

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-5-17-22>
Original Research Article

© Коллектив авторов, 2024

УДК 613.1; 614



Количественная априорная оценка профессионального канцерогенного риска здоровью работников предприятий по подземной добыче медно-никелевой руды в Арктической зоне Российской Федерации

А.Г. Фадеев¹, Д.В. Горяев¹, Н.В. Зайцева², П.З. Шур², В.А. Фокин²

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

² ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, ул. Монастырская, д. 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация

Резюме

Введение. Канцерогенные вещества в воздухе рабочей зоны потенциально способны вызывать онкологические заболевания не только легких, но и других органов, что является проблемой при определении связи заболевания с профессией.

Цель исследования. Оценка профессионального канцерогенного риска здоровью работников, связанного с химическими факторами воздуха рабочей зоны предприятий по подземной добыче медно-никелевой руды в Арктической зоне Российской Федерации.

Материалы и методы. Априорная количественная оценка профессионального канцерогенного риска на рабочих местах бурильщика шпуров, машиниста погрузочно-доставочной машины, крепильщика, горнорабочего очистного забоя проводилась на основании результатов инструментальных исследований воздуха рабочей зоны с использованием стандартных параметров, изложенных в Руководстве Р 2.2.3969–23. В качестве концентрации, используемой для оценки профессионального канцерогенного риска, использовалось среднее значение, рассчитанное на основании диапазона значений, полученных по данным лабораторных испытаний. Категорирование количественных уровней профессионального канцерогенного риска производилось с использованием критериев, представленных в разделе 6 Руководства.

Результаты и обсуждение. Неприемлемые уровни суммарного канцерогенного риска (выше 1×10^{-3}) отмечаются на рабочих местах крепильщика и бурильщика. К приоритетным веществам, формирующим основной вклад в величину суммарного канцерогенного риска на рабочих местах крепильщика и бурильщика, относятся хром и никель. Необходимо отметить неопределенности в оценке риска, обусловленные применением факторов канцерогенного потенциала, разработанных для всего населения в целом. К неопределенностям, связанным с определением уровней экспозиции, следует отнести отсутствие возможности учета эффективности использования средств индивидуальной защиты.

Заключение. В ходе априорной количественной оценки профессионального канцерогенного риска установлены его недопустимые значения на рабочих местах крепильщика и бурильщика. Наличие канцерогенного риска обуславливает необходимость разработки мероприятий по его снижению до допустимых значений, а также комплекса медико-профилактических мероприятий на период снижения уровней риска.

Ключевые слова: профессиональный риск, воздух рабочей зоны, канцерогены, количественная оценка риска, никель.

Для цитирования: Фадеев А.Г., Горяев Д.В., Зайцева Н.В., Шур П.З., Фокин В.А. Количественная априорная оценка профессионального канцерогенного риска здоровью работников предприятий по подземной добыче медно-никелевой руды в Арктической зоне Российской Федерации // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 5. С. 17–22. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-5-17-22

A Priori Quantitative Assessment of Occupational Carcinogenic Risks for Underground Copper–Nickel Miners in the Russian Arctic

Aleksey G. Fadeev,¹ Dmitry V. Goryaev,¹ Nina V. Zaitseva,² Pavel Z. Shur,² Vladimir A. Fokin²

¹ Office of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Krasnoyarsk Krai, 21 Karatanov Street, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

² Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Street, Perm, 614045, Russian Federation

Summary

Introduction: Workplace air carcinogens have the potency to induce malignant tumors not only of the lungs but also of other organs, which creates problems in establishing a causal relationship between job and disease.

Objective: To assess occupational carcinogenic risks posed by chemicals found in the workplace air of underground copper-nickel miners in the Arctic Zone of the Russian Federation.

Materials and methods: A priori quantitative occupational carcinogenic risk assessment for drill operators, loading and hauling machine operators, timbermen, and stope miners was conducted using mean concentrations of chemicals calculated from the range of laboratory results of workplace air quality testing according to R 2.2.3969–23, *Guidelines for occupational risk assessment for workers' health: Organizational and methodological aspects, principles and criteria*. Quantitative occupational carcinogenic risk levels were categorized based on the criteria presented in Chapter 6 of the Guidelines.

Results and discussion: Unacceptable total carcinogenic risk levels ($> 1 \times 10^{-3}$) were found at workplaces of timbermen and drill operators. Priority substances contributing the most to the total carcinogenic risk for workers of these occupations are chromium and nickel. It should be noted that there are uncertainties in risk assessment related to the use of cancer potency factors established for the general population. The uncertainty in exposure assessment is associated with inability to consider the efficiency of the use of personal protective equipment.

