



Риски здоровью работников при электролитическом и электроэкстракционном рафинировании никеля

А.А. Ковшов^{1,2}, С.А. Сюрин¹, М.Н. Кирьянова¹, А.П. Пешкова³

¹ ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, ул. 2-я Советская, д. 4, 191036, Санкт-Петербург, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, ул. Кирочная, д. 41, 191015, Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ Филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Мурманской области в городе Мончегорске, городе Оленегорске и Ловозерском районе», ул. Комсомольская, д. 15, 184511, Мурманская обл., г. Мончегорск, Российская Федерация

Резюме

Введение. Высокая профессиональная заболеваемость работников является одной из причин внедрения новых, менее опасных для здоровья технологий производства никеля.

Цель исследования: изучение рисков здоровью работников при электролитическом и экстракционном способе рафинирования никеля.

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

Результаты. В 2004–2013 гг. производство никеля осуществлялось методом электролиза, а в 2014–2023 гг. происходил переход к методу электроэкстракции. Переход сопровождался снижением среднесменных концентраций гидроаэрозолей никеля в 2,5–3,5 раза в отделениях электролиза и повышением в 4,4 раза концентрации хлора в отделениях гидрометаллургии. В течение 20 лет в данном производстве установлено 311 профессиональных заболеваний, которые чаще выявлялись у электролизников (31,7 %) и среди которых преобладали болезни органов дыхания (60,1 %). В 2014–2023 гг. по сравнению с 2004–2013 гг. отмечалось снижение на 14,1 % уровня заболеваемости (с 86,67 до 75,88 случаев /10 000 работников) и меньший риск развития патологии: ОР = 1,45; 95 % ДИ 1,04–2,02. При использовании обеих технологий сохраняются рабочие места с профессиональным риском категорий «высокий», «очень высокий» и «экстремально высокий» и «неприемлемый» канцерогенный риск ($1,0 \times 10^{-3}$ и более) для большинства работников. Отмечался единственный случай острого отравления хлором (2019 г.).

Заключение. Переход с электролитического на электроэкстракционный метод рафинирования никеля не увеличивает риски здоровью работников. Однако существовавшие ранее и сохраняющиеся «высокий» и «очень высокий» профессиональные риски, а также неприемлемый канцерогенный риск для большинства рабочих мест свидетельствуют о приоритете (после технологической модернизации) внедрения новых здоровьесберегающих технологий (средства индивидуальной защиты, защита временем и др.).

Ключевые слова: производство никеля, электролиз, электроэкстракция, условия труда, риски здоровью, профессиональная патология.

Для цитирования: Ковшов А.А., Сюрин С.А., Кирьянова М.Н., Пешкова А.П. Риски здоровью работников при электролитическом и электроэкстракционном рафинировании никеля // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 5. С. 37–45. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-5-37-45

Occupational Health Risks in Electrolytic Refining and Electrowinning of Nickel

Aleksandr A. Kovshov,^{1,2} Sergei A. Syurin,¹ Marina N. Kir'yanova,¹ Alexandra P. Peshkova³

¹ North-West Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

² North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, 41 Kirochnaya Street, Saint Petersburg, 191015, Russian Federation

³ Branch of the Center for Hygiene and Epidemiology in the Murmansk Region in Monchegorsk, Olenegorsk and the Lovozersky District, 15 Komsomolskaya Street, 184511, Murmansk Region, Monchegorsk, Russian Federation

Summary

Introduction: High incidence of occupational diseases in workers is one of the reasons for the introduction of novel, safer technologies for nickel production.

Objective: To study workers' health risks posed by electrolytic refining and electrowinning of nickel.

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

Results: In 2004–2013, nickel was produced using electrolysis, while in 2014–2023, this technique was substituted by electrowinning. Such a transition was accompanied by a 2.5 to 3.5-fold decrease in time-weighted average concentrations of nickel water aerosols in the electrolysis departments and a 4.4-fold increase in chlorine concentration in the hydrometallurgy departments. Over 20 years, 311 occupational diseases were registered in workers of this refinery, particularly electrolysis bath operators (31.7 %), among which respiratory diseases predominated (60.1 %). Compared to 2004–2013, we observed a decrease in the incidence rate by 14.1 % (from 86.67 to 75.88 cases per 10,000 workers) and a lower risk of developing a disease (OR = 1.45; 95 % CI: 1.04–2.02) in the years 2014 to 2023. Both techniques pose high, very high, and extremely high workplace health risks and an unacceptable cancer risk ($\geq 1.0 \times 10^{-3}$). Only one case of acute chlorine poisoning was registered in 2019.

Conclusion: Switching from electrolytic refining to electrowinning of nickel does not increase health risks at the workplace. However, the previously existing and persisting high, very high, and extremely high occupational risks, as well as the unacceptable carcinogenic risk for most jobs indicate the priority of introducing new health-maintaining technologies for workers in the nickel industry after technological upgrade (personal protective equipment, working time reduction, etc.).

Keywords: nickel production, electrolysis, electrowinning, working conditions, health risks, occupational disease.

Cite as: Kovshov AA, Syurin SA, Kir'yanova MN, Peshkova AP. Occupational health risks in electrolytic refining and electrowinning of nickel. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2025;33(5):37–45. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-5-37-45

Введение. Никель относится к числу наиболее востребованных металлов в промышленности и быту, поэтому по объемам его производства и потребления можно судить об уровне развития страны. В постоянно увеличивающихся количествах никель применяется при изготовлении различных сплавов, антикоррозийных покрытий, катализаторов, аккумуляторных батарей, электротехнических, медицинских, ювелирных изделий, монет и др.¹ Возрастающая потребность в никеле делает необходимым совершенствование технологий его производства с учетом сохранения среды обитания и здоровья работников.

В течение многих лет такой технологией считался процесс электролитического рафинирования никеля. В его основе лежит растворение черновых никелевых анодов с последующим осаждением чистого металла на катодах в электролизных ваннах с сульфат-хлоридным никелевым электролитом². Недостатком этой технологии является ограниченная производительность, необходимость пирометаллургического производства черновых никелевых анодов, высокая энергозатратность, отрицательное влияние на окружающую среду. Кроме того, условия труда в электролизных цехах создают повышенный риск развития производственно-обусловленных и профессиональных болезней кожи [1, 2], репродуктивной системы [3], злокачественных новообразований [4–8], аллергических и других болезней [9, 10]. Но наиболее распространена у работников электролизного передела никеля хроническая патология верхних дыхательных путей и бронхов [11–13], вызываемая преимущественно аэрозолями водорастворимых соединений никеля [14, 15].

