

Читать
онлайн
Read
online

Никанов А.Н.¹, Чащин В.П.¹, Улановская Е.В.¹, Заиченко А.И.²,
Шильниковская А.В.², Гудков А.Б.³, Попова О.Н.³

Характеристика воздушной среды производственных помещений отделения экстракции кобальтовых солей

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 191036, Санкт-Петербург, Россия;

²ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Мурманской области в городе Мончегорске, городе Оленегорске и Ловозерском районе», 183038, Мончегорск, Россия;

³ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 163061, Архангельск, Россия

Введение. Внедрение новых методов извлечения металлов из руд полезных ископаемых в металлургической промышленности должно сопровождаться экспертной гигиенической оценкой условий труда.

Материалы и методы. Исследования проведены на одном из металлургических предприятий Мурманской области, осуществляющем переработку сульфидных медно-никелевых руд, производство электролитного никеля, меди, кобальта, кобальтового концентрата и концентратов драгоценных металлов. Характеристика воздушной среды в отделении экстракции кобальтовых солей проведена на рабочих местах аппаратчиков-гидрометаллургов по результатам анализа 50 проб. Пробы воздуха отбирались с помощью индивидуальных пробоотборников в течение 75% времени рабочей смены одновременно на всех трёх этапах (участках) экстракции кобальтовых солей. Измерение металлов выполнялось методом индуктивно связанной плазменной атомно-эмиссионной спектрометрии.

Результаты. Установлено, что на организм аппаратчиков-гидрометаллургов воздействовал комплекс вредных веществ сложного состава, где наиболее значимыми являлись водорастворимые и водонерастворимые соединения никеля и кобальта. Содержание водорастворимых соединений никеля и кобальта на всех участках экстракции кобальтовых солей находилось в пределах 0,0066–0,0236 и 0,0147–0,303 мг/м³, а водонерастворимых – 0,0043–0,0150 и 0,002–0,0163 мг/м³. Концентрации соединений меди, свинца, кадмия в воздухе рабочей зоны не превышали ПДК во всех пробах.

Ограничения исследования. Исследование ограничено изучением 50 проб воздуха рабочих зон аппаратчиков-металлургов отделения экстракции кобальтовых солей.

Заключение. Современные способы получения кобальтовых солей методом экстракции могут создавать реальную угрозу здоровью работающих. Необходимых изменений корректных моделей для оценки и управления рисками вредного воздействия водорастворимых и водонерастворимых соединений металлов (никель, кобальт) на здоровье человека требует разработки специальной методологии гигиенического нормирования их содержания во вдыхаемых аэрозольных фракциях воздуха на рабочих местах в закрытых производственных помещениях.

Ключевые слова: горно-металлургические предприятия; оценка условий труда; экстракция кобальтовых солей

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

Для цитирования: Никанов А.Н., Чащин В.П., Улановская Е.В., Заиченко А.И., Шильниковская А.В., Гудков А.Б., Попова О.Н. Характеристика воздушной среды производственных помещений отделения экстракции кобальтовых солей. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(8): 806–810. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-8-806-810> <https://elibrary.ru/xlbidf>

Для корреспонденции: Никанов Александр Николаевич, канд. мед. наук, руководитель отд. клинических исследований, вед. науч. сотр. ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург. E-mail: a.nikanov@s-znc.ru

Участие авторов: Никанов А.Н. – концепция, редактирование и утверждение окончательного варианта статьи; Чащин В.П. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Улановская Е.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Заиченко А.И. – сбор и обработка материала, редактирование статьи; Шильниковская А.В. – сбор и обработка материала, статистический анализ, написание текста; Гудков А.Б. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Попова О.Н. – концепция и дизайн исследования, редактирование.

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 28.04.2023 / Принята к печати: 07.06.2023 / Опубликована: 09.10.2023

Alexander N. Nikanov¹, Valery P. Chashchin¹, Ekaterina V. Ulanovskaya¹, Andrey I. Zaichenko²,
Alena V. Shilnikovskaya², Andrey B. Gudkov³, Olga N. Popova³

Characteristics of the air environment of the production premises of the cobalt salts extraction unit

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

²Center for Hygiene and Epidemiology in the Murmansk region, Monchegorsk, Murmansk reg., 183038, Russian Federation;

³Northern State Medical University for the Ministry of Health of the Russian Federation, Arkhangelsk, 163061, Russian Federation

Introduction. The introduction of new and modern methods of extracting metals from mineral ores in the metallurgical industry should be accompanied by an expert hygienic assessment of working conditions.

