



Сюрин С.А.¹, Ковшов А.А.^{1,2}, Кирьянова М.Н.¹, Шильниковская А.В.³

Профессиональные болезни органов дыхания работников, занятых в производстве никеля

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург, Россия;

²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России, 191015, Санкт-Петербург, Россия;

³Филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Мурманской области в городе Мончегорске, городе Оленегорске и Ловозерском районе», 184511, Мончегорск, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Совершенствование технологий производства никеля, в том числе замена электролитического рафинирования более современным электроэкстракционным, не всегда сопровождается улучшением условий труда занятых в нём работников.

Цель исследования — анализ условий труда и профессиональной патологии органов дыхания работников, осуществляющих электролитическое и электроэкстракционное рафинирование никеля, для совершенствования технологии электроэкстракции никеля и средств индивидуальной защиты.

Материалы и методы. Изучены данные производственного контроля на предприятиях никелевой промышленности и Мурманского областного реестра профессиональных заболеваний за 2004–2023 гг.

Результаты. Сравнительный анализ выявил, что при переходе на электроэкстракционное рафинирование никеля концентрации гидроаэрозолей на рабочих местах лиц, обслуживающих электролитные ванны гидрометаллургического отделения, снижаются в 2,4–3,5 раза, но при этом концентрации хлора в воздухе рабочей зоны повышаются в 4,4–31,4 раза. Применение метода электроэкстракции позволило уменьшить удельный вес работников с профессиональной патологией органов дыхания ($p = 0,002–0,003$), снизить на 24,5% уровень профессиональной заболеваемости (с 56,12 до 42,35 случая на 10 000 работников), уменьшить риск развития болезней органов дыхания ($ОР = 1,89$; 95% ДИ 1,31–2,73). За 10 лет был зарегистрирован только один случай острого отравления хлором.

Ограничения исследования обусловлены небольшим сроком применения электроэкстракционного рафинирования никеля и временным лагом между действием вредных производственных факторов и изменениями состояния здоровья.

Заключение. Не установлено отрицательного влияния повышенных концентраций хлора на развитие профессиональных болезней органов дыхания у работников, выполняющих электроэкстракционное рафинирование никеля. Тем не менее необходимо дальнейшее улучшение технологии электроэкстракции никеля для снижения концентрации хлора и гидроаэрозолей солей никеля, а также совершенствование применяемых средств индивидуальной защиты органов дыхания. Влияние на здоровье работников условий труда при электроэкстракционном рафинировании никеля требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: рафинирование никеля; электролиз; электроэкстракция; условия труда; органы дыхания; профессиональная патология

Соблюдение этических стандартов. Данное исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Сюрин С.А., Ковшов А.А., Кирьянова М.Н., Шильниковская А.В. Профессиональные болезни органов дыхания работников, занятых в производстве никеля. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(8): 1035–1042. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-8-1035-1042> <https://elibrary.ru/eusizq>

Для корреспонденции: Сюрин Сергей Алексеевич, e-mail: kola.reslab@mail.ru

Участие авторов: Сюрин С.А. — концепция и дизайн исследования, сбор данных, анализ и интерпретация результатов, обзор литературы, написание текста; Ковшов А.А. — сбор данных, анализ и интерпретация результатов, написание текста; Кирьянова М.Н. — анализ и интерпретация результатов, обзор литературы, написание текста; Шильниковская А.В. — сбор данных. *Все соавторы* — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

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

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Поступила: 25.04.2025 / Поступила после доработки: 10.07.2025 / Принята к печати: 14.07.2025 / Опубликовано: 25.09.2025

Sergei A. Syurin¹, Aleksandr A. Kovshov^{1,2}, Marina N. Kiryanova¹, Alena V. Shilnikovskaya³

Occupational respiratory diseases in workers engaged in nickel production

¹North-West Public Health Research Center, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation;

²North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, 191015, Russian Federation;

³Branch of the Center for Hygiene and Epidemiology in the Murmansk Region in Monchegorsk, Olenegorsk and the Lovozersky District, Monchegorsk, 184511, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Upgrading of nickel production technologies, in this case the transition from electrolytic to more modern electroextractive refining, is not always accompanied by an improvement in the working conditions in the employees involved.

The aim of the study. To analyze working conditions and occupational respiratory diseases in workers at electrolytic and electroextractive nickel production.

Materials and methods. We studied the data of industrial control at nickel industry enterprises and the Murmansk regional register of occupational diseases for 2004–2023.

Results. A comparative analysis of hygienic data revealed a 2.4–3.5-fold decrease in the concentration of nickel hydroaerosols at the electrolytic bath operator workplaces and a 4.4–31.4-fold increase in chlorine concentrations in the workplace air of the hydrometallurgical department during the transition to

electroextractive refining. Clinical studies have shown the transition to electroextraction method to be accompanied by a decline in the number and in the proportion of workers with occupational respiratory diseases ($p=0.002-0.003$), a 24.5% decrease in the level of occupational morbidity (from 56.12 cases to 42.35 cases per 10,000 workers), a decrease in the risk of developing respiratory occupational diseases ($OR=1.89$; 95% CI 1.31–2.73). Over 10 years, only one case of acute chlorine poisoning was registered.

Conclusion. *We have no found adverse impact of elevated chlorine concentrations on the development of occupational respiratory diseases in workers engaged in electrowinning nickel refining. However, further improvement of nickel electrowinning technology is necessary to reduce the concentration of nickel and chlorine salt hydroaerosols, as well as more effective personal respiratory protection equipment is needed. The impact of working conditions on workers' health during electrowinning nickel refining requires a longer study.*

Keywords: *nickel refining; electrolysis; electrowinning; working conditions; respiratory organs; occupational pathology*

Compliance with ethical standards. *Ethics approval was not required for this study.*

For citation: Syurin S.A., Kovshov A.A., Kiryanova M.N., Shilnikovskaya A.V. Occupational respiratory diseases in workers engaged in nickel production. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2025; 104(8): 1035–1042. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-8-1035-1042> <https://elibrary.ru/eusizq> (In Russ.)

