol. 16, № 3. – P. 337. DOI: 10.3390/ijerph16030337
27. Сюрин С.А., Петренко О.Д. Микозы медной горы. Особенности заболеваний кожи у работников медно-никелевой промышленности // Безопасность и охрана труда. – 2012. – № 3 (52). – С. 79–81.
28. Прогноз вероятностной оценки развития артериальной гипертензии у работников цветной металлургии в условиях сочетанного воздействия физических и физиологических производственных факторов / В.Э. Белицкая, М.И. Тиунова, А.Е. Носов, О.Ю. Устинова, Д.А. Кирьянов // Актуальные вопросы анализа риска при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под ред. А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. – Пермь, 2018. – С. 495–500.
29. Гурвич В.Б., Милованкина Н.О., Газимова В.Г. Диспансеризация работников металлургического производства с высоким сердечно-сосудистым риском как оптимальный метод первичной и вторичной профилактики // Современные проблемы медицины труда: сборник материалов всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию академика РАН Н.Х. Аморова. – Казань: Казанский ГМУ; ФГБНУ «НИИ МТ», 2019. – С. 66–68. DOI: 10.31089/978-5-6042929-0-7-2019-1-66-68
30. Factors of work environment hazardous for health in opinions of employees working underground in the ‘Bogdanka’ coal mine / J. Strzemecka, M. Gozdziowska, J. Skrodziuk, E.M. Galinska, S. Lachowski // Ann. Agric. Environ. Med. – 2019. – Vol. 26, № 3. – P. 409–414. DOI: 10.26444/aaem/106224
31. Оценка риска развития артериальной гипертонии в условиях воздействия шумового и химического факторов производства / И.Н. Федина, П.В. Серебряков, И.В. Смолякова, А.В. Мелентьев // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 2. – С. 21–25.
32. Бекеева С.А., Есбенбетова Ж.Х., Нургазиева А.Е. Адаптационный потенциал водителей большегрузных автосамосвалов в горнодобывающей промышленности // Наука и мир. – 2019. – № 2–1 (66). – С. 37–39.