Materials and methods. The research was carried out at one of the metallurgical enterprises of the Murmansk region, which processes sulfide copper-nickel ores, produces electrolyte nickel, copper, cobalt, cobalt concentrate and precious metal concentrates. The characteristics of the air environment in the cobalt salt extraction department were carried out at the workplaces of hydrometallurgists based on the results of the analysis of fifty samples. Air samples were taken using

individual samplers during 75.0% of the time of the work shift simultaneously at all three stages (sections) of cobalt salt extraction. The measurement of metals was performed by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry.

Results. Apparatchiks-hydrometallurgists body was established to be affected by a lot of harmful substances of complex composition, water-soluble and water-insoluble compounds of nickel and cobalt where the most significant. The content of water-soluble compounds of nickel and cobalt at all extraction sites of cobalt salts ranged from 0.0066–0.0236 mg/m³ and 0.0147–0.303 mg/m³, whereas water-insoluble – 0.0043–0.0150 mg/m³ and 0.002–0.0163 mg/m³. The concentrations of copper, lead, cadmium compounds in the air of the working area did not exceed the MPC in all samples.

Limitations. The study is limited of 50 air samples of the working areas of the metallurgical operators of the cobalt salt extraction department.

Conclusion. Thus, modern methods of obtaining cobalt salts by extraction can pose a real threat to the health of workers in this production. The need to use correct models to assess and manage the risks of the harmful effects of water-soluble and water-insoluble metal compounds (nickel, cobalt) on human health requires the development of a special methodology for the implementation of hygienic regulation of their content in inhaled aerosol fractions of closed industrial premises.

Keywords: mining and metallurgical enterprises; assessment of working conditions; cobalt salt extraction

Compliance with ethical standards. The study does not require submission of the opinion of the biomedical ethics committee and other documents.

For citation: Nikanov A.N., Chashchin V.P., Ulanovskaya E.V., Zaichenko A.I., Shilnikovskaya A.V., Gudkov A.B., Popova O.V. Characteristics of the air environment of the production premises of the cobalt salts extraction unit. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(8): 806–810. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-8-806-810> <https://elibrary.ru/xfbidf> (In Russ.)

For correspondence: Alexander N. Nikanov, Leading Researcher, North-West Scientific Center for Hygiene and Public Health. St. Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: a.nikanov@s-znc.ru

Information about the authors:

Nikanov A.N., <https://orcid.org/0000-0003-3335-4721>

Ulanovskaya E.V., <https://orcid.org/0000-0001-9583-0522>

Popova O.V., <https://orcid.org/0000-0002-0135-4594>

Chashchin V.P., <https://orcid.org/0000-0002-2600-0522>

Gudkov A.B., <https://orcid.org/0000-0001-5923-0941>

Contribution: Nikanov A.N. – concept, editing and approval of the final version of the article; Chashchin V.P. – the concept and design of the study, editing; Ulanovskaya E.V. – the concept and design of the study, editing; Zaichenko A.I. – collection and processing of material, editing of the article; Shilnikovskaya A.V. – collection and processing of material, statistical analysis, text writing; Gudkov A.B. – concept and design, editing; Popova O.V. – concept and design, editing. 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.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: April 28, 2023 / Accepted: June 7, 2023 / Published: October 9, 2023

Введение

Кобальт входит в состав около 30 кобальтосодержащих минералов, наиболее распространёнными из них являются железо, никель, марганец, медь. Кобальт получают в основном из никельсодержащих руд, обрабатывая растворами серной кислоты или аммиака, также применяют пирометаллургическое рафинирование. Кобальт в виде порошка используют в основном в качестве добавки к сталям для сохранения ими магнитных свойств при высоких температурах и вибрациях, увеличения сопротивления размагничиванию. Это позволяет таким сталям конкурировать с никелевыми сплавами при использовании в авиационной, космической и радиотехнической промышленности. Кобальтовые соли (кобальта карбонат) используют в сельском хозяйстве для подкормки животных и в качестве удобрений.