Conclusion: Unacceptable risk levels at workplaces of timbermen and drill operators were estimated during a priori quantitative occupational carcinogenic risk assessment. They necessitate the development of risk mitigation measures and a set of preventive medicine activities for the period of reducing the risk to acceptable levels.

Keywords: occupational risk, workplace air, carcinogens, quantitative risk assessment, nickel.

Cite as: Fadeev AG, Goryaev DV, Zaitseva NV, Shur PZ, Fokin VA. A priori quantitative assessment of occupational carcinogenic risks for underground copper–nickel miners in the Russian Arctic. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(5):17–22. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-5-17-22

Введение. При проведении надзорных мероприятий в отношении содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны отмечаются разночтения между данными производственного контроля, специальной оценки условий труда (далее – СОУТ) и результатами, полученными по данным ведомственных лабораторий, в частности Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека [1–5]. При этом остро стоит проблема загрязнения воздуха рабочей зоны предприятий горнодобывающей промышленности химическими веществами и пылью [6–11], в том числе обладающими канцерогенным действием [12–16]. Канцерогенные вещества в воздухе рабочей зоны способны вызывать онкологические заболевания не только легких [17], но и других органов [18]. Проблема развития профессиональной онкологической патологии является актуальной для предприятий по добыче медно-никелевой руды [14, 15]. Развитие онкологической патологии различной локализации является проблемой при определении связи заболевания с профессией [19, 20].

Управлением Роспотребнадзора по Красноярскому краю в рамках федерального государственного санитарно-эпидемиологического контроля (надзора) в 2023 г. проведены выездные контрольные (надзорные) мероприятия на объектах по добыче полезных ископаемых, которые расположены в Арктической зоне. Предметом проведения контрольных (надзорных) мероприятий являлось соблюдение хозяйствующими субъектами обязательных требований санитарного законодательства Российской Федерации. В частности, надзор проводился в отношении воздуха рабочей зоны работников основных профессий горнодобывающей промышленности Арктической зоны. Отбор проб и последующие химико-аналитические исследования были проведены испытательным лабораторным центром ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» (аттестат аккредитации РОСС RU.0001.510243). В ходе проведения контрольных (надзорных) мероприятий проведен отбор проб воздуха рабочей зоны машиниста погрузочно-доставочной машины (далее – машинист ПДМ), горнорабочий очистного забоя (далее – ГРОЗ), крепильщика, бурильщика и установлены превышения гигиенических нормативов содержания никеля, также в воздухе рабочей зоны выявлены кадмий, кобальт, свинец, хром и мышьяк. Указанные профессии являются основными профессиями, которые заняты в ведущих технологических операциях при добыче медно-никелевой руды. Определение мест отбора проб воздуха рабочей зоны проводилось исходя из данных СОУТ о проценте времени работы в смену на каждой технологической операции, выбирались 3 наиболее затратных по времени операции, которые позволяют в дальнейшем провести оценку среднесменной концентрации.

Цель исследования – оценка профессионального канцерогенного риска здоровью работников, связанного с химическими факторами воздуха рабочей зоны предприятий по подземной добыче медно-никелевой руды в Арктической зоне Российской Федерации.

Материалы и методы. В ходе проведения контрольных (надзорных) мероприятий в 2023 году обследованы 2 рудника с проведением отбора проб и исследованием воздуха рабочей зоны на рабочих местах следующих профессий (по 1 рабочему месту на профессию): бурильщик шпуров, машинист ПДМ, крепильщик, ГРОЗ с применением аспираторов, спектрометра параллельного действия с индуктивно-связанной плазмой атомно-эмиссионный серии ICPE-9820 (номер в государственном реестре 60877-15). Количественные значения определяемых элементов получены на основании методики измерения массовых концентраций ПНД Ф 13.1:2:3.71-11¹. Дальнейшая априорная оценка профессионального риска по результатам инструментальных исследований проводилась в соответствии с руководством Р 2.2.3969–23² (далее – Руководство).

Априорная количественная оценка профессионального канцерогенного риска проведена на основании результатов инструментальных исследований воздуха рабочей зоны с использованием стандартных параметров, изложенных в Руководстве. При количественной оценке профессионального канцерогенного риска расчет дозовой нагрузки проводился по следующему сценарию: продолжительность воздействия – 24 года; частота воздействия – 250 смен в год; масса тела – 70 кг; период усреднения – 70 лет; скорость поступления воздуха – 7 кубометров.