33. Оценка условий труда работников горнорудной промышленности / М.Н. Садыков, Е.Ж. Отаров, Л.Х. Асенова, У.К. Маканова, А.Р. Айтмагамбетов, Л.В. Тыль // Медицина и экология. – 2017. – № 3 (84). – С. 71–73.
34. Профессиональные болезни рабочих в горнодобывающей промышленности / Г.М. Коршунов, З.Н. Черкай, Н.В. Мухина, Е.Б. Гридина, С.М. Скударнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S2–5. – С. 5–10.
35. Gorbanev S., Syurin S., Kovshov A. Features of Occupational Health Risks in the Russian Arctic (on the Example of Nenets Autonomous Okrug and Chukotka Autonomous Okrug) // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2021. – Vol. 18, № 3. – P. 1061. DOI: 10.3390/ijerph18031061
36. Cross-sectional Study of Workers Employed at a Copper Smelter-Effects of Long-term Exposures to Copper on Lung Function and Chronic Inflammation / L.-M. Haase, T. Birk, C.A. Poland, O. Holz, M. Miiller, A.M. Bachand, K.A. Mundt // J. Occup. Environ. Med. – 2022. – Vol. 64, № 9. – P. e550–e558. DOI: 10.1097/JOM.0000000000002610
37. Metal-Induced Pulmonary Fibrosis / N. Assad, A. Sood, M.J. Campen, K.E. Zychowski // Curr. Environ. Health Rep. – 2018. – Vol. 5, № 4. – P. 486–498. DOI: 10.1007/s40572-018-0219-7
38. Сюрин С.А., Гушин И.В., Никанов А.Н. Профессиональная патология работников различных производств медно-никелевой промышленности Крайнего Севера // Экология человека. – 2012. – № 6. – С. 8–12.
39. Casarett L.J., Doull J., Klaassen C.D. Casarett and Doull's Toxicology: the basic science of poisons / ed. by C.D. Klaassen. – New York: McGraw-Hill, Medical Publishing Division, 2001. – P. 649–650, 837–839.
40. Exposure to different forms of nickel and risk of lung cancer / T.K. Grimsrud, S.R. Berge, T. Haldorsen, A. Andersen // Am. J. Epidemiol. – 2002. – Vol. 156, № 12. – P. 1123–1132. DOI: 10.1093/aje/kwfl65
41. Nickel Carcinogenesis Mechanism: DNA Damage / H. Guo, H. Liu, H. Wu, H. Cui, J. Fang, Z. Zuo, J. Deng, Y. Li [et al.] // Int. J. Mol. Sci. – 2019. – Vol. 20, № 19. – P. 4690. DOI: 10.3390/ijms20194690
42. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology / G. Genchi, A. Carocci, G. Lauria, M.S. Sinicropi, A. Catalano // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2020. – Vol. 17, № 3. – P. 679. DOI: 10.3390/ijerph17030679
43. Тамразова О.Б., Селезнев С.П. Аллергический контактный дерматит на никель // Медицинский совет. – 2022. – Т. 16, № 3. – С. 121–129. DOI: 10.21518/2079-701X-2022-16-3-121-129
44. Primary concept of nickel toxicity – an overview / K.K. Das, R.C. Reddy, I.B. Bagoji, S. Das, S. Bagali, L. Mullur, J.P. Khodnapur, M.S. Biradar // J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol. – 2018. – Vol. 30, № 2. – P. 141–152. DOI: 10.1515/jbcpp-2017-0171
45. Касиков А.Г. Пылевые выбросы медно-никелевого производства и последствия их воздействия на организм человека в условиях Крайнего Севера // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2017. – Т. 9, № 4. – С. 58–63.
46. Biessikirski A., Dworzak M., Twardosz M. Composition of Fumes and Its Influence on the General Toxicity and Applicability of Mining Explosives // Mining. – 2023. – Vol. 3, № 4. – P. 605–617. DOI: 10.3390/mining3040033

*Вредные вещества в воздухе рабочей зоны горнодобывающего сектора металлургической промышленности как факторы риска для здоровья работников (аналитический обзор) / А.Г. Фадеев, Д.В. Горяев, П.З. Шур, Н.В. Зайцева, В.А. Фокин, С.В. Редько // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 153–161. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.14*

UDC 613.6.027  
DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.14.eng



Review

## HARMFUL CHEMICALS IN OCCUPATIONAL AIR IN THE ORE MINING SECTOR OF THE METAL INDUSTRY AS OCCUPATIONAL HEALTH RISK FACTORS (ANALYTICAL REVIEW)

**A.G. Fadeev<sup>1</sup>, D.V. Goryaev<sup>1</sup>, P.Z. Shur<sup>2</sup>, N.V. Zaitseva<sup>2</sup>, V.A. Fokin<sup>2</sup>, S.V. Red'ko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Krasnoyarsk Regional Office of the Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 21 Karatanova St., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

<sup>2</sup>Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya St., Perm, 614045, Russian Federation

*Working conditions at non-ferrous metallurgical enterprises typically involve exposure to a whole set of harmful chemicals present in occupational air. These chemicals contribute to the development of pathologies in workers, respiratory diseases in particular. Research literature was analyzed using bibliographic databases in order to summarize available information on effects produced by harmful chemicals in workplace air on health of workers employed at mining enterprises.*

*Respiratory diseases such as pneumoconiosis, acute and chronic dust bronchitis prevail among occupational pathologies typical for underground miners. Acute and chronic bronchitis prevail among respiratory diseases as health disorders resulting in temporary disability of miners dealing with non-ferrous metal mining. Huge amounts of dust appear in occupational air at mining enterprises due to drilling, blasting and ore crushing. Priority chemicals found in workplace air in mining industry include several carcinogens such as nickel, lead, formaldehyde, cadmium, and benzo(a)pyrene. There is a unidirectional effect produced by sulfur dioxide, nickel, nitrogen oxides, acrolein, formaldehyde, cadmium, and particulate matter on the respiratory organs. The nervous system can be affected by manganese, lead, and selenium; the blood, by nickel, lead, and carbon oxide; the cardiovascular system, by carbon oxide and selenium.*