Кобальт относится к числу важнейших микроэлементов. Его действие связывают с образованием комплексов кобальта с SH-группами энзимов, способностью тормозить перенос электронов дыхательной цепи и окислительное фосфорилирование. Важнейшая роль принадлежит кобальту при эндогенном синтезе цианокобаламина (витамин В₁₂). В малых дозах кобальт активирует ряд ферментов, регулирующих тканевое дыхание, кроветворение и другие процессы, в больших дозах действует угнетающе [1–4]. Также кобальт действует на белковый, жировой, углеводный обмен (повышает уровень сахара в крови), повреждает эндокринную часть поджелудочной железы, изменяет строение и функцию щитовидной железы, избирательно поражает сердечную мышцу (дилатационная кардиомиопатия), вызывает повышенную сенсibilизацию и контактные дерматиты. В условиях производственной среды воздействие кобальта на организм работающих сопряжено с риском возникновения ряда профессиональных патологий. Проявления хронической интоксикации кобальтом и его соединениями – хронический бронхит, хроническая обструктивная болезнь лёгких, пневмосклероз [5–9].

Внедрение новых методов извлечения металлов из руд полезных ископаемых в металлургической промышленности должно сопровождаться детальной гигиенической оценкой условий труда на всех этапах переработки и получения

конечного продукта. В настоящее время наиболее перспективным методом получения кобальтовых солей из кобальтосодержащих руд является экстракционный. В гидрометаллургии процессом экстракции называют извлечение одного или нескольких ионов из водного раствора в органическую фазу, представляющую собой смесь органического вещества (экстрагента) и разбавителя. Основным сырьём для производства кобальтовых солей является кобальтовый концентрат, поступающий из гидрометаллургического отделения электролизного цеха [7, 10–12].

Цель исследования – гигиеническая оценка воздуха рабочей зоны в отделении экстракции при получении кобальтовых солей.

Материалы и методы

Выбор контролируемых химических веществ обусловлен особенностями технологического процесса и степенью токсичности используемых соединений и материалов. Гигиеническая оценка воздушной среды в отделении экстракции кобальтовых солей проведена на основании результатов 50 проб воздуха. В составе аэрозоля определяли содержание водорастворимых и водонерастворимых соединений никеля, кобальта, меди, кадмия, свинца. Пробы воздуха отбирали с помощью индивидуальных пробоотборников в течение 75% времени рабочей смены аппаратчика-гидрометаллурга на всех трёх этапах (участках) экстракции кобальтовых солей. Отбор проб воздуха осуществляли на целлюлозно-эфирные фильтры диаметром 25 мм и толщиной 0,8 мкм. Измерение металлов выполнялось методом ICP (индуктивно связанной плазменной атомно-эмиссионной спектрометрии) на спектрометре Perkin Elmer Optima 3000.

Результаты

Производство влажного основного карбоната кобальта является на первом этапе основной задачей при получении кобальтовых солей экстракционным способом. Сырьём для производства кобальтовых солей служит кобальтовый концентрат, поступающий из гидрометаллургического отделения цеха электролиза никеля (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Содержание химических веществ в сырье для производства кобальтовых солей, %

The chemicals content in raw materials for the production of cobalt salts, %

Вещество Substance	Первичный кек, % Primary cake, %	Кобальтовый концентрат, % Cobalt concentrate, %
Кобальт / Cobalt	22–30	40–50
Никель / Nickel	26–32	2.5–4.0
Медь / Copper	0.3–0.4	0.05–0.15
Железо / Iron	4–6.0	2.5–6.0
Цинк / Zinc	0.005–0.1	0.1
Сульфат / Sulfate	4–14	4–14

С целью удаления части сульфатов и уменьшения влажности кобальтовый концентрат перед вскрытием промывают водой и отжимают на фильтр-прессе до остаточной влажности не более 20–30%. Экстракция кобальта, промывка органической фазы от части примесей, селективная реэкстракция кобальта и осаждение основного карбоната кобальта с последующей промывкой от примесей осуществляются в репульпаторах.