Дальнейшим развитием технологии электролитического рафинирования металлов явился метод электроэкстракции никеля из растворов хлорного растворения никелевого порошка трубчатых печей³. Данный метод обладает большей производительностью и позволяет отказаться от применения черновых анодов. Важно, что исключение из технологической цепи дуговой анодной электропечи приводит к снижению выбросов диоксида серы и никельсодержащей пыли в атмосферу, а солевой сток, образующийся после очистки никелевого раствора от примесей, подвергается полной утилизации [16–18].

Однако при доказанных экономических преимуществах и вероятном благоприятном экологическом эффекте отсутствуют научно обоснованные доказательства меньшего отрицательного влияния вредных производственных факторов при методе электроэкстракции никеля на здоровье работников. Также не проводилась сравнительная оценка

профессиональных рисков здоровью при электролитическом и электроэкстракционном методах получения никеля. Требуется уточнения применения работниками, занятыми в электроэкстракционном производстве никеля, средств индивидуальной защиты от воздействия вредных факторов³ [19]. В отечественной и зарубежной литературе публикации, посвященные этим вопросам, отсутствуют.

Цель исследования состояла в изучении рисков здоровью работников при электролитическом и электроэкстракционном способе рафинирования никеля.

Материалы и методы. Использовались данные Мурманского областного реестра профессиональных болезней (Научно-исследовательская лаборатория филиала ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья») и материалы производственного контроля условий труда у работников основных профессий в никелевой промышленности Мурманской области (санитарно-гигиенические характеристики условий труда).

Изучались условия труда, распространенность и структура профессиональных болезней работников цехов электролиза никеля в 2004–2023 годах. Учитывая изменения технологии производства никеля, для оценки динамики изучаемых показателей в общем 20-летнем наблюдении было выделено два 10-летних периода: 2004–2013 гг. – электролизное производство, 2014–2023 гг. – постепенный перевод никелевого производства без его остановки с электролиза на электроэкстракцию.

Дополнительно изучались концентрации приоритетных химических веществ в воздухе рабочей зоны до модернизации технологического процесса и после полного перевода производства на технологию электроэкстракции. Результаты производственного контроля представлены в виде минимальных, максимальных и средних концентраций. Средние концентрации рассчитывались как среднее арифметическое значение из максимально разовых концентраций, поскольку среднесменные ПДК для изучаемых веществ не установлены и хронометражных исследований не проводилось. При расчете средних значений в пробах с концентрациями менее предела количественного определения использовалась величина, равная половине нижнего предела количественного определения. Для ряда веществ диапазон определения их концентраций в воздухе рабочей зоны расширен по сравнению со стандартными методиками⁴.

На основании действующих нормативных документов (Руководство по оценке профессионального риска⁵; Руководство по гигиенической оценке условий труда⁶ и Руководство по оценке риска здоровью

¹ Никелевая промышленность: современное состояние отрасли (часть I). <https://www.metalbulletin.ru/a/40>

² ИТС 12-2019. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям производства никеля и кобальта. Дата введения 01.03.2020. <https://docs.cntd.ru/document/564068891>

³ Профилактика профессиональных заболеваний органов дыхания и периферической нервной системы у работников никелевой промышленности Севера России. Пособие для врачей. Санкт-Петербург, 2010. 33 с.

⁴ МУ 1623-77 Методические указания на фотометрическое определение водорастворимых соединений никеля в воздухе; МУ 4184-86 Методические указания по фотометрическому измерению концентраций никеля, его оксидов и сульфидов в воздухе рабочей зоны; МУ 4588-88 Методические указания по фотометрическому измерению концентраций серной кислоты и диоксида серы в присутствии сульфатов в воздухе рабочей зоны.

⁵ 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 Российской Федерации 07.09.2023).

⁶ Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда (утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 29.07.2005).

населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания⁷⁾ проведена оценка неканцерогенных рисков здоровью работников от ингаляционного действия никеля и хлора на рабочих местах. Дополнительно рассчитывался канцерогенный риск при ингаляционном воздействии никеля. При расчете канцерогенного риска использовались средние концентрации (за 10 лет при электролизном способе получения никеля и за 3 года при электроэкстракционном; концентрации водорастворимых и водонерастворимых соединений никеля суммировались). Объем легочной вентиляции с учетом тяжелого физического труда работников (постоянное в течение смены перемещение тяжестей свыше 10 кг) принимался равным 10 м³ за смену, продолжительность воздействия – 24 года (с учетом средней продолжительности трудового стажа), частота воздействия – 250 рабочих смен в год. Масса тела составляла для мужчин 70 кг, для женщин – 58 кг, период усреднения экспозиции – 70 лет, фактор канцерогенного потенциала при ингаляционном воздействии никеля – 0,84 мг/(кг × день)⁻¹.

Статистическая обработка результатов была проведена с применением программного обеспечения Microsoft Excel 2016 и программы Epi Info, v. 6.04d. Рассчитывались критерий согласия χ^2 , относительный риск (ОР) и 95 % доверительный интервал (ДИ), критерий аппроксимации (R^2). Числовые данные представлены в виде абсолютных значений, доли в процентах, среднего арифметического и стандартной ошибки среднего арифметического ($M \pm m$). Критический уровень значимости нулевой гипотезы составлял 0,05.

Ограничения исследования. Короткий срок применения экстракционного рафинирования никеля и проведение расчетов профессиональных рисков без учета использования работниками средств индивидуальной защиты органов дыхания.

Результаты. Данные производственного контроля концентраций химических веществ, вносящих основной вклад в развитие профессиональной патологии при никелевых производствах (соединения никеля, в том числе гидроаэрозоли, серная кислота, хлор), представлены в табл. 1.