For correspondence: Sergei A. Syurin, e-mail: kola.reslab@mail.ru

Contribution: *Syurin S.A. — study conception and design, data collection, analysis and interpretation of results, bibliography compilation and referencing, writing text; Kovshov A.A. — data collection, analysis and interpretation of results, writing text; Kiryanova M.N. — analysis and interpretation of results, bibliography compilation and referencing, writing text; Shilnikovskaya A.V. — data collection. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.*

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: April 25, 2025 / Revised: July 10, 2025 / Accepted: July 14, 2025 / Published: September 25, 2025

Введение

Производство никеля, начиная с добычи медно-никелевой руды и заканчивая получением чистого металла, является сложным многоэтапным технологическим процессом. Важное место в нём занимало электролитическое рафинирование, широко применявшееся на протяжении XX века. Однако в последние годы всё чаще отмечали недостаточную производительность и высокую энергозатратность этого метода, его негативное влияние на окружающую среду. Особую тревогу вызывал высокий уровень профессиональной заболеваемости работников цехов электролиза никеля [1, 2]: в структуре выявляемой профессиональной патологии центральное место занимали болезни органов дыхания (хронический бронхит, хроническая обструктивная болезнь лёгких, бронхиальная астма) [3–6], а также злокачественные новообразования с локализацией в дыхательных путях и лёгких [7–9]. Основной причиной развития этих нарушений здоровья являются аэрозоли водорастворимых солей никеля с превышением максимальных разовых ПДК в 10–30 раз на рабочих местах электролизников водных растворов, аппаратчиков-гидрометаллургов, машинистов крана и других специалистов [10–12]. Важно, что средства коллективной и индивидуальной защиты органов дыхания не позволяют при существующих технологиях обеспечить допустимые условия труда и приемлемые риски для здоровья работников цехов электролиза никеля [13–15].

Перечисленные выше факты указывали на необходимость совершенствования технологического процесса электролитического рафинирования. Был предложен метод электроэкстракции никеля из растворов хлорного раствора никелевого порошка трубчатых печей, доказана его большая производительность при снижении энергопотребления и выбросов диоксида серы и никельсодержащей пыли в атмосферу за счёт отказа от применения черновых анодов [16–18]. Однако при экономических преимуществах и ожидаемом благоприятном экологическом эффекте метода электроэкстракционного рафинирования никеля в настоящее время отсутствуют доказательства снижения воздействия вредных производственных факторов на здоровье работников. Опасения вызывает повышение концентрации хлора в воздухе рабочих помещений, чего не было при электролизном переделе [9, 14, 16]. В отечественной и зарубежной литературе публикации, посвящённые рискам для здоровья при электроэкстракции никеля, отсутствуют.

Цель исследования — анализ условий труда и профессиональной патологии органов дыхания у работников, осуществляющих электролитическое и электроэкстракционное рафинирование никеля, для совершенствования технологии электроэкстракции никеля и средств индивидуальной защиты.

Материалы и методы

Оценка условий труда в цехах электролиза никеля проведена по результатам производственного контроля. Для гигиенической оценки степени загрязнения воздуха рабочей зоны были использованы максимальные, средние арифметические и минимальные концентрации приоритетных химических веществ. Средние концентрации рассчитывали как среднее арифметическое значение максимальных разовых концентраций, поскольку среднесменные ПДК для хлора, серной кислоты и гидроаэрозолей солей никеля не установлены, хронометражные исследования не проводились. При расчёте средних значений в пробах с концентрациями менее предела количественного определения использовали величину, равную половине нижнего предела количественного определения.

В 2004–2013 гг. на предприятии применяли способ электролитического рафинирования никеля, а в 2014–2023 гг. производство переводили на электроэкстракционное рафинирование металла. В последние два года этого периода использовали только электроэкстракционный способ производства никеля.

Профессиональное здоровье работников оценивали по данным Мурманского областного реестра профессиональных болезней за 2004–2023 гг. Изученные показатели: пол, возраст и стаж работника на момент выявления болезни, специальность, нозологические формы болезней органов дыхания. Динамику показателей заболеваемости (на 10 000 работников) на фоне изменяющихся условий труда определяли в пятилетних временных отрезках: 2004–2008, 2009–2013, 2014–2018, 2019–2023 гг. Такой подход позволил последовательно изучить начальный и конечный этапы перехода производства никеля от электролиза на электроэкстракцию, а также промежуточные периоды.

Цифровые показатели представлены в виде абсолютных значений, процентной доли, среднего арифметического, стандартной ошибки среднего арифметического ($M \pm m$). Рассчитывали относительный риск (ОР), 95%-й доверительный интервал (95% ДИ), критерий согласия (χ^2), t -критерий Стьюдента для независимых выборок (программы Microsoft Excel 2016 и EpiInfo, v. 7.0). Критический уровень значимости нулевой гипотезы составлял 0,05.

Таблица 1 / Table 1

Концентрации приоритетных вредных веществ в воздухе рабочей зоны при электролизе и электроэкстракции никеля**Concentrations of priority harmful substances in the working area air in nickel electrolysis and electrowinning shops**

Производственные помещения Production facilities	Основное рабочее место Main workplaces	Вредные вещества Harmful substances	ПДК максимальная разовая, мг/м ³ Maximum one-time threshold limit value, mg/m ³	Метод Method	Концентрация, мг/м ³ Concentration, mg/m ³		
					максимум maximum	минимум minimum	средняя average
Отделение электролиза (электроэкстракции) Department of electrolysis (electroextraction)	Электролизник водных растворов Electrolysis bath operator	Никель Nickel	0.005	Э	0.792	0.016	0.165
				ЭЭ	0.226	0.020	0.069
		Серная кислота Sulfuric acid	1.0	Э	0.058	< 0.01	0.021
				ЭЭ	0.03	< 0.01	0.01
		Хлор Chlorine	1.0	Э	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Гидрометаллургическое отделение Hydrometallurgical department	Аппаратчик-гидрометаллург Hydrometallurgist	Никель Nickel	0.005	Э	0.156	0.006	0.040
				ЭЭ	0.171	< 0.003	0.042
		Хлор Chlorine	1.0	Э	0.5	< 0.5	< 0.5
				ЭЭ	15.7	< 0.5	2.2
Отделение готовой продукции Finished product department	Чистильщик готовой продукции Finished product cleaner	Никель* Nickel*	0.005	Э	0.111	< 0.003	0.027
				ЭЭ	0.042	< 0.003	0.021
		Никель** Nickel**	0.05	Э	0.140	< 0.025	0.035
				ЭЭ	0.104	< 0.025	0.058
		Хлор Chlorine	1.0	Э	< 0.5	< 0.5	< 0.5
				ЭЭ	1.0	< 0.5	0.625

Примечание. Э — показатели при электролизе, ЭЭ — при электроэкстракции никеля; * — водорастворимые соединения никеля; ** — водонерастворимые соединения никеля.