В качестве концентрации, используемой для оценки профессионального канцерогенного риска, использовалось среднее значение (ввиду нормального распределения данных, определяемого по критерию Шапиро–Уилка), рассчитанное на основании диапазона значений, полученных по данным лабораторных испытаний (исследований), всего на каждом рабочем месте было проведено по 15 определений среднесменных концентраций в отношении каждого из 5 анализируемых канцерогенов. Категорирование количественных уровней профессионального канцерогенного риска производилось с использованием критериев, представленных в разделе 6 Руководства.

Результаты. По информации, представленной Управлением Роспотребнадзора по Красноярскому краю, среди работников предприятия по подземной добыче медно-никелевой руды за период 2001–2022 гг. регистрируются следующие профессиональные заболевания от воздействия пыли и химических веществ: бронхиальная астма (аллергического, токсического и смешанного генеза), профессиональный

¹ ПНД Ф 13.1:2:3.71-11 Количественный химический анализ атмосферного воздуха, промбросов в атмосферу и воздуха рабочей зоны. Методика измерений массовых концентраций загрязняющих компонентов в воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе, промышленных выбросах в атмосферу методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. М.: Федеральная служба по надзору в сфере природопользования.

² Р 2.2.3969–23. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. 77 с.

https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-5-17-22
Original Research Article

хронический бронхит, хроническая обструктивная болезнь легких, пневмонит, пневмоконйоз, эмфизема легких, а также онкологические заболевания профессионального генеза различной локализации. При этом онкологические заболевания занимают значительное место в структуре профессиональной заболеваемости работников предприятия. Доля онкологических заболеваний у работников данного предприятия за период исследования составляет более 30 % от общего числа заболеваний, обусловленных воздействием химических веществ и пыли в воздухе рабочей зоны.

В результате анализа протоколов СОУТ, представленных предприятием в рамках проведения надзорных мероприятий, на рабочих местах крепильщика, машиниста погрузочно-доставочных машин (машинист ПДМ), бурильщика, горнорабочего очистного забоя (ГРОЗ) установлено, что класс условий труда по химическому фактору отнесен ко 2-й категории (категория априорного риска в соответствии с Руководством – «малый (допустимый) риск»). Следует отметить, что в ходе специальной оценки условий труда оценка химического загрязнения воздуха рабочей зоны проводится в отношении оксида углерода, оксидов азота, акролеина, алифатических углеводородов и аммиака. Концентрации канцерогенов в воздухе рабочей зоны не определялись. Таким образом, актуальной является оценка профессионального

риска, обусловленного воздействием канцерогенных веществ на здоровье работников.

Результаты исследований концентраций канцерогенов в воздухе рабочей зоны, полученные в ходе проведения надзорных мероприятий на рабочих местах анализируемых профессий, представлены в табл. 1.

На рабочем месте крепильщика установлено превышение ПДК содержания никеля в воздухе рабочей зоны (класс условий труда 3.1, категория профессионального риска в соответствии с Руководством – «умеренный риск»). На остальных анализируемых рабочих местах превышений содержания канцерогенов в воздухе рабочей зоны не установлено.

Из дальнейшей оценки экспозиции и расчета канцерогенного риска исключены: свинец (на рабочем месте бурильщика), мышьяк (на рабочих местах крепильщика, машиниста ПДМ и бурильщика) ввиду отсутствия количественных определений указанных веществ на уровне выше нижнего предела определения методики.

Расчет дозовой нагрузки проведен с использованием параметров, отраженных в разделе «Материалы и методы» в соответствии с Руководством. Расчетные величины доз канцерогенов отражены в табл. 2.

Представленные дозы были использованы в дальнейшем расчете уровней канцерогенного

Таблица 1. Результаты лабораторных испытаний (исследований) концентраций канцерогенов в воздухе рабочей зоны, мг/м³