Переход с технологии электролиза на электроэкстракцию характеризуется снижением средних и максимальных концентраций гидроаэрозолей никеля в воздухе рабочей зоны на рабочих местах электролизников водных растворов в 2,4 и 3,5 раза соответственно. Однако по-прежнему отмечаются превышения ПДК_{мр}: средняя концентрация из максимально разовых – в 13,8 раза, максимальная из максимально разовых – в 45,2 раза, минимальная из максимально разовых – в 4,0 раза. Сохраняются повышенные концентрации гидроаэрозоля никеля (максимальные и средние из максимально разовых) на рабочих местах аппаратчиков-гидрометаллургов, а также чистильщиков готовой продукции. Причем на рабочих местах чистильщиков средние из максимально разовых концентраций водонерастворимых аэрозолей никеля в настоящее время превышают ПДК. При технологии электролиза отмечалось превышение лишь максимальных значений из максимально разовых концентраций. При электроэкстракции отмечается снижение концентраций серной кислоты, однако и при электролизном способе получения никеля они не превышали ПДК. В то же время на рабочих местах в гидрометаллургическом отделении наблюдается выраженный рост концентраций хлора: средняя из максимально разовых концентраций превышает ПДК в 2,2 раза, а максимальная из максимально разовых – в 15,7 раза.

В 2004–2013 гг. в программы производственного контроля также включались кобальт (электролизное и гидрометаллургическое отделения), медь и серная кислота в гидрометаллургическом отделении, а также ксилол и толуол в отделении готовой продукции. Однако их концентрации не

Таблица 1. Концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений при электролизе и электроэкстракции никеля

Table 1. Workplace air concentrations of hazardous chemicals during electrolytic refining and electrowinning of nickel

Производственные помещения, основные рабочие места / Industrial premises, core personnel	Вредные вещества / Hazardous chemicals	ПДК, мг/м ³ / TLV, mg/m ³ *	Концентрация, мг/м ³ / Concentration, mg/m ³		
			Максимум / Maximum	Минимум / Minimum	Средняя / Mean
Отделение электролиза (электроэкстракции), электролизник водных растворов / Department of electrolysis (electrowinning), electrolysis bath operator	Никель / Nickel	0,005	0,792 0,226	0,016 0,020	0,165 0,069
	Серная кислота / Sulfuric acid	1,0	0,058 0,03	< 0,01 < 0,01	0,021 0,01
Гидрометаллургическое отделение, аппаратчик-гидрометаллург / Hydrometallurgical department, hydrometallurgist	Никель / Nickel	0,005	0,156 0,171	0,006 < 0,003	0,040 0,042
	Хлор / Chlorine	1,0	0,5 15,7	< 0,5 < 0,5	< 0,5 2,2
Отделение готовой продукции, чистильщик готовой продукции / Finished product department, finished product cleaner	Никель / Nickel**	0,005	0,111 0,042	< 0,003 < 0,003	0,027 0,021
	Никель / Nickel***	0,05	0,140 0,104	< 0,025 < 0,025	0,035 0,058

Примечание: числитель – показатели при электролизе, знаменатель – при экстракции никеля; * ПДК максимально разовая; ** водорастворимые соединения никеля; *** водонерастворимые соединения никеля.

Note: the values for electrolysis and electrowinning are in the numerator and denominator, respectively; * maximum one-time threshold limit value (TLV); ** water-soluble nickel compounds; *** water-insoluble nickel compounds.

⁷ Р 2.1.10.3968–23 "Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания" (утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 06.09.2023).

превышали ПДК, за исключением единичных случаев превышения максимально разовых концентраций кобальта в гидрометаллургическом отделении до 1,06 ПДК и ксилола (по сумме трех изомеров) в отделении готовой продукции (до 1,33 ПДК). На сегодня данные вещества не входят в программу производственного контроля.

В 2004–2023 гг. было впервые выявлено 311 профессиональных болезней у 145 работников электролизного/электроэкстракционного производства никеля, среди которых мужчин было 84 (57,9 %) и женщин – 61 (42,1 %) человек. На момент выявления болезней их средний возраст составлял $51,8 \pm 0,5$ года, а средняя продолжительность трудового стажа – $24,5 \pm 0,7$ года. В числе работников с профессиональной патологией было 46 (31,7 %) электролизников водных растворов, 30 (20,7 %) аппаратчиков-гидрометаллургов, 19 (13,1 %) слесарей-ремонтников, 17 (11,7 %) чистильщиков готовой продукции, 6 (4,1 %) машинистов крана, 4 (2,8 %) электромонтера и 23 (15,9 %) работника других специальностей.

В 2004–2023 гг. число работников с диагностированной профессиональной патологией варьировало в широком диапазоне от одного (2016 г.)

до 23 человек (2009 г.). Максимальные показатели отмечались в 2007–2008 гг., минимальные – в 2013–2016 гг. (рис. 1), но в целом за 20 лет статистически значимая тенденция к изменению числа заболевших работников отсутствует ($R^2 = 0,104$).

Анализ частоты выявления случаев профессиональной патологии в 2004–2023 гг. был выполнен с учетом ее нозологических форм. Так как при воздействии аэрозолей водорастворимых соединений никеля и газообразного хлора наиболее характерно развитие болезней органов дыхания (хронический бронхит, хроническая обструктивная болезнь легких, бронхиальная астма, болезни верхних дыхательных путей), они были выделены в отдельную группу (рис. 2).

В целом динамика числа случаев профессиональной патологии была близкой к динамике числа работников, у которых они диагностировались. В течение 20 лет отсутствовали статистически значимые тенденции к изменению как числа болезней органов дыхания ($R^2 = 0,008$), так и остальных нозологических форм ($R^2 = 0,016$).

Проведен также отдельный анализ динамики числа профессиональных болезней с учетом изменения условий труда (рис. 3 и 4).