Note: Э — indices for electrolysis, ЭЭ — for nickel electroextraction; * — water-soluble nickel compounds; ** — water-insoluble nickel compounds.

Результаты

Результаты гигиенических исследований, проведенных в 2004–2013 гг., характеризуют условия труда на предприятии в период рафинирования никеля по традиционной технологии с использованием растворимых анодов [16, 17]. С 2014 по 2021 г. данные соответствовали условиям труда при переходе на технологию электроэкстракционного рафинирования никеля. Принципиальные изменения, которыми сопровождался данный технологический переход, заключались в снижении в 3,5 раза максимальных и в 2,4 раза средних концентраций никеля на рабочих местах электролизников: если при электролитическом рафинировании превышение ПДК никеля (водорастворимые формы) составляло 158,4 и 33 раза, то при электроэкстракционном — 45,2 и 13,8 раза соответственно. Иной была динамика концентраций хлора: если при электролитическом способе получения никеля его концентрации в воздухе рабочей зоны электролизного отделения были ниже предела количественного определения, то при переходе на технологию электроэкстракции минимальная концентрация хлора составляла 1 мг/м³, средняя — 5,2 мг/м³, а максимальная — 15 мг/м³. Таким образом, при электролизе концентрации хлора были меньше нормативных значений, а при электроэкстракции отмечено превышение максимальных разовых ПДК до 15 раз.

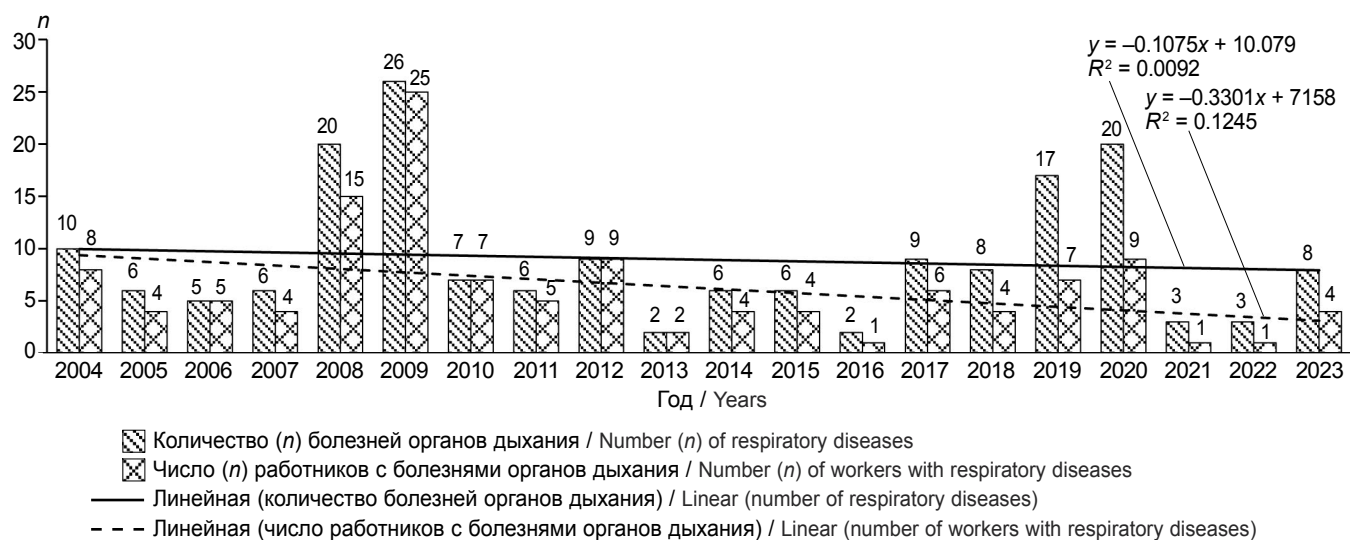
Изменения концентраций никеля в воздухе рабочей зоны отделений гидрометаллургии и готовой продукции (в последнем случае учитывали и аэрозоли водонерастворимых соединений) были незначительными. Концентрации большинства вредных веществ (медь, кобальт, свинец, мышьяк, серная кислота) как при электролизе, так и при электроэкстракции находились в допустимых границах, однако в гидрометаллургическом отделении, как и в электролизном,

при переходе на электроэкстракцию регистрировались значительные (до 15,7 раза) превышения максимальных разовых ПДК хлора (табл. 1).

Следует отметить, что при переходе на электроэкстракционное рафинирование никеля изменилась практика применения индивидуальных средств защиты органов дыхания. С 2014 г. использование в течение смены респиратора-полумаски 3М, обеспечивающего безопасную работу при концентрациях вредных веществ до 50 ПДК, стало постоянным. В 2018 г. в практику внедрено более эффективное техническое средство — комплект из защитного шлема, лицевого щитка и турбоблока с подачей в подмасочное пространство очищенного с помощью фильтров воздуха.

В 2004–2023 гг. у 130 работников впервые диагностировали 190 случаев профессиональных болезней органов дыхания (см. рисунок). Одна патология была выявлена у 82 человек, две — у 36, три — у 12 работников, ежегодное число случаев значительно варьировало (от 1 до 26) с периодами высоких и низких значений. Максимум наблюдался в 2008–2009 гг. (период электролитического рафинирования) и в 2019–2020 гг. (период перехода на электроэкстракцию), а минимум — в 2013, 2016, 2021–2022 гг. (последний период соответствует окончанию перехода на электроэкстракционное рафинирование). В целом в 2004–2023 гг. не было устойчивой тенденции к изменению числа случаев болезней ($R^2 = 0,009$). Уровень профессиональной заболеваемости был максимальным в 2004–2008 гг. (61,9 случая на 10 000 работников) и превышал на 22,6; 75,4 и 54,8% показатели в 2009–2013, 2014–2018 и 2019–2023 гг., которые составили 50,48; 35,29 и 40 случаев соответственно на 10 000 работников.