*Working conditions of underground miners in non-ferrous metallurgy involve intensive exposure to chemicals in occupational air, which create health risks of occupational respiratory diseases and malignant tumors. Diseases of the nervous, immune, cardiovascular systems and the blood are also possible. When planning a set of preventive activities, it is advisable to identify groups of work-related diseases caused, among other things, by a specific chemical factor.*

**Keywords:** chemicals, occupational risk, workplace air, respiratory diseases, mining industry, working conditions, non-ferrous metallurgy enterprises, risk factor.

## References

1. Dyundik C. Effective system of industrial safety of the Norilsk Nickel company. *Nauchnyi vestnik oboronno-promyshlennogo kompleksa Rossii*, 2016, no. 1, pp. 67–72 (in Russian).
2. Goryaev D.V., Fadeev A.G., Shur P.Z., Fokin V.A., Zaitseva N.V. Hygienic assessment of working conditions and occupational incidence among mining workers in the Arctic zone of the Norilsk industrial area. *Health Risk Analysis*, 2023, no. 2, pp. 88–94. DOI: 10.21668/health.risk/2023.2.08.eng
3. Shaikhislamova E.R., Karimova L.K., Volgareva A.D., Muldasheva N.A. Occupational health of workers in underground occupations producing polymetallic copper-zinc ores. *Sanitarnyi vrach*, 2020, no. 5, pp. 9–23. DOI: 10.33920/med-08-2005-01 (in Russian).
4. Fan Z., Xu F. Health risks of occupational exposure to toxic chemicals in coal mine workplaces based on risk assessment mathematical model based on deep learning. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, vol. 22, pp. 101500. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101500
5. Moscicka-Teske A., Sadtowska-Wrzesinska J., Najder A., Butlewski M. The relationship between psychosocial risk and occupational functioning among miners. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, 2019, vol. 32, no. 1, pp. 87–98. DOI: 10.13075/ijom.1896.01162
6. Marica L., Irimie S., Baleanu V. Aspects of occupational morbidity in the mining sector. *Procedia Economics and Finance*, 2015, vol. 23, pp. 146–151. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00368-8
7. Talykova L.V., Bykov V.R. Study of the effect of occupational exposure at the Arctic zone (literature review). *Rossiiskaya Arktika*, 2021, no. 3 (14), pp. 41–53. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-3-00-04 (in Russian).
8. Chebotarev A.G., Sementsova D.D. Comprehensive Assessment of Working Conditions and Occupational Disease Rates at Mining and Metallurgical Enterprises. *Gornaya promyshlennost'*, 2021, no. 1, pp. 114–119. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-114-119 (in Russian).
9. Chebotarev A.G. Current working environment at mines and ways of its improvement. *Gornaya promyshlennost'*, 2012, no. 2 (102), pp. 84–88 (in Russian).
10. Syurin S.A. Health risks of mining in the Arctic. *ZNiSO*, 2020, no. 11 (332), pp. 55–61. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-332-11-55-61 (in Russian).
11. Hlusova V.P. Professional'nye riski v gornodobyvayushchei promyshlennosti i metody ikh snizheniya [Occupational risks in the mining industry and methods of reducing them]. *Obrazovanie, nauka, proizvodstvo: sbornik nauchnykh trudov VII Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma*, Belgorod, 2015, pp. 461–465 (in Russian).
12. Gorlenko N.V., Murzin M.A. Comparative analysis of occupational risks for mining employees in Irkutsk region. *XXI Vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'*, 2018, vol. 3, no. 4 (12), pp. 23–31. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-4-23-31 (in Russian).

© Fadeev A.G., Goryaev D.V., Shur P.Z., Zaitseva N.V., Fokin V.A., Red'ko S.V., 2024

**Aleksei G. Fadeev** – Head of the Department for Supervision of Working Conditions (e-mail: onut@24.rospotrebnadzor.ru; tel.: +7 (391) 227-66-43; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1712-9196>).