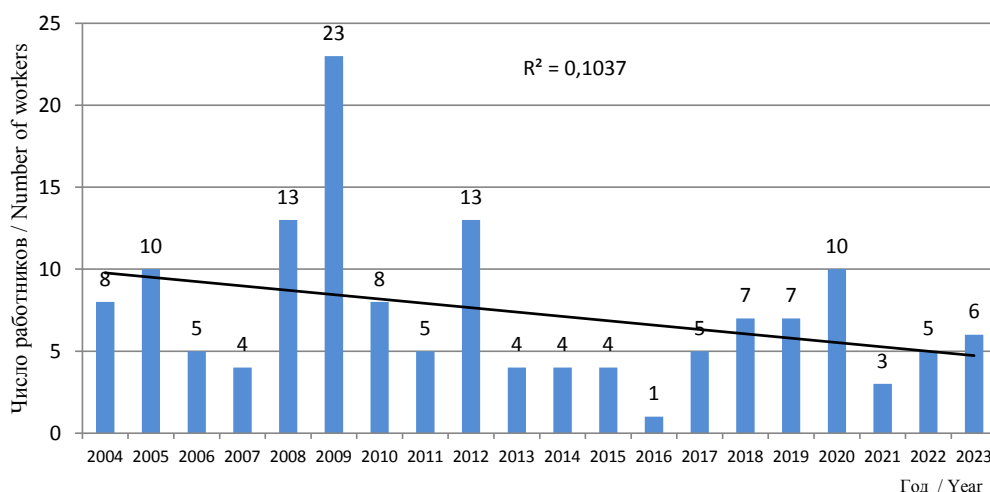


Рис. 1. Число работников с впервые выявленной профессиональной патологией в 2004–2023 гг.

Fig. 1. The number of workers with newly diagnosed occupational diseases in 2004–2023

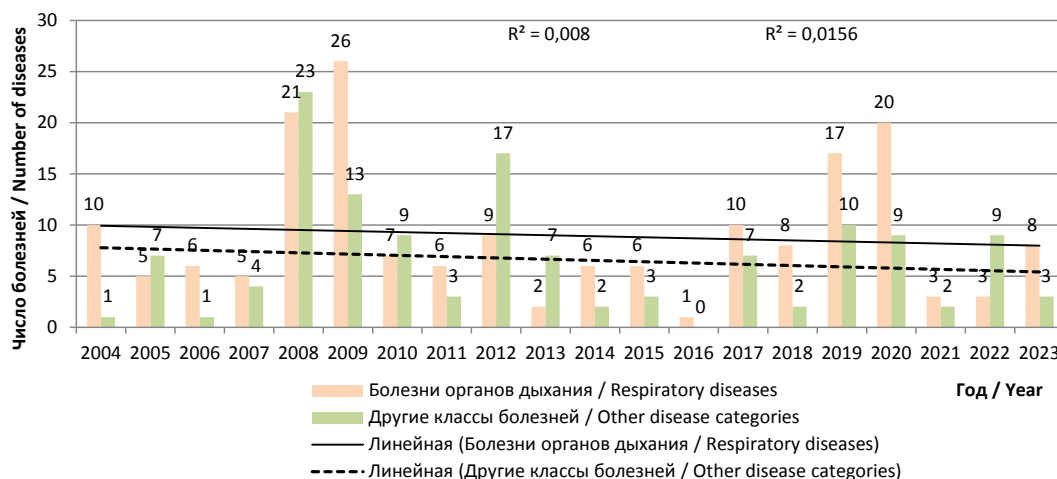


Рис. 2. Число впервые выявленных профессиональных болезней в 2004–2023 гг.

Fig. 2. The number of newly diagnosed occupational diseases in 2004–2023

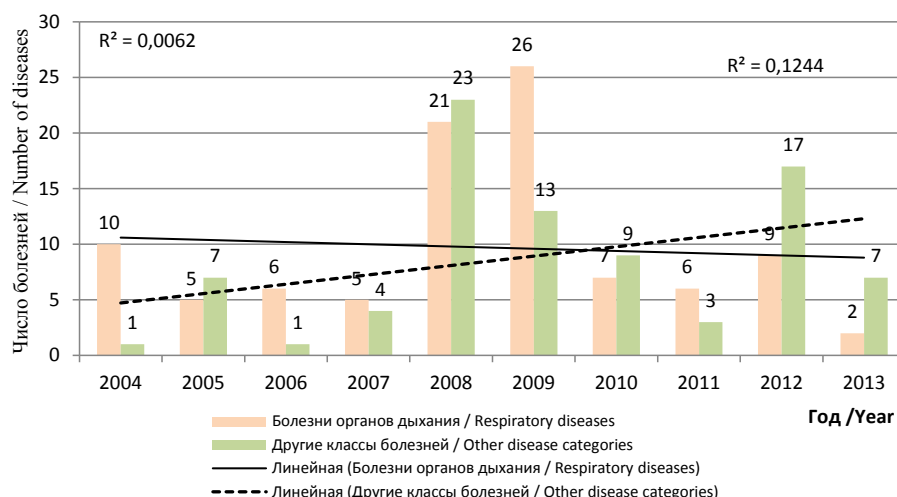


Рис. 3. Число профессиональных болезней при электролизном производстве никеля в 2004–2013 гг.
Fig. 3. The number of occupational diseases in workers engaged in electrolytic refining of nickel in 2004–2013

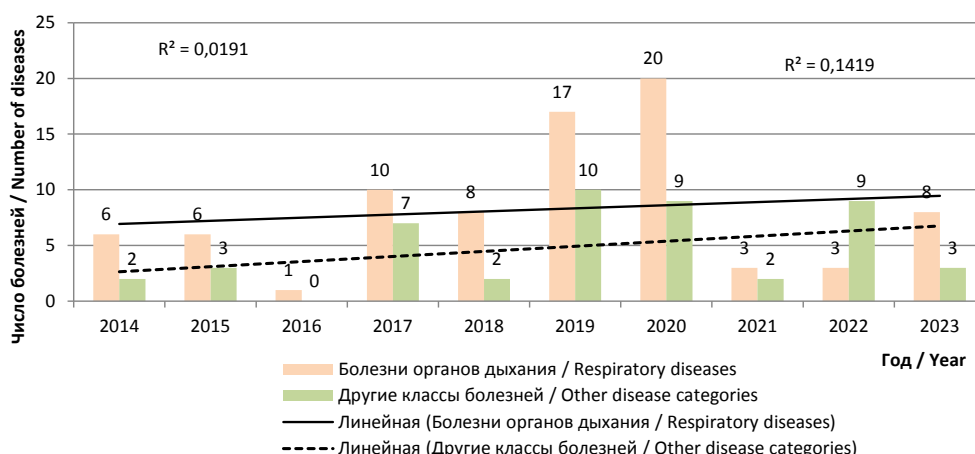


Рис. 4. Число профессиональных болезней при переходе от электролиза к электроэкстракции никеля в 2014–2023 гг.
Fig. 4. The number of occupational diseases registered during transition from electrolysis to electrowinning of nickel in 2014–2023

В 2004–2013 гг. при электролизном производстве никеля статистически значимые тенденции к изменению числа случаев респираторной патологии ($R^2 = 0,006$) и числа всех других нозологических форм болезней ($R^2 = 0,124$) отсутствовали. В 2014–2023 гг. при переходе от электролиза к электроэкстракции никеля выраженной тенденции к изменению числа болезней органов дыхания также не отмечено ($R^2 = 0,019$), тогда как в отношении всех других нозологических форм профессиональной патологии отмечен слабый (статистически незначимый, $R^2 = 0,142$) тренд к росту.