В течение 20 лет ежегодно число работников с впервые выявленными профессиональными болезнями органов



Ежегодное количество профессиональных болезней органов дыхания и число работников, у которых они были выявлены, в 2004–2023 гг.
Annual number of occupational respiratory diseases and workers in whom they were diagnosed during 2004–2023.

дыхания составляло от 1 (2016 г.) до 25 (2009 г.). Характер этих изменений был близок к динамике числа случаев заболеваний, но с более явной (хотя по-прежнему статистически незначимой) тенденцией к снижению ($R^2 = 0,124$). Риск развития профессиональной патологии в 2004–2008 и 2009–2013 гг. не отличался (ОР = 1,02; 95% ДИ 0,68–1,54), как и в 2014–2018 и 2019–2023 гг. (ОР = 1,05; 95% ДИ 0,56–1,97). Однако сравнение разных способов рафинирования никеля (в том числе в период изменения технологического процесса) показало больший уровень риска при электролизе, чем при электроэкстракции. Так, в 2004–2008 гг. риск развития профессиональной патологии превышал уровень 2014–2018 гг. (ОР = 1,96; 95% ДИ 1,15–2,33) и 2019–2023 гг. (ОР = 1,86; 95% ДИ 1,11–3,14). Сравнение показателей риска 2009–2013 гг. также показало более высокий риск, чем в 2014–2018 гг. (ОР = 1,92; 95% ДИ 1,13–3,27) и 2019–2023 гг. (ОР = 1,82; 95% ДИ 1,08–3,07).

Профессиональные болезни органов дыхания были установлены у 130 работников, из них 76 мужчин (58,5%) и 54 женщины (41,5%) (табл. 2). На момент выявления болезней средний возраст работников составлял $51,8 \pm 0,5$ года, а средняя

продолжительность трудового стажа — $24,5 \pm 0,7$ года. В течение 20 лет отмечалась статистически незначимая тенденция к увеличению возраста работника, в котором была диагностирована патология. Более выражено увеличивался показатель стажа: в 2019–2023 гг. он был больше, чем в 2004–2008 гг. ($p = 0,011$).

В числе работников с профессиональной патологией было 44 (33,8%) электролизника водных растворов, 27 (20,8%) аппаратчиков-гидрометаллургов, 19 (14,6%) слесарей-ремонтников, 14 (10,8%) чистильщиков готовой продукции, 9 (6,9%) машинистов крана, 7 (5,4%) мастеров и инженерно-технических работников, 10 (7,7%) работников других специальностей. В структуре группы работников с профессиональной патологией в 2019–2023 гг. увеличилась по сравнению с 2004–2008 гг. доля чистильщиков готовой продукции ($p = 0,043$) и уменьшилась доля слесарей-ремонтников ($p = 0,047$).

В 2004–2023 гг. в структуре профессиональной патологии доля болезней органов дыхания составила 61,1% случаев ($n = 311$), варьируя от 50 до 78,3% в разные периоды наблюдения. При этом в 2004–2008 гг. она была больше, чем в 2019–2023 гг. ($p < 0,001$).

Таблица 2 / Table 2

Общая характеристика работников с диагностированными профессиональными болезнями в 2004–2023 гг.

General characteristics of workers with diagnosed occupational diseases during 2004–2023.

Показатель Index	Период наблюдения, годы / Study period, yrs			
	2004–2008	2009–2013	2014–2018	2019–2023
Мужчины, человек (%) / Males, people (%)	23 (50.0)			
Женщины, человек (%) / Females, people (%)	23 (50.0)			
Возраст при выявлении болезней, лет / Age at disease detection, yrs	50.8 ± 1.0	51.5 ± 1.0	52.1 ± 1.3	52.7 ± 1.7
Стаж при выявлении болезней, лет / Work experience at diseases detection, yrs	22.8 ± 1.2	24.5 ± 1.2	25.9 ± 1.4	29.4 ± 2.1
Специальность работника, человек (%): / Employee occupation, people (%):				
электролизник водных растворов / electrolytic bath operator	18 (39.1)	14 (31.1)	6 (31.6)	6 (30.0)
аппаратчик-гидрометаллург / hydro-metallurgist	8 (17.4)	10 (22.2)	4 (21.1)	6 (25.0)
слесарь-ремонтник / service technician	8 (17.4)	7 (15.6)	3 (15.8)	0
машинист крана / crane operator	3 (6.5)	3 (6.7)	1 (5.3)	3 (10.0)
мастер (инженерно-технический работник) / foreman (engineer)	3 (6.5)	3 (6.7)	1 (5.3)	0
чистильщик готовой продукции / finished product cleaner	2 (4.3)	4 (8.9)	3 (15.8)	4 (25.0)
другие / others	4 (8.7)	4 (8.9)	1 (5.3)	1 (5.0)

Таблица 3 / Table 3

Характеристика профессиональной патологии органов дыхания у работников цеха электролиза (электроэкстракции) никеля в 2004–2023 гг.**Characteristics of occupational respiratory pathology in workers at the nickel electrolysis shop (electroextraction) 2004–2023**

Показатель Indicator	Период наблюдения, годы / Study period, yrs			
	2004–2008	2009–2013	2014–2018	2018–2023
Число профессиональных болезней всех классов, случаи Number of occupational diseases of all classes, cases	83	99	45	84
Число и доля болезней органов дыхания, случаи (%) Number and proportion of respiratory diseases, cases (%)	65 (78.3)	53 (53.5)	30 (66.7)	42 (50.0)
Число и доля работников с профессиональной патологией органов дыхания, человек (%) Number and proportion of workers with occupational respiratory diseases, people (%)	46 (90.2)	45 (91.8)	19 (90.5)	20 (69.0)
Число болезней органов дыхания у одного работника, случаи Number of respiratory diseases per worker, cases	1.41 ± 0.14	1.18 ± 0.10	1.58 ± 0.23	2.10 ± 0.18
Работники, у которых диагностированы только болезни органов дыхания, человек (%) Workers with respiratory diseases only, people (%)	25 (54.3)	25 (55.6)	10 (52.6)	11 (55.0)
Работники, у которых диагностированы болезни органов дыхания в сочетании с другими болезнями, человек (%) Workers diagnosed with respiratory diseases in combination with other diseases, people (%)	21 (45.7)	20 (44.4)	9 (47.4)	9 (45.0)
Структура болезней органов дыхания, случаи (%): / Structure of respiratory diseases, cases (%):				
Хронический бронхит / Chronic bronchitis	41 (63.1)	32 (60.4)	9 (30.0)	13 (31.0)
Бронхиальная астма / Bronchial asthma	9 (13.8)	8 (15.1)	6 (20.0)	9 (21.4)
Хроническая обструктивная болезнь лёгких* / Chronic obstructive pulmonary disease*	0	2 (3.8)	7 (23.3)	9 (21.4)
Болезни верхних дыхательных путей / Diseases of the upper respiratory tract	13 (20.0)	11 (20.8)	7 (23.3)	10 (23.8)
Злокачественные опухоли органов дыхания / Neoplasms of the respiratory system	2 (3.1)	0	1 (3.3)	1 (2.0)