**Dmitrii V. Goryaev** – Candidate of Medical Sciences, Head of the Administration, Chief State Sanitary Inspector for the Krasnoyarsk region (e-mail: office@24.rospotrebnadzor.ru; tel.: +7 (391) 226-89-50; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6450-4599>).

**Nina V. Zaitseva** – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Director (e-mail: znv@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-25-34; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

**Pavel Z. Shur** – Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher-Academic Secretary (e-mail: shur@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105>).

**Svetlana V. Red'ko** – Senior Researcher at the Health Risk Analysis Department (e-mail: redkosv@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2736-5013>).

**Vladimir A. Fokin** – Researcher at the Health Risk Analysis Department (e-mail: fokin@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0539-7006>).

13. Golovkova N.P., Kotova N.I., Chebotarev A.G. Otsenka urovnya professional'nogo riska u rabotnikov gorno-metallurgicheskikh predpriyatii po rezul'tatam spetsial'noi otsenki uslovii truda [Assessment of the occupational risk level among workers at mining and metallurgical enterprises based on the results of a special assessment of working conditions]. *Sovremennye problemy meditsiny truda: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 80-letiyu akademika RAN N.Kh. Amirova*. Kazan', Kazanskii GMU; FGBNU «NII MT», 2019, pp. 51–54. DOI: 10.31089/978-5-6042929-0-7-2019-1-51-54 (in Russian).
14. Liu G., Xu Q., Zhao J., Nie W., Guo Q., Ma G. Research status of pathogenesis of pneumoconiosis and dust control technology in mine – A review. *Appl. Sci.*, 2021, vol. 11, no. 21, pp. 10313. DOI: 10.3390/app112110313
15. Bukhtiyarov I.V., Chebotarev A.G. Gigienicheskie problemy uluchsheniya uslovii truda na gornodobyvayushchikh predpriyatiyakh [Hygienic problems of improving working conditions at mining enterprise]. *Gornaya promyshlennost'*, 2018, no. 5 (141), pp. 33–35. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-33-35 (in Russian).
16. Laney A.S., Petsonk E.L., Hale J.M., Wolfe A.L., Attfield M.D. Potential determinants of coal workers pneumoconiosis, advanced pneumoconiosis, and progressive massive fibrosis among underground coal miners in the United States, 2005–2009. *Am. J. Public Health*, 2012, vol. 102, suppl. 2, pp. S279–S283. DOI: 10.2105/AJPH.2011.300427
17. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Pneumoconiosis and advanced occupational lung disease among surface coal miners – 16 states, 2010–2011. *MMWR Morb. Mortal. Wkly Rep.*, 2012, vol. 61, no. 23, pp. 431–434.
18. Song Z.F., Qian H.Y., Wang S.S., Jia X.-M., Ye Y., Ni C.-H. [Analysis on the incidence of coal workers pneumoconiosis from 2003 to 2008 in a coal mining group]. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*, 2011, vol. 29, no. 1, pp. 56–58 (in Chinese).
19. Cebi S., Karamustafa M. A New Fuzzy Based Risk Assessment Approach for the Analysis of Occupational Risks in Manufacturing Sector. *Intelligent and Fuzzy Systems. INFUS 2022: Lecture Notes in Networks and Systems*. Cham, Springer Publ., 2022, vol. 504, pp. 261–270. DOI: 10.1007/978-3-031-09173-5\_33
20. Siurin S.A., Shilov V.V. Features of health disorders in miners employed at northern copper-nickel mines. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 5, pp. 455–459. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-5-455-459 (in Russian).
21. Kurenkova G.V., Lemeshevskaya E.P. Hygienic characteristics of working conditions in underground structures and their impact on the health of workers. *Sibirskii meditsinskii zhurnal (Irkutsk)*, 2015, vol. 136, no. 5, pp. 98–105 (in Russian).