Table 1. Measured workplace air concentrations of carcinogens by job, mg/m³

Рабочее место / Job	Значение концентраций / Concentration	Никель / Nickel	Кобальт / Cobalt	Свинец / Lead	Хром / Chromium	Мышьяк / Arsenic
Крепильщик / Timberman	Min	0,00278	< НПО* / < LOD*	< НПО	< НПО	< НПО
	Max	0,183	0,0082	0,00248	0,0038	< НПО
	$M \pm m^{**}$	$0,066727 \pm 0,02201$	$0,00301 \pm 0,00098$	$0,000993 \pm 0,000281$	$0,001433 \pm 0,000447$	< НПО
Машинист ПДМ / Loading and hauling machine operator	Min	< НПО	< НПО	< НПО	< НПО	< НПО
	Max	0,0044	0,00023	0,00025	0,00069	< НПО
	$M \pm m$	$0,002717 \pm 0,000476$	$0,000143 \pm 0,000016$	$0,00025 \pm 0,000032$	$0,000397 \pm 0,000055$	< НПО
Бурильщик / Drill operator	Min	0,0042	0,00025	< НПО	0,00082	< НПО
	Max	0,0129	0,00068	< НПО	0,0009	< НПО
	$M \pm m$	$0,0085 \pm 0,000949$	$0,000453 \pm 0,000047$	< НПО	$0,00087 \pm 0,00001$	< НПО
ГРОЗ / Stope miner	Min	0,0031	< НПО	< НПО	< НПО	< НПО
	Max	0,005	0,0003	0,00068	0,00074	0,00025
	$M \pm m$	$0,0042 \pm 0,000215$	$0,00022 \pm 0,000023$	$0,000393 \pm 0,000054$	$0,00054 \pm 0,000056$	$0,00025 \pm 0,000015$

Примечание: * НПО – нижний предел определения методики; ** $M \pm m$ – среднее \pm ошибка среднего.

Notes: * LOD, limit of detection; ** $M \pm m$, mean \pm error of mean.

Таблица 2. Расчетные величины доз канцерогенов для работников анализируемых профессий, мг/кг массы тела в день

Table 2. Estimated exposure doses of carcinogens by job, mg/kg body weight per day

Вещества / Chemicals	Крепильщик / Timberman	Машинист ПДМ / Loading and hauling machine operator	Бурильщик / Drill operator	ГРОЗ / Stope miner
Никель / Nickel	$1,57 \times 10^{-3}$	$6,38 \times 10^{-5}$	$2,00 \times 10^{-4}$	$9,86 \times 10^{-5}$
Кобальт / Cobalt	$7,08 \times 10^{-5}$	$3,37 \times 10^{-6}$	$1,06 \times 10^{-5}$	$5,17 \times 10^{-6}$
Свинец / Lead	$2,33 \times 10^{-5}$	$5,87 \times 10^{-6}$	–	$9,24 \times 10^{-6}$
Хром / Chromium	$3,37 \times 10^{-5}$	$9,32 \times 10^{-6}$	$2,04 \times 10^{-5}$	$1,27 \times 10^{-5}$
Мышьяк / Arsenic	–	–	–	$5,87 \times 10^{-6}$

риска. В качестве факторов канцерогенного потенциала использованы значения, представленные в руководстве Р 2.1.10.3968–23³, ввиду отсутствия значений факторов канцерогенного потенциала непосредственно для работающих.

Полученные значения канцерогенного риска (Cr) представлены в табл. 3.

Неприемлемые уровни суммарного канцерогенного риска (выше 1×10^{-3}) отмечаются на рабочих местах крепильщика и бурильщика, что вероятно обусловлено выделением значительного количества взвешенных веществ, имеющих в своем составе хром и никель, в воздух рабочей зоны.

В связи с установлением неприемлемых уровней канцерогенного риска для здоровья работников проведен расчет величины долевого вклада отдельных веществ в суммарный уровень канцерогенного риска на рабочих местах с его неприемлемым суммарным уровнем (табл. 4).

Наибольший вклад в величину суммарного канцерогенного риска на рабочих местах крепильщика и бурильщика вносят никель и хром. На рабочем месте крепильщика суммарный вклад данных веществ составляет более 70 %, на рабочем месте бурильщика – более 90 %.

Обсуждение. К приоритетным веществам, формирующим основной вклад в величину суммарного канцерогенного риска на рабочих местах с неприемлемым уровнем суммарного канцерогенного риска (рабочие места крепильщика и бурильщика), относятся хром и никель. По данным литературных источников подтверждается связь развития более 70 % злокачественных новообразований с водонерастворимыми соединениями никеля [14], как одного из основных компонентов никельсодержащих аэрозолей, попадающих в воздух рабочей зоны при выполнении различных технологических операций [15]. Различия в величине вклада никеля и хрома в уровень канцерогенного риска на рабочих местах

крепильщика и бурильщика связаны с различным уровнем концентраций этих металлов в воздухе рабочей зоны, что, в свою очередь, может быть обусловлено особенностями рабочих процессов. При этом бурильщики имеют более прямой контакт с горной породой, в то время как крепильщики в основном занимаются укреплением свода шахты. Таким образом, результаты априорной количественной оценки профессионального канцерогенного риска подтверждают ведущую роль канцерогенов в воздухе рабочей зоны в развитии профессиональной онкологической патологии среди работников пылевых профессий предприятий по подземной добыче медно-никелевой руды. Высокий уровень заболеваемости на фоне канцерогенной нагрузки за счет производственной среды, связанной с медно-никелевым производством, требует постоянного проведения мониторинга онкологических заболеваний.