Примечание. * В соответствии с действовавшей классификацией диагноз «хроническая обструктивная болезнь лёгких» не применялся до 2013 г.

Note: * According to the previous classification, the diagnosis of "chronic obstructive pulmonary disease" was not applicable until 2013.

В 2004–2018 гг. доля лиц с профессиональными болезнями органов дыхания превышала 90% от всех работников с выявленной профессиональной патологией, но в 2019–2023 гг. было выявлено снижение до 69%, что меньше по сравнению с периодом 2004–2008 гг. ($p = 0,017$) и 2009–2013 гг. ($p = 0,009$). Важно отметить, что уменьшение числа и доли работников с патологией органов дыхания в 2019–2023 гг. сопровождалось увеличением числа болезней у одного работника по сравнению с соответствующими показателями в 2004–2008 гг. ($p = 0,004$) и 2009–2013 гг. ($p < 0,001$). В 2004–2023 гг. значимо не изменилась доля работников, у которых были диагностированы только болезни органов дыхания или болезни органов дыхания в сочетании с болезнями других классов (преимущественно костно-мышечной системы).

В структуре болезней органов дыхания изменилась только доля хронического бронхита в период перехода на технологию электроэкстракции никеля. В 2014–2018 и 2019–2023 гг. она стала меньше, чем в 2004–2008 гг. ($p = 0,003$ и $p = 0,002$ соответственно) и в 2009–2013 гг. ($p < 0,001$ в обоих случаях). Анализировать динамику показателей хронической обструктивной болезни лёгких не представлялось возможным, так как этот диагноз до 2013 г. к профессиональной патологии не применялся (табл. 3).

Особенности профессиональной патологии органов дыхания у работников основных специальностей цехов электролиза никеля представлены в табл. 4. В течение 20 лет у электролизников было выявлено 70 (36,8%) случаев, у аппаратчиков-гидрометаллургов – 41 (21,6%), у слесарей-ремонтников – 23 (12,1%), у машинистов крана – 18 (9,5%), у чистильщиков готовой продукции – 15 (7,9%) и у других специалистов – 23 (12,1%) случаев. У работников основных специальностей, кроме машинистов крана, в структуре респираторной патологии самый большой удельный вес имел хронический бронхит (40–56,5%). У машинистов крана наиболее распространённой патологией также были болезни верхних дыхательных путей (33,3%).

Сравнение показателей 2004–2013 гг. (электролитическое рафинирование) и 2014–2023 гг. (переход на электроэкстракционное рафинирование) показало снижение числа случаев респираторной патологии у электролизников в 1,59 раза, у аппаратчиков-гидрометаллургов – в 1,56 раза, у слесарей-ремонтников – в 2,83 раза. Напротив, увеличение числа случаев болезней органов дыхания отмечалось у машинистов крана (1,83 раза) и чистильщиков готовой продукции (1,5 раза). При этом уменьшение числа случаев хронического бронхита происходило у работников всех основных специальностей: у электролизников – в 3,57 раза, у аппаратчиков-гидрометаллургов – в 3,6 раза, у слесарей-ремонтников – в 12 раз, машинистов крана – в 3 раза, у чистильщиков готовой продукции – в 2 раза.

В 2004–2013 гг. уровень заболеваемости, обусловленной профессиональной патологией органов дыхания, составлял 56,12 случая на 10 000 работников. В 2014–2023 гг. наблюдалось снижение на 24,5% – до 42,35 случая на 10 000 работников. Риск развития болезней органов дыхания в 2004–2013 гг. был выше, чем в 2014–2023 гг.: ОР = 1,89; 95% ДИ 1,31–2,73.

Обсуждение

Гигиеническая оценка условий труда показала, что переход на электроэкстракционное рафинирование никеля привёл к снижению экспозиции работников к гидроаэрозолям никеля, однако эти позитивные изменения сопровождались стабильным наличием в воздухе рабочей зоны электролизного отделения хлора, максимальные разовые концентрации которого превышали ПДК в 15 раз, чего не наблюдалось при электролитическом рафинировании никеля [2, 6].

С учётом разнонаправленной динамики гигиенических показателей важнейшее значение приобрели данные клинических исследований. Они подтвердили, что как при электролитическом, так и при электроэкстракционном способе производства болезни органов дыхания занимали ведущее

Таблица 4 / Table 4

Распространённость и структура профессиональной патологии органов дыхания у работников различных специальностей цехов электролиза никеля в 2004–2023 гг., случаи (%)

Prevalence and structure of occupational respiratory diseases among nickel electrolysis shop workers of various occupations over 2004–2023, cases (%)