22. Kosjachenko G.E. Hygienic assessment conditions during professional contact with aerosols predominantly fibrogenic action type. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda*, 2010, no. 16, pp. 196–201 (in Russian).
23. Sukhova A.V., Preobrazhenskaya E.A., Il'nitskaya A.V., Kir'yakov V.A. The health of workers of concentrating mills by modern technologies of concentration of minerals and prevention measures. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*, 2017, vol. 61, no. 4, pp. 196–201. DOI: 10.18821/0044-197X-2017-61-4-196-201 (in Russian).
24. Serebryakov P.V. Using the evaluation of carcinogenic risk in the mining and metallurgical enterprises of the Arctic. *Gigiena i sanitariya*, 2012, vol. 91, no. 5, pp. 95–98 (in Russian).
25. Kulinichenko S.K. The functional state of the central nervous system lead production workers. *Nauka i zdravookhranenie*, 2012, vol. 2, pp. 128–130 (in Russian).
26. Gunnarsson L.-G., Bodin L. Occupational exposures and neurodegenerative diseases – a systematic literature review and meta-analyses. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2019, vol. 16, no. 3, pp. 337. DOI: 10.3390/ijerph16030337
27. Syurin S.A., Petrenko O.D. Mikozy mednoi gory. Osobennosti zaboлевanii kozhi u rabotnikov medno-nikelevoi promyshlennosti [Features of skin diseases in copper-nickel industry workers]. *Bezopasnost' i okhrana truda*, 2012, no. 3 (52), pp. 79–81 (in Russian).
28. Belitskaya V.J., Tiunova M.I., Nosov A.E., Ustinova O.J., Kiryanov D.A. Prognoz veroyatnostnoi otsenki razvitiya arterial'noi gipertenzii u rabotnikov tsvetnoi metallurgii v usloviyakh sochetannogo vozdeistviya fizicheskikh i fiziologicheskikh proizvodstvennykh faktorov [A prognosis of probabilistic assessment of the development of essential hypertension in non-ferrous metallurgy workers under combined exposure to physical and physiological production factors]. *Aktual'nye voprosy analiza riska pri obespechenii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya i zashchity prav potrebiteli: materialy VIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Actual issues of risk analysis in ensuring the sanitary and epidemiological well-being of the population and the protection of consumer rights: materials of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation]*. In: A.Yu. Popova, N.V. Zaitseva eds. Perm, 2018, pp. 495–500 (in Russian).
29. Gurvich V.B., Milovankina N.O., Gazimova V.G. Dispanserizatsiya rabotnikov metallurgicheskogo proizvodstva s vysokim serdechno-sosudistym riskom kak optimal'nyi metod pervichnoi i vtorichnoi profilaktiki [Clinical examination of metal industry workers with high cardiovascular risk as the optimal method of primary and secondary prevention]. *Sovremennye problemy meditsiny truda: sbornik materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 80-letiyu akademika RAN N.Kh. Amirova*. Kazan', Kazanskii GMU; FGBNU «NII MT», 2019, pp. 66–68. DOI: 10.31089/978-5-6042929-0-7-2019-1-66-68 (in Russian).
30. Strzemecka J., Gozdziwska M., Skrodziuk J., Galinska E.M., Lachowski S. Factors of work environment hazardous for health in opinions of employees working underground in the 'Bogdanka' coal mine. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 2019, vol. 26, no. 3, pp. 409–414. DOI: 10.26444/aaem/106224
31. Fedina I.N., Serebryakov P.V., Smolyakova I.V., Melent'ev A.V. Evaluation of arterial hypertension risk under exposure to noise and chemical occupational hazards. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2017, no. 2, pp. 21–25 (in Russian).
32. Bekeyeva S.A., Yesbenbetova J.H., Nurgaziyeva A.E. Adaptation potential of drivers of the large dump trucks in mining industry. *Nauka i mir*, 2019, no. 2–1 (66), pp. 37–39 (in Russian).
33. Sadykov M.N., Otarov E.Z., Asenova L.Kh., Makanova U.K., Aitmagambetov A.R., Tyl L.V. Hygienic assessment of employees of mining and ore industry. *Meditsina i ekologiya*, 2017, no. 3 (84), pp. 71–73 (in Russian).