Необходимо отметить неопределенности в оценке риска, обусловленные применением факторов канцерогенного потенциала, разработанных для всего населения в целом. К неопределенностям, связанным с определением уровней экспозиции, следует отнести отсутствие возможности учета эффективности использования средств индивидуальной защиты.

Заключение. В ходе анализа данных СОУТ, установлено, что, невзирая на высокую долю онкологической заболеваемости среди шахтеров, канцерогенные вещества при специальной оценке условий труда в воздухе рабочей зоны не определяются. Следовательно, необходимо расширение перечня веществ, определяемых в воздухе рабочей зоны при проведении СОУТ, а также включение канцерогенных веществ в программу производственного лабораторного контроля.

В ходе априорной количественной оценки профессионального канцерогенного риска установлены

Таблица 3. Значения канцерогенного риска, в том числе суммарного, для работников анализируемых профессий

Table 3. Total and chemical-specific carcinogenic risks by job

Вещества / Chemicals	Крепильщик / Timberman	Машинист ПДМ / Loading and hauling machine operator	Бурильщик / Drill operator	ГПОЗ / Stope miner
Никель / Nickel	$1,32 \times 10^{-3}$	$5,36 \times 10^{-5}$	$1,68 \times 10^{-4}$	$8,28 \times 10^{-5}$
Кобальт / Cobalt	$6,93 \times 10^{-4}$	$3,30 \times 10^{-5}$	$1,04 \times 10^{-4}$	$5,06 \times 10^{-5}$
Свинец / Lead	$9,80 \times 10^{-7}$	$2,47 \times 10^{-7}$	–	$3,88 \times 10^{-7}$
Хром / Chromium	$1,41 \times 10^{-3}$	$3,91 \times 10^{-4}$	$8,58 \times 10^{-4}$	$5,33 \times 10^{-4}$
Мышьяк / Arsenic	–	–	–	$7,05 \times 10^{-5}$
Суммарный CR / Total CR	$3,42 \times 10^{-3}$	$4,78 \times 10^{-4}$	$1,13 \times 10^{-3}$	$7,37 \times 10^{-4}$

Таблица 4. Величина долевого вклада отдельных веществ в величину суммарного канцерогенного риска, %

Table 4. Contribution of certain chemicals to the total carcinogenic risk, %

Вещества / Chemicals	Крепильщик / Timberman	Бурильщик / Drill operator
Никель / Nickel	38,44	14,84
Кобальт / Cobalt	20,25	9,23
Свинец / Lead	0,03	0,00
Хром / Chromium	41,28	75,93

³ Р 2.1.10.3968–23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителя и благополучия человека, 2023. 221 с.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-5-17-22>
Original Research Article