Сравнительный анализ структуры профессиональной патологии в 2004–2013 и 2014–2023 гг. показал различия по двум классам болезней: болезням кожи и злокачественным новообразованиям. Доля первого была выше при электролизе никеля, а второго – в переходный период к экстракции никеля. Единственный случай острого отравления хлором был зарегистрирован в 2021 г. (табл. 2).

Анализ распределения болезней у работников различных специальностей показал, что как в 2004–2013 гг., так и в 2014–2023 гг. профессиональная

патология чаще развивалась у электролизников водных растворов и аппаратчиков-гидрометаллургов. Единственным различием между двумя сравниваемыми периодами была большая доля чистильщиков готовой продукции в 2014–2023 гг. (табл. 3).

Среднегодовой уровень профессиональной заболеваемости при электролизном рафинировании никеля в 2004–2013 гг. составил 86,67 случая / 10 000 работников. При переходе на электроэкстракцию никеля в 2014–2023 гг. он отличался незначительно – 75,88 случая / 10 000 работников (снижение на 14,2 %). Риск развития профессиональной патологии в 2004–2013 гг. был выше, чем в 2014–2023 гг.: ОР = 1,45; 95 % ДИ 1,04–2,02.

В настоящее время класс условий труда (КУТ) по химическому фактору, определенный исходя из средних значений концентраций веществ (с учетом аллергенных и канцерогенных свойств никеля и остронаправленного действия хлора), соответствует на рабочих местах гидрометаллургического отделения и отделения готовой продукции вредным условиям труда 3-й степени (КУТ 3.3), отделения

Таблица 2. Структура профессиональной патологии при электролизе и электроэкстракции никеля, случаи (%)
Table 2. Occupational diseases registered in workers engaged in electrolytic refining and electrowinning of nickel, cases (%)

Нозологические формы (МКБ-10) / Diseases (ICD-10)	Период наблюдения / Observation period		Значимость отличий / p-value
	2004–2013	2014–2023	
Болезни органов дыхания / Diseases of the respiratory system	105 (57,7)	82 (63,6)	0,298
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани / Diseases of the musculoskeletal system and connective tissue	50 (27,5)	32 (24,8)	0,600
Шумовые эффекты внутреннего уха (двусторонняя нейросенсорная тугоухость) / Bilateral noise-induced hearing loss	16 (8,8)	5 (3,9)	0,089
Болезни кожи и подкожной клетчатки / Diseases of the skin and subcutaneous tissue	8 (4,4)	0	0,016
Злокачественные новообразования / Malignant neoplasms	2 (1,1)	7 (5,4)	0,025
Болезни нервной системы / Diseases of the nervous system	1 (0,5)	2 (1,6)	0,374
Острые отравления хлором / Chlorine gas poisoning	0	1 (0,8)	1,000

Таблица 3. Структура специальностей работников с профессиональной патологией, чел. (%)
Table 3. Specialty-specific distribution of occupational disease cases, n (%)

Специальность работников / Specialty	Период наблюдения / Observation period		Значимость отличий / p-value
	2004–2013	2014–2023	
Электролизник водных растворов / Electrolysis bath operator	32 (34,4)	14 (26,9)	0,353
Аппаратчик-гидрометаллург / Hydrometallurgist	18 (19,4)	12 (23,1)	0,596
Слесарь-ремонтник / Repairman	15 (16,1)	4 (7,7)	0,149
Чистильщик готовой продукции / Finished product cleaner	6 (6,5)	11 (21,2)	0,009
Машинист крана / Crane operator	3 (3,2)	3 (5,8)	0,461
Электромонтер / Electrician	3 (3,2)	1 (1,9)	0,646
Прочие специальности / Others	16 (17,2)	7 (13,5)	0,555

электроэкстракции – КУТ 3.4. Согласно Р 2.2.3969–23 такие условия труда относятся к категории профессионального риска «высокий» и «очень высокий», что характеризуется уровнями профессионального риска $3 \times 10^{-2} \dots 1 \times 10^{-1}$ и $1 \times 10^{-1} \dots 3 \times 10^{-1}$ соответственно. Ретроспективная оценка условий труда в отделении электролиза никеля позволяет охарактеризовать их как опасные (КУТ 4), которые соответствуют категории «экстремально высокий риск» и уровню профессионального риска $3 \times 10^{-1} - 1$.

Результаты количественной оценки канцерогенного риска свидетельствуют о неприемлемом ($1,0 \times 10^{-3}$ и более) уровне риска от действия никеля для большинства рабочих мест как при электролизном, так и при электроэкстракционном способе его получения (табл. 4).

Необходимо отметить, что расчет с учетом 202 рабочих смен в году (принимая во внимание

продолжительность основного и дополнительных отпусков в данной сфере деятельности) обеспечит приемлемый ($9,6 \times 10^{-4}$) риск на рабочих местах в гидрометаллургическом отделении для мужчин при существующих условиях труда. В целом обеспечение приемлемого канцерогенного риска (при стаже работы 24 года и 202 сменах в году) возможно при среднесменных концентрациях никеля $0,043 \text{ мг/м}^3$ (для мужчин) и $0,036 \text{ мг/м}^3$ (для женщин).