Трудовая деятельность аппаратчиков-гидрометаллургов отделения экстракции кобальтовых солей заключается в обслуживании гидрометаллургического технологического оборудования участков (узлов) осаждения, корректировки и отмывки карбоната кобальта. Технологические операции включают контроль за работой экстракционных аппаратов, баковой аппаратуры, центрифуги, фильтр-прессов, роторной вакуумной сушилки, насосных станций, замер реагентов, контроль приборов, загрузку реагентов, подготовку растворов для экстракции, приготовление содового раствора, выгрузку фильтр-прессов.

Проведённые нами исследования показали, что в воздухе рабочей зоны аппаратчиков-гидрометаллургов отделения экстракции кобальтовых солей присутствует комплекс металлов, наиболее значимыми являются водорастворимые и водонерастворимые соединения никеля и кобальта, а также меди, кадмия и свинца (табл. 2).

Присутствие аэрозолей металлов в воздухе рабочей зоны связано с конвективными потоками с поверхности растворов из-за отсутствия герметичности гидрометаллургического технологического оборудования. Превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) аэрозолей металлов

при выполнении практически всех операций технологического процесса выявлено только для водорастворимых соединений никеля в 93% исследованных проб и соединений кобальта в 80% исследованных проб. Концентрации водорастворимых соединений кобальта в воздухе рабочей зоны на всех этапах переработки кобальтового сырья не только превышают ПДК, но и отмечается их рост на протяжении технологического процесса: от 0,164 мг/м³ в начале и 0,231 мг/м³ на последнем этапе. Содержание водорастворимых соединений никеля в воздухе рабочей зоны на всех участках экстракции кобальтовых солей определено в пределах 0,0066–0,0236 мг/м³ (ПДК = 0,005 мг/м³), а водонерастворимых – 0,0043–0,0150 мг/м³ (ПДК = 0,05 мг/м³). Содержание водорастворимых соединений кобальта находилось в пределах 0,0147–0,303 мг/м³, а водонерастворимых – 0,002–0,0163 мг/м³ (ПДК = 0,01 мг/м³). Концентрации соединений меди, свинца, кадмия в воздухе рабочей зоны можно признать несущественными, так как во всех пробах их значения были значительно ниже ПДК. Технология получения кобальтовых солей экстракционным методом связана с изменением соотношения водонерастворимых и водорастворимых соединений никеля и кобальта в сторону увеличения доли водорастворимых соединений металлов во всех пробах к заключительной стадии получения готовой продукции. Соотношение водонерастворимых соединений никеля и водорастворимых в пробах воздуха рабочей зоны незначительно снижается в процессе экстракции (40 на 60% – узел осаждения и 37 на 63% – узел отмывки), в то время как соотношение водонерастворимых и водорастворимых соединений кобальта значительно снижается в пробах воздуха от 14 на 86% (узел осаждения) до 6 на 94% (узел отмывки карбоната кобальта). Соотношение водонерастворимых соединений кобальта к никелю во вдыхаемых аэрозольных фракциях в процессе экстракции увеличивается от 2,5 до 25 раз.

Обсуждение

В большинстве работ, посвящённых изучению условий труда и состояния здоровья рабочих металлургических предприятий по переработке медно-никелевых руд, указывается, что работники этих производств относятся к контингентам повышенного риска развития производственно обусловленной патологии и профессиональных болезней [10, 13, 14]. Непосредственное воздействие комплекса неблагоприятных производственно-профессиональных факторов на организм работающих способно привести к нарушениям деятельности отдельных органов и систем, изменению общей реактивности организма, что может отразиться на уровне показателей заболеваемости [14–16]. Стандартизованный показатель распространённости хронических болезней по результатам

Таблица 2 / Table 2

Среднесменные концентрации водорастворимых и водонерастворимых металлов в воздухе рабочей зоны, мг/м³Time-weighted water-soluble and water-insoluble metals concentrations in the air of the working area, mg/m³