его недопустимые значения на рабочих местах крепыльщика и бурыльщика. Основной вклад в величину недопустимого риска вносят хром и никель, содержащиеся в воздухе рабочей зоны, что обуславливает необходимость разработки мероприятий по снижению канцерогенного риска до допустимых значений, а также комплекса медико-профилактических мероприятий на период снижения уровней риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Скрипник И.Л. Специальная оценка и анкетирование условий труда бурыльщиков скважин // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей третьей международной научной конференции. Часть 1. Казань: ООО «Конверт» 2020. С. 131–133.
- Дадонова В.А., Корчагин А.Б. Проблемы улучшения условий труда на табачном производстве // Техносферная безопасность: Материалы Седьмой Национальной научно-технической конференции. Омск: Омский государственный технический университет. 2020. С. 121–125.
- Бухтияров И.В., Прокопенко Л.В., Лагутина А.В., Курьеров Н.Н., Почтарева Е.С. Актуальность адаптации формы санитарно-гигиенической характеристики условий труда к новому санитарному законодательству // Медицина труда и промышленная экология. 2021. Т. 61. № 12. С. 787–796. doi: 10.31089/1026-9428-2021-61-12-787-796
- Новикова Т.А., Спиринов В.Ф., Алешина Ю.А., Луцевич И.Н., Барегамян Л.А. Риск развития профессионально обусловленных заболеваний у работников производства пищевой продукции // Проблемы гигиенической безопасности и профилактики нарушений трудоспособности у работающих. Материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции. Под редакцией И.А. Умнягиной. Нижний Новгород: Медиа 2021. С. 88–95.
- Иващенко М.А., Федорук А.А., Мартин С.В., Кудряшов И.Н. Гигиеническая оценка условий труда пластыльщика при получении свинца из вторичного сырья // Проблемы гигиенической безопасности и профилактики нарушений трудоспособности у работающих. Материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции. Под редакцией И.А. Умнягиной. Нижний Новгород: Медиа 2021. С. 96–102.
- Власова, Н.В., Масыгутова Л.М., Аралбаев Х.Ф., Хайруллин Р.У., Иванова Р.Ш. Изменения гематологических показателей у работников горнодобывающей промышленности // Медицина труда и экология человека. 2020. № 3 (23). С. 21–28 doi: 10.24411/2411-3794-2020-10303
- Colinet JF, Halldin CN, Schall J. *Best Practices for Dust Control in Coal Mining, 2nd ed.* Pittsburgh PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2021-119, IC 9532. doi: 10.26616/NIOSH/PUB2021119
- Xiu Z, Nie W, Yan J, et al. Numerical simulation study on dust pollution characteristics and optimal dust control air flow rates during coal mine production. *J Clean Prod.* 2020;248:119197. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119197
- Ziętek B, Banasiewicz A, Zimroz R, Szrek J, Gola S. A portable environmental data-monitoring system for air hazard evaluation in deep underground mines. *Energies.* 2020;13(23):6331. doi: 10.3390/en13236331
- Trechera P, Moreno T, Córdoba P, et al. Comprehensive evaluation of potential coal mine dust emissions in an open-pit coal mine in Northwest China. *Int J Coal Geol.* 2021;235:103677. doi: 10.1016/j.coal.2021.103677
- Huang R, Shen X, Wang B, Liao X. Migration characteristics of CO under forced ventilation after excavation roadway blasting: A case study in a plateau mine. *J Clean Prod.* 2020;267:122094. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122094
- Mensah MK, Mensah-Darkwa K, Drebenstedt C, Annam BV, Armah EK. Occupational respirable mine dust and diesel

- particulate matter hazard assessment in an underground gold mine in Ghana. *J Health Pollut.* 2020;10(25):200305. doi: 10.5696/2156-9614-10.25.200305
- Ngo P, Sarich P, Feletto E, et al. Occupational exposure to respirable carcinogens and the risk of cancer. *Eur Respir Monogr.* 2022;98:71-81. doi: 10.1183/2312508X.10018521
 - Сюрин С.А. Риск злокачественных новообразований при добыче и переработке никелевых руд в Арктике. *Врач.* 2020. Т. 31. № 12. С. 33–37. doi:10.29296/25877305-2020-12-07
 - Серебряков П.В., Рушкевич, О.П., Луценко, Л.А., Антошина Л.И., Карташев О.И. Профессиональный канцерогенный риск на горнорудных и металлургических предприятиях Заполярья // Уральский медицинский журнал. 2008. Т. 51. № 11. С. 67–71.
 - Тихонова Г.И., Брылёва М.С. К анализу факторов риска смертности от злокачественных новообразований мужского населения промышленных моногородов // Анализ риска здоровью. 2021. № 3. С. 67–77. doi: 10.21668/health.risk/2021.3.06
 - Грибова Ю.В., Бушуева Т.В., Рослая Н.А., Силантьева Е.А., Лабзова А.К., Шмоница О.Г. Оценка предикторов и маркеров злокачественных новообразований легких у работников металлургического предприятия // Вестник уральской медицинской академической науки. 2015. № 2. С. 32–36.
 - Олссон Э, Шубауер-Бериган М, Шюц Й. Стратегии Международного агентства по изучению рака по снижению бремени профессиональных злокачественных новообразований // Медицина труда и промышленная экология. 2021. Т. 61. № 3. С. 140–154. doi:10.31089/1026-9428-2021-61-3-140-154
 - Леонов М.Г., Харбандариди Е.С., Рахуба Г.А. и др. Изучение роли профессиональных факторов в возникновении новообразований у работников портовых предприятий г. Новороссийска. Эффективная фармакотерапия. 2023. Т. 19. № 15. С. 18–22. doi 10.33978/2307-3586-2023-19-15-18-22
 - Серебряков П.В. Подходы к оптимизации экспозиции профессиональных злокачественных новообразований // Вестник уральской медицинской академической науки. 2015. № 2. С. 80–83.