В случае если принять фактические рассчитанные средние концентрации никеля при электроэкстракционном способе его получения за среднесменные, то приемлемый канцерогенный риск (с поправкой на 202 смены в году) может быть обеспечен для мужчин при стаже работы не более 15 лет – в отделении электроэкстракции, не более 13 лет – в отделении готовой продукции и не более 25 лет – в гидрометаллургическом отделении (в последнем

Таблица 4. Характеристика канцерогенного риска при ингаляционном воздействии никеля на рабочих местах
Table 4. Carcinogenic risks posed by inhalation exposure to nickel at workplaces

Производственные помещения / Industrial premises	Электролизный способ получения никеля / Electrolytic nickel refining		Экстракционный способ получения никеля / Electrowinning of nickel	
	мужчины / men	женщины / women	мужчины / men	женщины / women
Отделение электролиза (электроэкстракции) / Department of electrolysis (electrowinning)	4,65E-03	5,61E-03	1,94E-03	2,35E-03
Гидрометаллургическое отделение / Hydrometallurgical department	1,13E-03	1,36E-03	1,18E-03	1,43E-03
Отделение готовой продукции / Finished product department	1,75E-03	2,11E-03	2,23E-03	2,69E-03

случае соответствует фактическому среднему стажу работы). Для женщин максимальный стаж в данных условиях труда, обеспечивающий приемлемый уровень канцерогенного риска, составит не более 12, 11 и 20 лет соответственно.

Обсуждение. Обсуждая полученные результаты, принципиально важно констатировать, что при переходе на метод электроэкстракционного рафинирования произошло снижение в воздухе производственных помещений концентрации гидроаэрозолей никеля – основного фактора развития профессиональной патологии [13–16]. При этом увеличение в гидрометаллургических отделениях концентрации хлора, с которым связаны случаи острой патологии при технических авариях [15], при хронической экспозиции не оказывало существенного влияния на состояние здоровья работников. Эти факты, а также снижение на 14,1 % уровня профессиональной заболеваемости и относительного риска развития патологии при электроэкстракционном рафинировании никеля позволяют с полным основанием утверждать, что новая технология не создала новых угроз здоровью работников.

Во-вторых, нужно отметить, что метод электроэкстракции никеля не ликвидировал ранее существовавшие угрозы здоровью работников цехов электролиза никеля, обусловленные, прежде всего, соединениями никеля и высокой тяжестью трудовых процессов [13, 14, 20–22]. Об этом свидетельствуют итоговые классы условий труда на уровне 3.3–3.4–4 у большинства работников цеха. Это подтверждают категории профессионального риска «высокий», «очень высокий» и даже «экстремально высокий», требующие принятия мер по улучшению условий труда. Это необходимо даже при том, что результаты сравнительной оценки априорного и апостериорного рисков за период 2004–2013 гг. позволяют сделать вывод о том, что фактический риск здоровью от действия химического фактора ($5,5 \times 10^{-2}$ за 10 лет или $1,4 \times 10^{-1}$ при экстраполяции на 25-летний период) был несколько ниже прогнозного уровня ($3 \times 10^{-1} - 1$). Заслуживает внимания, что значения апостериорного риска от действия химического фактора за 2014–2023 гг. ($5,4 \times 10^{-2}$ за 10 лет, или $1,4 \times 10^{-1}$ при экстраполяции на 25-летний период) сопоставимы с уровнями априорного риска ($3 \times 10^{-2} \dots 1 \times 10^{-1}$ для отделений гидрометаллургии и готовой продукции, а также $1 \times 10^{-1} \dots 3 \times 10^{-1}$ для отделения электроэкстракции).

В-третьих, особого внимания заслуживает проблема злокачественных новообразований у лиц, занятых в никелевой промышленности [4–8]. Она подтверждена неприемлемым уровнем канцерогенного риска у обследованного нами контингента работников. Дополнительным способом управления канцерогенным риском может стать снижение тяжести трудового процесса путем автоматизации и (или) механизации технологического процесса, что снизит объем легочной вентиляции с 10 до 7 м³ за смену и уменьшит уровни риска в 1,43 раза. Необходимо отметить, что расчет рисков здоровью основан на 40-часовой рабочей неделе, в то время

как КУТ 3.3 и выше предполагает право работников на сокращенную (не более чем 36-часовую) рабочую неделю. Тем не менее работники могут не воспользоваться данным правом, поскольку действующим законодательством допускается 40-часовая рабочая неделя при данных условиях труда с выплатой денежной компенсации⁸.

Для минимизации риска развития хронической респираторной патологии и злокачественных новообразований рекомендован переход на работу в индивидуальных средствах защиты органов дыхания изолирующего типа в связи с превышением ПДК никеля до 45 раз, а хлора – до 16 раз. Прежде всего, это касается специалистов, рабочие места которых находятся вблизи электроэкстракционных ванн и специалистов, имеющих повышенную тяжесть трудового процесса (гипервентиляция легких при физической нагрузке).

По всей видимости, сопоставимость результатов априорной и апостериорной оценки риска, полученной исходя из класса условий труда, свидетельствует о недостаточной эффективности применяемых средств индивидуальной защиты или о нерегламентированном их использовании. В то же время несоответствие фактических и прогнозных уровней канцерогенного риска, скорее всего, связано с особенностями процедуры экспертизы связи злокачественных новообразований с профессией, поскольку в последние годы применение методики количественной оценки канцерогенного риска позволяет существенно упростить возможность доказать профессиональный генез злокачественного новообразования. Вместе с тем следует понимать, что неприемлемый профессиональный канцерогенный риск не исключает существенного вклада в структуру риска иных канцерогенных факторов, в первую очередь курения табака [9, 10, 15], поэтому отсутствие учета данных факторов может существенно исказить реальное воздействие условий труда на здоровье работников.

Заключение. Переход с электролитического на электроэкстракционный метод рафинирования никеля не увеличивает риски здоровью работников. Однако существовавшие ранее и сохраняющиеся при электроэкстракционном рафинировании никеля «высокий», «очень высокий» и «экстремально высокий» профессиональные риски, а также «неприемлемый» канцерогенный риск для большинства рабочих мест свидетельствуют о приоритете внедрения новых здоровьесберегающих технологий для работников никелевой промышленности (средства индивидуальной защиты, защита временем и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петренко О.Д. Распространенность кожных заболеваний у работников электролитного производства никеля и алюминия // Экология человека. 2008. № 10. С. 37–39.
2. Ahlström MG, Thyssen JP, Wennervaldt M, Menné T, Johansen JD. Nickel allergy and allergic contact dermatitis: A clinical review of immunology, epidemiology, exposure, and treatment. *Contact Dermatitis*. 2019;81(4):227–241. doi: 10.1111/cod.13327

⁸ Ст. 92 Трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 26.12.2024).