Специальность работника Worker occupation	Общее число болезней Total number of diseases	Период наблюдения, годы Study period, yrs	Хронический бронхит Chronic bronchitis	Бронхиальная астма Bronchial asthma	Хроническая обструктивная болезнь лёгких Chronic obstructive pulmonary disease	Болезни верхних дыхательных путей Diseases of upper respiratory tract	Злокачественные новообразования органов дыхания Neoplasms of respiratory organs
Электролизник водных растворов Electrolytic bath operator	70	Всего / Total	32 (45.7)	15 (21.4)	6 (8.6)	15 (21.7)	2 (2.9)
		2004–2008	13	6	0	8	1
		2009–2013	12	3	0	0	0
		2014–2018	4	3	3	1	1
		2019–2023	3	4	2	6	0
Аппаратчик-гидрометаллург Hydro-metallurgist	41	Всего / Total	23 (56.1)	8 (19.5)	4 (9.8)	6 (14.6)	0
		2004–2008	8	0	0	1	0
		2009–2013	10	4	1	1	0
		2014–2018	3	1	0	0	0
		2019–2023	2	3	2	4	0
Слесарь-ремонтник service technician	23	Всего / Total	13 (56.5)	2 (8.7)	3 (13.0)	4 (17.4)	1 (4.3)
		2004–2008	6	1	0	1	1
		2009–2013	6	0	1	1	0
		2014–2018	1	1	2	2	0
		2019–2023	0	0	0	0	0
Машинист крана Crane operator	17	Всего / Total	4 (23.5)	4 (23.5)	3 (17.6)	6 (35.3)	0
		2004–2008	2	1	0	2	0
		2009–2013	1	0	0	0	0
		2014–2018	0	1	2	1	0
		2019–2023	1	2	1	3	0
Чистильщик готовой продукции Finished product cleaner	15	Всего / Total	6 (40.0)	3 (20.0)	1 (6.7)	5 (33.3)	0
		2004–2008	1	0	0	1	0
		2009–2013	3	1	0	0	0
		2014–2018	0	0	1	1	0
		2019–2023	2	2	0	3	0
Все другие специалисты All other professionals	23	Всего / Total	17 (73.9)	0	0	5 (21.7)	1 (4.3)
		2004–2008	5	0	0	5	0
		2009–2013	8	0	0	0	0
		2014–2018	3	0	0	0	0
		2019–2023	1	0	0	0	1

место в структуре профессиональной патологии работников [5, 11, 19]. Но при этом установлено, что переход на способ электроэкстракции привёл к положительным изменениям: снизилось число случаев профессиональных болезней органов дыхания, особенно хронического бронхита; уменьшилась доля респираторной патологии в структуре всех профессиональных болезней; снизился уровень заболеваемости и уменьшился риск развития патологий, обусловленных профессиональными болезнями органов дыхания. Полученные данные позволяют с полным основанием утверждать, что технологическая перестройка, сопровождающаяся повышенными концентрациями хлора (в среднем до уровня 2,2–5,2 ПДК в гидрометаллургическом и электролизном отделениях), не привела к росту профессиональной заболеваемости. Повышенные концентрации

хлора формируют неприемлемый риск развития острых отравлений, однако в течение 10 лет был зарегистрирован только один такой случай. Вероятно, это объясняется использованием более эффективных средств индивидуальной защиты органов дыхания. Но при этом установлено, что СИЗ нуждаются в совершенствовании [20, 21]. Необходимо иметь в виду, что при электроэкстракционном рафинировании сохраняется превышение ПДК для гидроаэрозолей никеля, которые являются основной причиной развития патологии органов дыхания у лиц, занятых в никелевой промышленности [11]. Поэтому уровень профессиональной заболеваемости, обусловленной респираторными патологиями, у работников электроэкстракционного производства в 2014–2023 гг. составил 42,35 случая на 10 000 работников. Для сравнения: в России в последние годы средний

показатель для всех профессиональных болезней находился на уровне 1,09–0,96 случая на 10 000 работников*.

Следует отметить увеличение в 2019–2023 гг. показателя стажа на момент установления профессиональной патологии у работников электроэкстракционного производства. Это свидетельствует о более длительном сохранении трудового потенциала работников в связи с улучшением условий труда, однако в сочетании с увеличением числа профессиональных болезней, диагностируемых впервые у одного работника, даёт основание предполагать позднее выявление патологии, приводящей к формированию полиморбидности. Такое течение профессиональной болезни рассматривается как неблагоприятное, вовлекающее в процесс не только орган-мишень, но и другие органы и системы организма [22, 23].

Ограничения исследования — небольшой срок применения электроэкстракционного рафинирования никеля с учётом временного лага между действием вредных производственных факторов и изменениями состояния здоровья.

* О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. 364 с.

Заключение

Переход с электролитического рафинирования никеля на электроэкстракционный способ сопровождается существенными изменениями условий труда. Так, на рабочих местах электролизников достигнуто снижение в 3,5 раза максимальных и в 2,4 раза средних арифметических (из максимальных разовых) концентраций никеля. В то же время в электролизном и гидрометаллургическом отделениях отмечено наличие хлора в концентрациях, превышающих ПДК до 15–15,7 раза, чего не наблюдалось ранее при электролизном способе получения никеля.

Изменение технологического процесса, сопровождающееся наличием в воздухе рабочей зоны повышенных концентраций хлора, не привело к значимому росту профессиональной заболеваемости.

Необходимо дальнейшее улучшение технологии электроэкстракции никеля для снижения концентрации гидроаэрозолей солей никеля и хлора и совершенствование средств индивидуальной защиты органов дыхания работников, занятых в этом производстве.

Особенности влияния на здоровье работников условий труда при электроэкстракционном рафинировании никеля требуют более длительного изучения.