Металл Metal	Узел осаждения карбоната кобальта Cobalt carbonate deposition node	Узел корректировки Correction node	Узел отмывки карбоната кобальта Cobalt carbonate washing unit	ПДК maximum permissible concentrations (MPC)
	Водорастворимые металлы / водонерастворимые металлы Соотношение водорастворимых металлов и водонерастворимых, %		Water-soluble metals / water-insoluble metals The ratio of water-soluble to water-insoluble metals, %	
Никель Nickel	0.0066 / 0.0043 60.0 / 40.0	0.0236 / 0.0150 61.0 / 39.0	0.0092 / 0.0055 63.0 / 37.0	0.005/0.05
Кобальт Cobalt	0.0164 / 0.0027 86.0 / 14.0	0.0572 / 0.0105 84.5 / 15.5	0.231 / 0.01535 94.0 / 6.0	0.01
Медь Copper	0.0025 / < 0.0025 50.0 / 50.0	0.004 / 0.003 57.0 / 43.0	0.0025 / 0.0025 50.0 / 50.0	0.5
Кадмий Cadmium	0.00006 / < 0.00001 86.0 / 14.0	0.0022 / 0.0006 79.0 / 21.0	0.0012 / 0.00035 77.0 / 23.0	0.01
Свинец Lead	0.0020 / < 0.0004 83.0 / 17.0	0.0022 / 0.0006 79.0 / 21.0	0.002 / 0.0004 83.0 / 17.0	0.05

обязательных периодических медицинских осмотров в расчёте на 1000 работающих в цехах рафинирования никеля составил 2210,6 случая. В структуре профессиональной патологии у металлургов преобладали болезни органов дыхания (74,5% случаев), болезни костно-мышечной системы (7,1%), нервной системы (7,1%), нейросенсорная тугоухость (6%), злокачественные новообразования (3%) [14, 15].

Установлено, что применение технологии получения кобальтовых солей методом экстракции связано с образованием комплекса вредных веществ, входящих в состав аэрозолей сложного состава воздуха рабочей зоны аппаратчиков-гидрометаллургов отделения электроэкстракции кобальтовых солей, где наиболее значимыми являлись водорастворимые и водонерастворимые соединения никеля, кобальта. Содержание водорастворимых и водонерастворимых соединений никеля и кобальта в концентрациях, превышающих допустимые уровни во вдыхаемых аэрозольных фракциях, при технологии получения кобальтовых солей методом экстракции совпадает с результатами предыдущих исследований в гидрометаллургических, электролизных, пирометаллургических отделениях получения никеля и меди. Анализ химического состава взвешенных никельсодержащих веществ показал количественное различие в соотношении растворимых и нерастворимых соединений никеля в воздухе рабочих мест в электролизных цехах, где никель встречается в основном в виде растворимых соединений (84%) [10, 16]. Для водорастворимых и водонерастворимых соединений никеля установлены различные нормативные показатели (ПДК = 0,005 и 0,05 мг/м³), в то же время для водорастворимых и водонерастворимых соединений кобальта установлена единая ПДК = 0,01 мг/м³.

Исследование ограничено изучением 50 проб воздуха рабочей зоны аппаратчиков-металлургов отделения экстракции кобальтовых солей.

Необходимость применения корректных моделей для оценки и управления рисками вредного воздействия водорастворимых и водонерастворимых соединений металлов на здоровье человека требует разработки эффективных технологических решений и специальной методологии гигиенического нормирования содержания этих веществ во вдыхаемых аэрозольных фракциях воздуха рабочих мест за-

крытых производственных помещений. На всех этапах переработки полезных ископаемых и при различных способах рафинирования никеля, меди и кобальта в воздухе производственных помещений обнаружены водорастворимые и водонерастворимые соединения металлов (никель, кобальт) в концентрациях, превышающих допустимые уровни. Попадая в вдыхаемый воздух в лёгкие через дыхательные пути, растворимые и нерастворимые соединения металлов вызывают различные эффекты. Так, частицы растворимых соединений металлов после депозиции утрачивают свою первоначальную форму и физические свойства, а реакция организма зависит от массы, химического состава и количества частиц. Частицы нерастворимых соединений металлов после депозиции сохраняют свою первоначальную форму и физические свойства, а реакция организма зависит от свойств поверхности и количества частиц. Респираторная фракция водонерастворимых соединений металлов оказывает локальное действие: изменения в лёгочной ткани с формированием пневмофиброза, а водорастворимые соединения металлов вызывают общетоксические эффекты [17–19].