REFERENCES

- Skrpnik IL. [Special assessment and survey of working conditions for well drillers.] In: *Priority Directions of Innovative Activity in Industry: Proceedings of the Third International Scientific Conference, Kazan, March 16, 2020.* Moscow: "Konvert" Publ.; 2020;1:131-133. (In Russ.)
- Dadonova VA, Korchagin AB. [Problems of improving working conditions in tobacco production.] In: *Technosphere Safety: Proceedings of the Seventh National Scientific and Technical Conference, Omsk, October 17, 2020.* Omsk: Omsk State Technical University; 2020:121-125. (In Russ.)
- Bukhtiarov IV, Prokopenko LV, Lagutina AV, Courierov NN, Pochtareva ES. Adapting the Form of the sanitary and hygienic characteristics of working conditions to the new Sanitary Law. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya.* 2021;61(12):787-796. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2021-61-12-787-796
- Novikova TA, Spirin VF, Aleshina YuA, Lutsevich IN, Baregamyan LA. [The risk of occupational diseases among workers in food production.] In: Umnyagina IA, ed. *Problems of Health Safety and Prevention of Work Incapacity: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Internet Conference, Nizhny Novgorod, November 24–25, 2021.* Nizhny Novgorod: "Medial" Publ.; 2021:88-95. (In Russ.)
- Ivashchenko MA, Fedoruk AA, Martin SV, Kudryashov IN. [Hygienic assessment of working conditions of smelters in the production of lead from recycled materials.] In: Umnyagina IA, ed. *Problems of Health Safety and Prevention of Work Incapacity: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Internet Conference, Nizhny Novgorod, November 24–25, 2021.* Nizhny Novgorod: "Medial" Publ.; 2021:96-102. (In Russ.)
- Vlasova NV, Masyagutova LM, Aralbaev HF, Khayrullin RU, Ivanova RSh. Changes in hematological indicators in mining

- industry workers. *Meditsina Truda i Ekologiya Cheloveka*. 2020;(3(23)):21-28. (In Russ.) doi: 10.24412/2411-3794-2020-10303
7. Colinet JF, Halldin CN, Schall J. *Best Practices for Dust Control in Coal Mining, 2nd ed.* Pittsburgh PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2021-119, IC 9532. doi: 10.26616/NIOSH/PUB2021119
 8. Xiu Z, Nie W, Yan J, et al. Numerical simulation study on dust pollution characteristics and optimal dust control air flow rates during coal mine production. *J Clean Prod*. 2020;248:119197. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119197
 9. Ziętek B, Banasiewicz A, Zimroz R, Szrek J, Gola S. A portable environmental data-monitoring system for air hazard evaluation in deep underground mines. *Energies*. 2020;13(23):6331. doi: 10.3390/en13236331
 10. Trechera P, Moreno T, Córdoba P, et al. Comprehensive evaluation of potential coal mine dust emissions in an open-pit coal mine in Northwest China. *Int J Coal Geol*. 2021;235:103677. doi: 10.1016/j.coal.2021.103677
 11. Huang R, Shen X, Wang B, Liao X. Migration characteristics of CO under forced ventilation after excavation roadway blasting: A case study in a plateau mine. *J Clean Prod*. 2020;267:122094. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122094
 12. Mensah MK, Mensah-Darkwa K, Drebenstedt C, Annam BV, Armah EK. Occupational respirable mine dust and diesel particulate matter hazard assessment in an underground gold mine in Ghana. *J Health Pollut*. 2020;10(25):200305. doi: 10.5696/2156-9614-10.25.200305
 13. Ngo P, Sarich P, Feletto E, et al. Occupational exposure to respirable carcinogens and the risk of cancer. *Eur Respir Monogr*. 2022;98:71-81. doi: 10.1183/2312508X.10018521
 14. Syurin SA. The risk of malignant tumors in mining and processing of nickel ores in the Arctic. *Vrach*. 2020;31(12):33-37. (In Russ.) doi: 10.29296/25877305-2020-12-07
 15. Serebryakov PV, Rushkevich OP, Lutsenko LA, Antoshina LI, Kartashev OI. [Occupational carcinogenic risk at mining and metallurgical enterprises in the Arctic.] *Ural'skiy Meditsinskiy Zhurnal*. 2008;(11(51)):67-71. (In Russ.)
 16. Tikhonova GI, Bryleva MS. On assessing risk factors that cause mortality due to malignant neoplasms among men living in industrial monotowns. *Health Risk Analysis*. 2021;(3):67-76. doi: 10.21668/health.risk/2021.3.06.eng
 17. Gribova YuV, Bushuyeva TV, Roslaya NA, Silantyeva YeA, Labzova AK, Shmonina OG. Assessment of the predictors and markers of malignant tumors in the lungs of metallurgical plant workers. *Vestnik Ural'skoy Meditsinskoy Akademicheskoy Nauki*. 2015;(2(53)):32-36. (In Russ.)
 18. Olsson A, Shubauer-Berigan M, Schüz J. Strategies of the International Agency for Research on Cancer (IARC/WHO) to reduce the occupational cancer burden. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2021;61(3):140-154. doi: 10.31089/1026-9428-2021-61-3-140-154
 19. Leonov MG, Kharbandaridi ES, Rakhuba GA, Istomina DE, Chernov SN. Study of the role of professional factors in the occurrence of neoplasms in employees of port enterprises of Novorossiysk. *Effektivnaya Farmakoterapiya*. 2023;19(15):18-22. (In Russ.) doi: 10.33978/2307-3586-2023-19-15-18-22
 20. Serebryakov PV. Approaches to optimization of the occupational cancers examination process. *Vestnik Ural'skoy Meditsinskoy Akademicheskoy Nauki*. 2015;(2(53)):80-83. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Фадеев Алексей Геннадьевич – начальник отдела надзора за условиями труда Управления Роспотребнадзора по Красноярскому краю; e-mail: onut@24.rospotrebnadzor.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1712-9196>.