3. Vaktskjold A, Talykova LV, Chashchin VP, Odland JØ, Nieboer E. Spontaneous abortions among nickel-exposed female refinery workers. *Int J Environ Health Res*. 2008;18(2):99-115. doi: 10.1080/09603120701498295
4. Рочева И.И., Лештаева Н.Р. Условия труда и состояние здоровья работниц на предприятиях никелевого производства Кольского Заполярья // Экология человека. 2008. № 10. С. 47–49.
5. Pavela M, Uitti J, Pukkala E. Cancer incidence among copper smelting and nickel refining workers in Finland. *Am J Ind Med*. 2017;60(1):87-95. doi: 10.1002/ajim.22662
6. Prueitt RL, Li W, Chang YC, Boffetta P, Goodman JE. Systematic review of the potential respiratory carcinogenicity of metallic nickel in humans. *Crit Rev Toxicol*. 2020;50(7):605-639. doi: 10.1080/10408444.2020.1803792
7. Begum W, Rai S, Banerjee S, et al. A comprehensive review on the sources, essentiality and toxicological profile of nickel. *RSC Adv*. 2022;12(15):9139-9153. doi: 10.1039/d2ra00378c
8. Behrens T, Ge C, Vermeulen R, et al. Occupational exposure to nickel or hexavalent chromium and the risk of lung cancer (SYNERGY). *Eur J Public Health*. 2024;34(Suppl 3):ckae144.1434. doi: 10.1093/eurpub/ckae144.1434
9. Никанов А.Н., Чашин В.П., Дардынская И., Горбанев С.А., Гудков А.Б., Лагхайн Б. и др. Риск-ориентированный подход к сохранению профессионального здоровья работников на предприятиях цветной металлургии в Арктической зоне Российской Федерации // Экология человека. 2019. Т. 26. № 2. С. 12–20. doi: 10.33396/1728-0869-2019-2-12-20
10. Сюрин С.А., Винников Д.В. Профессиональные риски здоровью при электролизном переделе никеля (продольное эпидемиологическое исследование) // Медицина труда и промышленная экология. 2023. Т. 63. № 1. С. 31–38. doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-1-31-38
11. Черкай З.Н., Шилов В.В. К вопросу о профессиональной заболеваемости работников в горно-металлургической промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 2. С. 641–649.
12. Сюрин С.А., Шилов В.В. Бронхолегочная патология у работников никелевой промышленности: особенности развития, диагностики и клиники // Профилактическая и клиническая медицина. 2015. № 4. С. 50–56.
13. Lee HW, Jose CC, Cuddapah S. Epithelial-mesenchymal transition: Insights into nickel-induced lung diseases. *Semin Cancer Biol*. 2021;76:99-109. doi: 10.1016/j.semcancer.2021.05.020
14. 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. doi: 10.1038/s41598-022-11241-5
15. 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. С. 9–14.
16. Цапах С.Л., Демидов К.А., Хомченко О.А., Садовская Г.И. Закономерности процессов переработки медно-никелевого файнштейна применительно к хлорной технологии производства электролитного никеля // Цветные металлы. 2009. № 9. С. 72–75.
17. Хомченко О.А., Садовская Г.И., Дубровский В.Л., Смирнов П.В., Цапах С.Л. Разработка внедрение хлорной технологии производства никеля и кобальта в ОАО «Кольская ГМК» // Цветные металлы. 2014. Т. 861. № 9. С. 81–88.
18. Баронин Е. А., Шевцов А. В., Смирнов П. В. Исследования в области производства перспективных видов никелевой продукции // Цветные металлы. 2024. № 11. С. 18–24. doi: 10.17580/tsm.2024.11.02
19. Зингалев И.О., Олейников А.А., Нижегородов А.А. Внедрение современных средств индивидуальной защиты в АО "Кольская ГМК" // Цветные металлы. 2024. № 12. С. 19–22.
20. Сюрин С.А., Никанов А.Н. Риски для здоровья при воздействии производственных аэрозолей соединений никеля // Гигиена и санитария. 2024. № 103(8). С. 876–883. doi: 10.47470/0016-9900-2024-103-8-876-883
21. Сюрин С.А., Полякова Е.М., Кизеев А.Н. Управление рисками развития профессиональной патологии в системе охраны труда работников никелевой промышленности // Металлург. 2023. № 4. С. 115–124. doi: 10.52351/00260827_2023_05_115
22. Никанов А.Н., Маркова О.Л., Фролова Н.М., Куликова В.С. Медико-биологическая оценка применения профилактических напитков у работающих во вредных условиях труда // Медицина труда и промышленная экология. 2013. № 8. С. 46–50.

REFERENCES

1. Petrenko OD. Prevalence of skin diseases in workers engaged in electrolytic production of nickel and aluminum. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2008;(10):37-39. (In Russ.)
2. Ahlström MG, Thyssen JP, Wennervaldt M, Menné T, Johansen JD. Nickel allergy and allergic contact dermatitis: A clinical review of immunology, epidemiology, exposure, and treatment. *Contact Dermatitis*. 2019;81(4):227-241. doi: 10.1111/cod.13327
3. Vaktskjold A, Talykova LV, Chashchin VP, Odland JØ, Nieboer E. Spontaneous abortions among nickel-exposed female refinery workers. *Int J Environ Health Res*. 2008;18(2):99-115. doi: 10.1080/09603120701498295
4. Rocheva II, Leshtaeva NR. Working conditions and health status of woman employed at the nickel production plants in Kola polar region. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2008;(10):47-49. (In Russ.)
5. Pavela M, Uitti J, Pukkala E. Cancer incidence among copper smelting and nickel refining workers in Finland. *Am J Ind Med*. 2017;60(1):87-95. doi: 10.1002/ajim.22662
6. Prueitt RL, Li W, Chang YC, Boffetta P, Goodman JE. Systematic review of the potential respiratory carcinogenicity of metallic nickel in humans. *Crit Rev Toxicol*. 2020;50(7):605-639. doi: 10.1080/10408444.2020.1803792
7. Begum W, Rai S, Banerjee S, et al. A comprehensive review on the sources, essentiality and toxicological profile of nickel. *RSC Adv*. 2022;12(15):9139-9153. doi: 10.1039/d2ra00378c
8. Behrens T, Ge C, Vermeulen R, et al. Occupational exposure to nickel or hexavalent chromium and the risk of lung cancer (SYNERGY). *Eur J Public Health*. 2024;34(Suppl 3):ckae144.1434. doi: 10.1093/eurpub/ckae144.1434
9. Nikanov AN, Chashchin VP, Dardynskaia I, et al. Risk-based approach to improve workplace health in non-ferrous metallurgy located in the Arctic zone of Russian Federation. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2019;(2):12-20. (In Russ.) doi: 10.33396/1728-0869-2019-2-12-20
10. Syurin SA, Vinnikov DV. Occupational health risks during nickel electrolysis production (longitudinal epidemiological study). *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2023;63(1):31-38. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-1-31-38
11. Cherkay ZN, Shilov VV. The question of workers occupational diseases in the mining and metallurgical