34. Korshunov G.L., Cherkay Z.N., Mukhina N.V., Gridina E.B., Skudarnov S.M. Professional diseases of workers in the mining industry. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal)*, 2012, no. S2–5, pp. 5–10 (in Russian).
35. Gorbanev S., Syurin S., Kovshov A. Features of Occupational Health Risks in the Russian Arctic (on the Example of Nenets Autonomous Okrug and Chukotka Autonomous Okrug). *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 1061. DOI: 10.3390/ijerph18031061
36. Haase L.-M., Birk T., Poland C.A., Holz O., Miiller M., Bachand A.M., Mundt K.A. Cross-sectional Study of Workers Employed at a Copper Smelter-Effects of Long-term Exposures to Copper on Lung Function and Chronic Inflammation. *J. Occup. Environ. Med.*, 2022, vol. 64, no. 9, pp. 550–558. DOI: 10.1097/JOM.0000000000002610
37. Assad N., Sood A., Campen M.J., Zychowski K.E. Metal-Induced Pulmonary Fibrosis. *Curr. Environ. Health Rep.*, 2018, vol. 5, no. 4, pp. 486–498. DOI: 10.1007/s40572-018-0219-7
38. Syurin S.A., Gushchin I.V., Nikanov A.N. Occupational pathology of workers employed in different productions of copper-nickel industry in Far North. *Ekologiya cheloveka*, 2012, no. 6, pp. 8–12 (in Russian).
39. Casarett L.J., Doull J., Klaassen C.D. Casarett and Doull's Toxicology: the basic science of poisons. In: C.D. Klaassen ed. NY, McGraw-Hill, Medical Publishing Division, 2001, pp. 649–650, 837–839.
40. Grimsrud T.K., Berge S.R., Haldorsen T., Andersen A. Exposure to different forms of nickel and risk of lung cancer. *Am. J. Epidemiol.*, 2002, vol. 156, no. 12, pp. 1123–1132. DOI: 10.1093/aje/kwf165
41. Guo H., Liu H., Wu H., Cui H., Fang J., Zuo Z., Deng J., Li Y. [et al.]. Nickel Carcinogenesis Mechanism: DNA Damage. *Int. J. Mol. Sci.*, 2019, vol. 20, no. 19, pp. 4690. DOI: 10.3390/ijms20194690
42. Genchi G., Carocci A., Lauria G., Sinicropi M.S., Catalano A. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 3, pp. 679. DOI: 10.3390/ijerph17030679
43. Tamrazova O.B., Seleznev S.P. Nickel allergic contact dermatitis. *Meditsinskii sovet*, 2022, vol. 16, no. 3, pp. 121–129. DOI: 10.21518/2079-701X-2022-16-3-121-129 (in Russian).
44. Das K.K., Reddy R.C., Bagoji I.B., Das S., Bagali S., Mullur L., Khodnapur J.P., Biradar M.S. Primary concept of nickel toxicity – an overview. *J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol.*, 2018, vol. 30, no. 2, pp. 141–152. DOI: 10.1515/jbcpp-2017-0171
45. Kasikov A.G. Particulate emissions from copper-nickel production and the consequences of their impact on human body in the Far North. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*, 2017, vol. 9, no. 4, pp. 58–63 (in Russian).
46. Biessikirski A., Dworzak M., Twardosz M. Composition of Fumes and Its Influence on the General Toxicity and Applicability of Mining Explosives. *Mining*, 2023, vol. 3, no. 4, pp. 605–617. DOI: 10.3390/mining3040033

Fadeev A.G., Goryaev D.V., Shur P.Z., Zaitseva N.V., Fokin V.A., Red'ko S.V. Harmful chemicals in occupational air in the ore mining sector of the metal industry as occupational health risk factors (analytical review). *Health Risk Analysis*, 2024, no. 2, pp. 153–161. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.14.eng

Получена: 07.05.2024

Одобрена: 29.05.2024

Принята к публикации: 20.06.2024