Литература

1. Никанов А.Н., Чашин В.П., Новикова Ю.А., Гудков А.Б., Попова О.Н. Производственно обусловленная заболеваемость среди рабочих цветной металлургии при пирометаллургическом способе получения никеля. *Медицина труда и промышленная экология*. 2021; 61(5): 305–10. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-5-305-310> <https://elibrary.ru/arabgt>
2. Черкай З.Н., Шилов В.В. К вопросу о профессиональной заболеваемости работников в горно-металлургической промышленности. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2015; (S7): 641–9. <https://elibrary.ru/uqgdzt>
3. Сюрин С.А., Кизеев А.Н. Риски для здоровья от воздействия химических веществ на предприятиях в Арктике. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(8): 954–62. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-954-962> <https://elibrary.ru/baisaw>
4. Рочева И.И., Лештаева Н.Р. Условия труда и состояние здоровья работников на предприятиях никелевого производства Кольского Заполярья. *Экология человека*. 2008; (10): 47–9. <https://elibrary.ru/jurehkh>
5. Сюрин С.А., Винников Д.В. Профессиональные риски здоровью при электролизном переработке никеля (продолжение эпидемиологического исследования). *Медицина труда и промышленная экология*. 2023; 63(1): 31–8. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-1-31-38> <https://elibrary.ru/fqsrgr>
6. Сюрин С.А., Никанов А.Н. Риски для здоровья при воздействии производственных аэрозолей соединений никеля. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(8): 876–83. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-8-876-883> <https://elibrary.ru/crnmsm>
7. Prueitt R.L., Li W., Chang Y.C., Boffetta P., Goodman J.E. Systematic review of the potential respiratory carcinogenicity of metallic nickel in humans. *Crit. Rev. Toxicol.* 2020; 50(7): 605–39. <https://doi.org/10.1080/10408444.2020.1803792>
8. Seilkop S.K., Lightfoot N.E., Berriault C.J., Conard B.R. Respiratory cancer mortality and incidence in an updated cohort of Canadian nickel production workers. *Arch. Environ. Occup. Health*. 2017; 72(4): 204–16. <https://doi.org/10.1080/19338244.2016.1199532>
9. Syurin S., Vinnikov D. Occupational disease claims and non-occupational morbidity in a prospective cohort observation of nickel electrolysis workers. *Sci. Rep.* 2022; 12(1): 7092. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11241-5>
10. Шур П.З., Редько С.В., Фадеев А.Г., Горяев Д.В., Фокин В.А. Оценка условий труда и состояния здоровья работников предприятий цветной металлургии. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023; 63(8): 537–44. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-8-537-544> <https://elibrary.ru/swennz>
11. Никанов А.Н., Чашин В.П. Гигиеническая оценка экспозиции и определение ее величины при производстве никеля, меди и кобальта на горно-металлургическом комплексе Кольского Заполярья. *Экология человека*. 2008; (10): 9–14. <https://elibrary.ru/juredv>
12. Rahayu T., Sunarsih S., Jayadipraja E.A. Factors related to occupational diseases in smelter employees PT. Virtue Dragon nickel industry site Morosi. *Int. J. Health Sci.* 2023; 2(1): 1–5. <https://doi.org/10.54883/wish.v2i1.29>
13. Сюрин С.А., Шилов В.В. Бронхолегочная патология у работников никелевой промышленности: особенности развития, диагностики и киники. *Профилактическая и клиническая медицина*. 2015; (4): 50–6. <https://elibrary.ru/vooist>
14. Сюрин С.А., Полякова Е.М., Кизеев А.Н. Управление рисками развития профессиональной патологии в системе охраны труда работников никелевой промышленности. *Металлург*. 2023; (4): 115–24. https://doi.org/10.52351/00260827_2023_05_115 <https://elibrary.ru/qpgexx>
15. Зингалев И.О., Олейников А.А., Нижегородов А.А. Внедрение современных средств индивидуальной защиты в АО «Кольская ГМК». *Цветные металлы*. 2024; (12): 19–22.
16. Папах С.Л., Демидов К.А., Хомченко О.А., Садовская Г.И. Закономерности процессов переработки медно-никелевого фаянштейна применительно к хлорной технологии производства электролитного никеля. *Цветные металлы*. 2009; (9): 72–5. <https://elibrary.ru/kyulch>
17. Хомченко О.А., Садовская Г.И., Дубровский В.Л., Смирнов П.В., Папах С.Л. Разработка внедрение хлорной технологии производства никеля и кобальта в ОАО «Кольская ГМК». *Цветные металлы*. 2014; (9): 81–8. <https://elibrary.ru/snnecj>
18. Баронин Е.А., Шевцов А.В., Смирнов П.В. Исследования в области производства перспективных видов никелевой продукции. *Цветные металлы*. 2024; (11): 18–24. <https://doi.org/10.17580/tsm.2024.11.02>
19. Lee H.W., Jose C.C., Cuddapah S. Epithelial-mesenchymal transition: Insights into nickel-induced lung diseases. *Semin. Cancer Biol.* 2021; 76: 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2021.05.020>
20. Капцов В.А., Чиркин А.В. Требования к организации респираторной защиты работающих (обзор мировой практики). *Анализ риска здоровью*. 2020; (4): 188–95. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.4.21> <https://elibrary.ru/wivjpk>
21. Капцов В.А., Панкова В.Б., Чиркин А.В. Улучшение защиты органов дыхания от газов с помощью фильтрующих респираторов (Обзор проблем). *Медицина труда и экология человека*. 2021; (2): 13–22. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2021-10201> <https://elibrary.ru/vnkkuf>
22. Nicholson K., Makovski T.T., Griffith L.E., Raina P., Stranges S., van den Akker M. Multimorbidity and comorbidity revisited: refining the concepts for international health research. *J. Clin. Epidemiol.* 2019; 105: 142–6. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2018.09.008>
23. Syurin S., Vinnikov D. Occupational morbidity in the nickel industry workers. *Int. J. Circumpolar Health*. 2023; 82(1): 2231618. <https://doi.org/10.1080/22423982.2023.2231618>

References

1. Nikanov A.N., Chashchin V.P., Novikova Yu.A., Gudkov A.B., Popova O.N. Manufacturing-conditioned morbidity among non-ferrous workers in pyrometallurgical way of nickel production. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2021; 61(5): 305–10. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-5-305-310> <https://elibrary.ru/arabrr> (in Russian)
2. Cherkay Z.N., Shilov V. The question of workers occupational diseases in the mining and metallurgical industry. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal)*. 2015; (S7): 641–9. <https://elibrary.ru/uqgdzt> (in Russian)
3. Syurin S.A., Kizeev A.N. Health risks from exposure to chemicals in Arctic enterprises. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(8): 954–62. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-954-962> <https://elibrary.ru/baisaw> (in Russian)
4. Rocheva I.I., Leshataeva N.R. Working conditions and health status of woman employed at the nickel production plants in Kola polar region. *Ekologiya cheloveka*. 2008; (10): 47–9. <https://elibrary.ru/jurehkh> (in Russian)
5. Syurin S.A., Vinnikov D.V. Occupational health risks during nickel electrolysis production (longitudinal epidemiological study). *Meditsina truda i*