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-33-5-37-45>
Original Research Article

- industry. *Gornyy Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten' (Nauchno-Tekhnicheskiy Zhurnal)*. 2015;(S7):641-650. (In Russ.)
12. Syurin SA, Shilov VV. Bronchopulmonary pathology among nickel industry workers: Development, diagnostics and clinical manifestations. *Profilakticheskaya i Klinicheskaya Meditsina*. 2015;(4(57)):50-56. (In Russ.)
 13. Lee HW, Jose CC, Cuddapah S. Epithelial-mesenchymal transition: Insights into nickel-induced lung diseases. *Semin Cancer Biol*. 2021;76:99-109. doi: 10.1016/j.semcancer.2021.05.020
 14. 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. doi: 10.1038/s41598-022-11241-5
 15. Nikanov AN, Chashchin VP. 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 (Human Ecology)*. 2008;(10):9-14. (In Russ.)
 16. Tsapakh SL, Demidov KA, Khomchenko OA, Sadovskaya GI. Mechanism of processing of copper-nickel matte concerning chlorine based on technology of electrolytic nickel production. *Tsvetnye Metally*. 2009;(9):72-75. (In Russ.)
 17. Khomchenko OA, Sadovskaya GI, Dubrovskiy VL, Smirnov PV, Tsapakh SL. [Development and implementation of chlorine technology for the production of nickel and cobalt at Kola MMC OJSC.] *Tsvetnye Metally*. 2014;(9(861)):81-88. (In Russ.)
 18. Baronin EA, Shevcov AV, Smirnov PV. Researches on promising nickel products production. *Tsvetnye Metally*. 2024;(11):18-24. (In Russ.) doi: 10.17580/tsm.2024.11.02
 19. Zingalev IO, Oleinikov AA, Nizhegorodov AA. [Introduction of modern personal protective equipment in Kola MMC OJSC.] *Tsvetnye Metally*. 2024;(12):19-22. (In Russ.)
 20. Syurin SA, Nikanov AN. Health risks from exposure to industrial aerosols of soluble and insoluble nickel compounds. *Gigiena i Sanitariya*. 2024;103(8):876-883. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2024-103-8-876-883
 21. Syurin SA, Polyakova EM, Kizeev AN. Risk management of occupational pathology development in the occupational safety and health system of nickel industry workers. *Metallurg*. 2023;(5):115-124. (In Russ.) doi: 10.52351/00260827_2023_05_115
 22. Nikanov AN, Markova OL, Frolova NM, Kulikova VS. Medical and biological assessment of preventive drinks use among workers exposed to adverse working conditions. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2013;(8):43-46. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Ковшов Александр Александрович – к.м.н., заведующий отделением гигиены труда, старший научный сотрудник ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; доцент кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России; e-mail: a.kovshov@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9453-8431>.

✉ **Сюрин** Сергей Алексеевич – д.м.н., старший научный сотрудник отдела гигиены ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: kola.reslab@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0275-0553>.

Кирьянова Марина Николаевна – к.м.н., старший научный сотрудник отделения гигиены труда ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: mrn@ro.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9037-0301>.

Пешкова Александра Павловна – заместитель главного врача ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Мурманской области в городе Мончегорске, городе Оленегорске и Ловозерском районе»; e-mail: monchegorsk@fguzmo.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4529-0123>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Сюрин С.А.; сбор данных: Сюрин С.А., Ковшов А.А., Пешкова А.П.; анализ и интерпретация результатов: Сюрин С.А., Ковшов А.А., Кирьянова М.Н.; литературный обзор: Сюрин С.А., Кирьянова М.Н.; подготовка проекта рукописи: Сюрин С.А., Ковшов А.А., Кирьянова М.Н. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по био-медицинской этике или иных документов.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 27.03.25 / Принята к публикации: 10.05.25 / Опубликована: 30.05.25

Author information:

Aleksandr A. Kovshov, Cand. Sci. (Med.), Head of Occupational Hygiene Department, Senior Researcher, North-West Public Health Research Center; Assoc. Prof., Department for Hygiene of Educational, Training, and Occupational Conditions and Radiation Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; e-mail: a.kovshov@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9453-8431>.

✉ Sergei A. Syurin, Dr. Sci. (Med.), Senior Researcher, Department of Public Health Analysis and Monitoring, North-West Public Health Research Center; e-mail: kola.reslab@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0275-0553>.

Marina N. Kir'yanova, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, Occupational Hygiene Department, North-West Public Health Research Center; e-mail: mrn@ro.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9037-0301>.

Alexandra P. Peshkova, Deputy Head, Branch of the Center for Hygiene and Epidemiology in the Murmansk Region in Monchegorsk, Olenegorsk and the Lovozersky district; e-mail: monchegorsk@fguzmo.ru; <https://orcid.org/0009-0001-4529-0123>.

Author contributions: study conception and design: Syurin S.A.; data collection: Syurin S.A., Kovshov A.A., Peshkova A.P.; analysis and interpretation of results: Syurin S.A., Kovshov A.A., Kir'yanova M.N.; bibliography compilation and referencing: Syurin S.A., Kir'yanova M.N.; draft manuscript preparation: Syurin S.A., Kovshov A.A., Kir'yanova M.N. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research received no external funding.

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

Received: March 27, 2025 / Accepted: May 10, 2025 / Published: May 30, 2025