Заключение

Результаты, полученные в настоящем исследовании, показали, что внедрение современных технологических способов извлечения металлов из медно-никелевых руд связано с выделением в воздух производственных помещений водорастворимых и водонерастворимых соединений металлов (никель, кобальт), концентрации которых нередко превышают допустимые уровни во вдыхаемых аэрозольных фракциях.

Растворимые и нерастворимые соединения металлов, попадая в лёгкие с вдыхаемым воздухом, могут вызывать различные эффекты, в связи с чем требуется разработка специальной методологии для осуществления гигиенического нормирования содержания этих веществ во вдыхаемых аэрозольных фракциях воздуха рабочих мест.

Таким образом, современные способы извлечения кобальта на данном этапе при отсутствии технологических решений по герметизации технологических процессов создают реальную угрозу здоровью работающих.

Литература

(п.п. 7–11, 18, 19 см. References)

- Оржоникидзе Э.К., Рошин А.В. Кобальт – токсичность, биологический контроль. *Гигиена труда и профессиональные заболевания*. 1991; (12): 1–4.
- Измеров Н.Ф., ред. *Кобальт. Серия «Научные обзоры советской литературы по токсичности и опасности химических веществ»*. М.: Центр международных проектов ГКНТ; 1986.
- Москалев Ю.И. *Минеральный обмен*. М.: Медицина; 1985.
- Суворов И.М., Чекунова М.П., Чекоданова Н.В. Кобальт и алкогольные кардиомиопатии (симптомы, дифференциальная диагностика, патогенез). *Гигиена труда и профессиональные заболевания*. 1992; (9–10): 24–7.
- Дуева Л.А. *Аллергенность металлов. Гигиенические аспекты оценки и оздоровления окружающей среды*. М.; 1983: 28–41.
- Артюнина Г.П., Чашин В.П., Игнатюкова С.А., Остапяк З.Н., Никанов А.Н., Талыкова Л.В. и др. Проблемы профессиональной патологии у рабочих в никель-кобальтовой промышленности. *Гигиена и санитария*. 1998; 77(1): 9–13. <https://elibrary.ru/xvnb1f>
- Зайцева Н.В., Землянова М.А., Чашин В.П., Гудков А.Б. Научные принципы применения биомаркеров в медико-экологических исследованиях (обзор литературы). *Экология человека*. 2019; (9): 4–14. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-9-4-14> <https://elibrary.ru/wswncj>
- Никанов А.Н., Чашин В.П., Новикова Ю.А., Гудков А.Б., Попова О.Н. Производственнообусловленная 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/arabrr>
- Никанов А.Н., Чашин В.П., Горбанев С.А., Дардынская И., 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; (2): 12–20. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2017-11-10-17> <https://elibrary.ru/zdmkct>
- Сюрин С.А., Никанов А.Н. Профессиональные риски и заболевания при производстве никеля и меди в Кольском Заполярье. *Санитарный врач*. 2019; (8): 31–6. <https://elibrary.ru/wpmraq>
- 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>
- Дядик В.В., Дядик Н.В., Ключникова Е.М., Маслובоев В.А., Никанов А.Н., Чашин В.П. и др. Оценка влияния промышленного загрязнения атмосферного воздуха микрочастицами на здоровье населения Арктического региона (на примере Мурманской области). Апатиты; 2022. <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.472.3>

References

- Orzhonikidze E.K., Roshchin A.V. Cobalt – toxicity, biological control. *Gigiena труда i professional'nye zabolevaniya*. 1991; (12): 1–4. (in Russian)
- Izmerov N.F., ed. *Cobalt. Series «Scientific Reviews of Soviet Literature on the Toxicity and Hazards of Chemicals» [Kobal't. Seriya «Nauchnye obzory sovetskoy literatury po toksichnosti i opasnosti khimicheskikh veshchestv»]*. Moscow: Center for International Projects of the State Committee for Science and Technology; 1986. (in Russian)
- Moskalev Yu.I. *Mineral Metabolism [Mineral'nyy obmen]*. Moscow: Meditsina; 1985. (in Russian)
- Suvorov I.M., Chekunova M.P., Chekodanova N.V. Cobalt and alcoholic cardiomyopathies (symptoms, differential diagnosis, pathogenesis). *Gigiena труда i professional'nye zabolevaniya*. 1992; (9–10): 24–7. (in Russian)
- Dueva L.A. *Allergenicity of Metals. Hygienic Aspects of Assessment and Improvement of the Environment [Allergennost' metallov. Gigenicheskie aspekty]*