- promyshlennaya ekologiya*. 2023; 63(1): 31–8. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-1-31-38> <https://elibrary.ru/fqsrsg> (in Russian)
6. Syurin S.A., Nikanov A.N. Health risks from exposure to industrial aerosols of soluble and insoluble nickel compounds. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(8): 876–83. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-8-876-883> <https://elibrary.ru/crnmsm> (in Russian)
 7. Prueitt R.L., Li W., Chang Y.C., Boffetta P., Goodman J.E. Systematic review of the potential respiratory carcinogenicity of metallic nickel in humans. *Crit. Rev. Toxicol.* 2020; 50(7): 605–39. <https://doi.org/10.1080/10408444.2020.1803792>
 8. Seilkop S.K., Lightfoot N.E., Berriault C.J., Conard B.R. Respiratory cancer mortality and incidence in an updated cohort of Canadian nickel production workers. *Arch. Environ. Occup. Health*. 2017; 72(4): 204–16. <https://doi.org/10.1080/19338244.2016.1199532>
 9. Syurin S., Vinnikov D. Occupational disease claims and non-occupational morbidity in a prospective cohort observation of nickel electrolysis workers. *Sci. Rep.* 2022; 12(1): 7092. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11241-5>
 10. Shur P.Z., Redko S.V., Fadeev A.G., Goryaev D.V., Fokin V.A. Assessment of working conditions and health conditions of employees of non-ferrous metallurgy enterprises. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2023; 63(8): 537–44. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-8-537-544> <https://elibrary.ru/swennz> (in Russian)
 11. Nikanov A.N., Chashchin V.P. Hygienic assessment of exposure and determination of its value in production of nickel, copper and cobalt at mining and smelting complex in Kola High North. *Ekologiya cheloveka*. 2008; (10): 9–14. <https://elibrary.ru/juredv> (in Russian)
 12. Rahayu T., Sunarsih S., Jayadipraja E.A. Factors related to occupational diseases in smelter employees PT. Virtue Dragon nickel industry site Morosi. *Int. J. Health Sci.* 2023; 2(1): 1–5. <https://doi.org/10.54883/wish.v2i1.29>
 13. Syurin S.A., Shilov V.V. Bronchopulmonary pathology among nickel industry workers: development, diagnostics and clinical manifestations. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina*. 2015; (4): 50–6. <https://elibrary.ru/voist> (in Russian)
 14. Syurin S.A., Polyakova E.M., Kizeev A.N. Risk management of occupational pathology development in the occupational safety and health system of nickel industry workers. *Metallurg*. 2023; (4): 115–24. https://doi.org/10.52351/00260827_2023_05_115 <https://elibrary.ru/qpgxe> (in Russian)
 15. Zingalev I.O., Oleinikov A.A., Nizhegorodov A.A. Implementation of modern personal protective equipment at Kola Mining and Metallurgical Company. *Tsvetnye metally*. 2024; (12): 19–22. (in Russian)
 16. Tsapakh S.L., Demidov K.A., Khomchenko O.A., Sadovskaya G.I. Mechanism of processing of copper-nickel matte concerning chlorine based on technology of electrolytic nickel production. *Tsvetnye metally*. 2009; (9): 72–5. <https://elibrary.ru/kyulch> (in Russian)
 17. Khomchenko O.A., Sadovskaya G.I., Dubrovskiy V.L., Smirnov P.V., Tsapakh S.L. Development and implementation of chloride technology for nickel and cobalt production at OJSC “Kola Mining and Metallurgical Company”. *Tsvetnye metally*. 2014; (9): 81–8. <https://elibrary.ru/snnecj> (in Russian)
 18. Baronin E.A., Shevtsov A.V., Smirnov P.V. Research in the field of producing advanced types of nickel products. *Tsvetnye metally*. 2024; (11): 18–24. <https://doi.org/10.17580/tsm.2024.11.02> (in Russian)
 19. Lee H.W., Jose C.C., Cuddapah S. Epithelial-mesenchymal transition: Insights into nickel-induced lung diseases. *Semin. Cancer Biol.* 2021; 76: 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2021.05.020>
 20. Kaptsov V.A., Chirkin A.V. Requirements to respiratory protection for workers (world practices reviewed). *Health Risk Analysis*. 2020; (4): 188–95. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.4.21> <https://elibrary.ru/jbwqgf>
 21. Kaptsov V.A., Pankova V.B., Chirkin A.V. Improving respiratory protection from gases using filtering respirators (Review of problems). *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2021; (2): 13–22. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2021-10201> <https://elibrary.ru/vnkkuf> (in Russian)
 22. Nicholson K., Makovski T.T., Griffith L.E., Raina P., Stranges S., van den Akker M. Multimorbidity and comorbidity revisited: refining the concepts for international health research. *J. Clin. Epidemiol.* 2019; 105: 142–6. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2018.09.008>
 23. Syurin S., Vinnikov D. Occupational multimorbidity in the nickel industry workers. *Int. J. Circumpolar Health*. 2023; 82(1): 2231618. <https://doi.org/10.1080/22423982.2023.2231618>

Сведения об авторах

Сюрин Сергей Алексеевич, доктор мед. наук, ст. науч. сотр. отд. гигиены ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: kola.reslab@mail.ru

Ковшов Александр Александрович, канд. мед. наук, и.о. руководителя отд. гигиены, ст. науч. сотр. ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a.kovshov@s-znc.ru

Кириянова Марина Николаевна, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. отд. гигиены труда ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: mnn@ro.ru

Шильниковская Елена Владимировна, врач по общей гигиене ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Мурманской области в городе Мончегорск, городе Оленегорск и Ловозерском районе», 184511, Мончегорск, Россия. E-mail: yglovsaya@mail.ru

Information about the authors

Sergei A. Syurin, DSc (Medicine), senior researcher, Department of Hygiene, Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0275-0553> E-mail: kola.reslab@mail.ru

Aleksandr A. Kovshov, PhD (Medicine), acting head, Hygiene Department, Senior Researcher, Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9453-8431> E-mail: a.kovshov@s-znc.ru

Marina N. Kir'yanova, PhD (Medicine), senior researcher, Labor Hygiene Department, Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9037-0301> E-mail: mnn@ro.ru

Alena V. Shilnikovskaya, hygienist, Center for Hygiene and Epidemiology in the Murmansk Region in the city of Monchegorsk, the city of Olenegorsk and Lovozersky district, Monchegorsk, 184511, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0007-2163-380X> E-mail: yglovsaya@mail.ru