

Научная статья

УДК 613.6:669.2

<http://doi.org/10.52420/2071-5943-2023-22-3-64-73>

Вопросы гигиены труда и респираторная токсичность комплекса вредных факторов в электролитическом и гидрометаллургическом производстве меди

С.Р. Гусельников^{1✉}, О.И. Гоголева², Г.Я. Липатов³, Э.Г. Плотко⁴, В.И. Адриановский⁵,
А.А. Самылкин⁶, Е.Е. Шмакова⁷, Ю.Н. Нарницына⁸, И.А. Рыжкова⁹, Ю.Н. Нефёдова¹⁰

^{1-3, 5-10} Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

^{1, 3, 4, 5} Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих пром-предприятий, Екатеринбург, Россия

✉ stguselnikov@yandex.ru

Аннотация

Введение. В последние десятилетия на предприятиях производства черновой и рафинированной меди наблюдается снижение профессиональной заболеваемости, в структуре которой бронхолегочная патология сохраняет лидирующие позиции. **Цель работы** – изучение профессионального риска развития респираторной патологии у рабочих, занятых в получении катодной меди способами электролиза и электровининга, на основании изучения условий труда рабочих мест и клинического наблюдения.

Материалы и методы. Объектом исследования служили: медеплавильное производство «Уралэлектро-медь», г. В. Пышма (УЭМ); предприятие гидрометаллургии меди «Уралгидромедь», г. Полевской (УГМ). Субъектом исследования явились 100 работников электролизного цеха УЭМ – 1 группа наблюдения; 102 человек вспомогательных цехов УЭМ – 2 группа наблюдения; 92 рабочих отделения экстракции и электровининга УГМ – 3 группа наблюдения. **Результаты.** При электролитическом рафинировании меди ведущими вредными факторами, обладающими респираторной токсичностью, являются аэрозоль серной кислоты, диоксид селена, никель, мышьяк, а при электровининге – аэрозоль серной кислоты. Нарушения вентиляционной функции и легочного газообмена наблюдалось в 21,0 % случаев у лиц 1 группы и в 15,7 % случаев – 3 группы наблюдения. **Обсуждение.** Изменения функции внешнего дыхания (ФВД) установлены преимущественно по обструктивному типу, а именно отмечено повышение бронхиального сопротивления и снижение средней объемной скорости воздушного потока при выдохе легкой и умеренной степени выраженности. Бронходилатационный тест выявил обратимость бронхиальной обструкции у лиц 1 и 3 групп. Обструктивные нарушения и динамическая гипервентиляция лёгких у рабочих рафинирования меди, вероятно, являются следствием гиперреактивности бронхов в ответ на раздражающие свойства серосодержащих газов, соединений мышьяка и никеля. **Заключение.** Результаты исследования свидетельствуют о поражении респираторной системы от воздействия вредных производственных факторов у рабочих электролиза и электровининга с высоким и средним профессиональным риском оценки условий и нарушениями, выявленными клинико-инструментальными методами.

Ключевые слова: пирометаллургия и гидрометаллургия меди, профессиональные болезни респираторной системы

Для цитирования: Гусельников С.Р., Гоголева О.И., Липатов Г.Я. с соавт. Вопросы гигиены труда и респираторная токсичность комплекса вредных факторов в электролитическом и гидрометаллургическом производстве меди. *Уральский медицинский журнал*. 2023;22(3):64–73. <http://doi.org/10.52420/2071-5943-2023-22-3-64-73>

© Гусельников С.Р., Гоголева О.И., Липатов Г.Я., Плотко Э.Г., Адриановский В.И., Самылкин А.А., Шмакова Е.Е., Нарницына Ю.Н., Рыжкова И.А., Нефёдова Ю.Н., 2023

© Guselnikov S.R., Gogoleva O.I., Lipatov G.Ya., Plotko E.G., Adrianovsky V.I., Samylkin A.A., Shmakova E.E., Naritsyna Yu.N., Ryzhkova I.A., Nefedova Yu.N., 2023

Occupational health issues and respiratory toxicity of a complex of harmful factors in electrolytic and hydrometallurgical copper production

S.R. Guselnikov^{1✉}, O.I. Gogoleva², G.Ya. Lipatov³, E.G. Plotko⁴, V.I. Adrianovsky⁵, A.A. Samylkin⁶, E.E. Shmakova⁷, Yu.N. Naritsyna⁸, I.A. Ryzhkova⁹, Yu.N. Nefedova¹⁰