Горяев Дмитрий Владимирович – к.м.н.; руководитель Управления Роспотребнадзора по Красноярскому краю, Главный государственный санитарный врач по Красноярскому краю; e-mail: office@24.rospotrebnadzor.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6450-4599>.

Зайцева Нина Владимировна – академик РАН, д.м.н., профессор, научный руководитель ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»; e-mail: znv@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>.

Шур Павел Залманович – д.м.н.; ученый секретарь, главный научный сотрудник ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»; e-mail: shur@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105>.

✉ **Фокин** Владимир Андреевич – научный сотрудник отдела анализа риска для здоровья ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»; e-mail: fokin@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0539-7006>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Зайцева Н.В., Шур П.З.*; сбор данных: *Фадеев А.Г., Горяев Д.В.*; анализ и интерпретация результатов, подготовка рукописи: *Фадеев А.Г., Фокин В.А.*; литературный обзор: *Фокин В.А.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование не требует заключения этического комитета.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: соавтор статьи Зайцева Н.В. является членом редакционного совета научно-практического журнала «Здоровье населения и среда обитания», остальные авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья получена: 19.04.24 / Принята к публикации: 08.05.24 / Опубликована: 31.05.24

Author information:

Aleksey G. **Fadeev**, Head of the Labor Supervision Department, Office of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Krasnoyarsk Krai; e-mail: onut@24.rospotrebnadzor.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1712-9196>.

Dmitry V. **Goryaev**, Cand. Sci. (Med.); Head of the Office of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Krasnoyarsk Krai; Chief State Sanitary Doctor for the Krasnoyarsk Krai; e-mail: office@24.rospotrebnadzor.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6450-4599>.

Nina V. **Zaitseva**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Med.), Prof.; Scientific Director, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: znv@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>.

Pavel Z. **Shur**, Dr. Sci. (Med.), Scientific Secretary, Chief Researcher, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: shur@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105>.

✉ Vladimir A. **Fokin**, Researcher, Department of Health Risk Analysis, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies; e-mail: e-mail: fokin@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0539-7006>.

Author contributions: study conception and design: *Zaitseva N.V., Shur P.Z.*; data collection: *Fadeev A.G., Goryaev D.V.*; analysis and interpretation of results, draft manuscript preparation: *Fadeev A.G., Fokin V.A.*; bibliography compilation and referencing: *Fokin V.A.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: Nina V. Zaitseva is a member of the Editorial Council of the scientific and practical journal *Public Health and Life Environment*; other authors have no conflicts of interest to declare.

Received: April 19, 2024 / Accepted: May 8, 2024 / Published: May 31, 2024