- otsenki i ozdorovleniya okruzhayushchey sredy*. Moscow; 1983: 28–41. (in Russian)
- Artyunina G.P., Chashchin V.P., Ignat'kova S.A., Ostapyak Z.N., Nikanov A.N., Talykova L.V., et al. Problems of occupational pathology in workers in the nickel-cobalt industry. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 1998; 77(1): 9–13. <https://elibrary.ru/xvnb1f> (in Russian)
 - Nieboer E., Thomassen Y., Chashchin V., Odland J.Ø. Occupational exposure assessment of metals. *J. Environ. Monit.* 2005; 7(5): 412–5.
 - Stefaniak A.B., Harvey C.J., Virji M.A., Day G.A. Dissolution of cemented carbide powders in artificial sweat: implications for cobalt sensitization and contact dermatitis. *J. Environ. Monit.* 2010; 12(10): 1815–22. <https://doi.org/10.1039/c0em00269k>
 - Fowler B.A. *Handbook on the Toxicology of the Metals. Volume 2*. New York: Elsevier Press; 1988: 211–32.
 - Nieboer E., Thomassen Y., Romanova N., Nikonov A., Odland J.Ø., Chashchin V. Multi-component assessment of worker exposures in a copper refinery. Part 2. Biological exposure indices for copper, nickel and cobalt. *J. Environ. Monit.* 2007; 9(7): 695–700. <https://doi.org/10.1039/b618400f>
 - Chashchin V.P., Gorbanev S., Thomassen Y., Nieboer E., Ellingsen D.G., Syurin S., et al. Occupational medicine and environmental health in the border areas of Euro-Arctic Barents region: A review of 30-year Russian-Norwegian research collaboration outcomes. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020; 17(11): 3879. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113879>
 - Zaytseva N.V., Zemlyanova M.A., Chashchin V.P., Gudkov A.B. Scientific principles of use of biomarkers in medico-ecological studies (review). *Ekologiya cheloveka*. 2019; (9): 4–14. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-9-4-14> <https://elibrary.ru/wswngj> (in Russian)
 - Nikanov A.N., Chashchin V.P., Novikova Yu.A., Gudkov A.B., Popova O.N. Manufacturing-conditioned morbidity among non-ferrous workers in pyrometallurgic 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)
 - Nikanov A.N., Chashchin V.P., Gorbanev S.A., Dardynskaya I., Gudkov A.B., Lagkhayn B., et al. Operation of evidence-based principles in assessment of causal link between health condition and environmental hazardous substance exposure. *Ekologiya cheloveka*. 2019; (2): 12–20. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2017-11-10-17> <https://elibrary.ru/zskchh> (in Russian)
 - Syurin S.A., Nikanov A.N. Occupational risks and diseases in the production of nickel and copper in the Arctic Kola Peninsula. *Sanitarnyy vrach*. 2019; (8): 31–6. <https://elibrary.ru/wpmraq> (in Russian)
 - 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)
 - Dyadik V.V., Dyadik N.V., Klyuchnikova E.M., Masloboev V.A., Nikanov A.N., Chashchin V.P., et al. *Assessment of the Impact of Industrial Air Pollution with Microparticles on the Health of the Population of the Arctic Region (on the Example of the Murmansk Region) [Otsenka vliyaniya promyshlennogo zagryazneniya atmosfernogo vozdukh mikrochastitsami na zdorov'e naseleniya Arkticheskogo regiona (na primere Murmanskoy oblasti)]*. Apatity; 2022. <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.472.3> (in Russian)
 - Sobolev N., Ellingsen D.G., Belova N., Aksenov A., Sorokina T., Trofimova A., et al. Essential and non-essential elements in biological samples of inhabitants residing in Nenets Autonomous Okrug of the Russian Arctic. *Environ. Int*. 2021; 152: 106510. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106510>
 - Odland J.Ø., Nieboer E. Human biomonitoring in the Arctic. Special challenges in a sparsely populated area. *Int. J. Hyg. Environ. Health*. 2012; 215(2): 159–67. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.10.002>