^{1-3, 5-10} Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

^{1, 3, 4, 5} Ekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Ekaterinburg, Russia

✉ stguselnikov@yandex.ru

Abstract

Introduction In recent decades, there has been a decrease in occupational morbidity at enterprises producing rough and refined copper, in the structure of which, nevertheless, bronchopulmonary pathology retains a leading position. **The aim** is to study the occupational risk of developing respiratory pathology in workers engaged in obtaining cathode copper by electrolysis and electrowinning methods, based on the study of working conditions of workplaces and clinical observation. **Materials and methods** The object of the study were: Uralelectromed, V. Pyshma (UEM); Uralhydromed, Polevskoy (RMK). The subject of the study were 100 employees of the electrolysis shop of UEM – the 1st observation group; 102 people of the auxiliary workshops of UEM – the 2nd observation group; 92 workers of the extraction and electrowinning department of UGM – the 3rd observation group. **Results** During electrolytic refining of copper, the leading harmful factors with respiratory toxicity are sulfuric acid aerosol, selenium dioxide, nickel, arsenic, and during electrovinig – sulfuric acid aerosol. Violations of ventilation function and pulmonary gas exchange were observed in 21.0 % of cases in persons of the 1st and in 15.7% of cases in patients of the 3rd observation group). **Discussion** Changes in the function of external respiration (FVD) were established mainly by the obstructive type, namely, an increase in RV, FRC and RV/TLC and a decrease in FEV1, VC, FEV1/VC, FEV25-75 of mild and moderate severity were noted. The bronchodilation test revealed the reversibility of bronchial obstruction in both groups 1 and 3. Obstructive disorders and dynamic hyperventilation of the lungs in copper refining workers are probably a consequence of hyperreactivity of the bronchi in response to the irritating properties of sulfur-containing gases, arsenic and nickel compounds. **Conclusion** The results of the study indicate respiratory toxicity of harmful factors in workers of electrolysis and electrovinig, which corresponds to a high and average occupational risk of class 3.3 and class 3.2 assessment of working conditions and the results of mandatory periodic medical examinations.

Keywords: pyrometallurgy and hydrometallurgy of copper, occupational diseases of the respiratory system

For citation:

Guselnikov SR, Gogoleva OI, Lipatov GYa et al. Occupational health issues and respiratory toxicity of a complex of harmful factors in electrolytic and hydrometallurgical copper production. *Ural Medical Journal*. 2023;22(3):64–73. (In Russ.). <http://doi.org/10.52420/2071-5943-2023-22-3-64-73>

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что пирометаллургия меди до конца XX века сопровождалась значительным распространением таких профессиональных заболеваний респираторной системы, как токсико-пылевые бронхиты, пневмокозиозы, острые и хронические интоксикации серосодержащими газами [1–6]. После технического перевооружения предприятий отрасли наблюдается снижение профессиональной заболеваемости, в которой, тем не менее, бронхолегочная патологии сохраняет лидирующие позиции [7–10].

Цель исследования – изучение профессионального риска развития респираторной патологии у рабочих пиро- и гидрометаллургии меди в современных условиях на основании изучения ус-

ловий труда рабочих мест и клинического наблюдения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили: цех электролиза меди ОАО «Уралэлектромедь» (УЭМ), где используется классическая схема электролитического рафинирования меди, и ОАО «Уралгидромедь» (УГМ) – первое в России предприятие, использующее технологию электровининга для промышленного производства рафинированной катодной меди.

Субъектом исследования явились рабочие, состояние здоровья которых определялось в рамках углубленных медицинских осмотров на базе Екатеринбургского медицинского научного центра профилактики и охраны здоровья рабочих предприятий (2018 г.). Проведено одномоментное

исследование 100 работников электролизного цеха УЭМ (1 группа наблюдения); 102 человек вспомогательных цехов УЭМ (2 группа наблюдения); 92 рабочих отделения экстракции и электровининга УГМ (3 группа наблюдения). В исследовании участвовали мужчинами, сопоставимыми по возрасту и стажу, средний возраст – (39,7±3,45) лет; средний стаж работы – (15,7±1,78) лет.

Табакокурение было установлено у 48,1 %, 46,4 %, 55,3 % лиц 1, 2 и 3 групп наблюдения соответственно. Индекс курящего человека (ИКЧ) составил у рабочих 1 группы в среднем (18,7±3,5); у рабочих 2 группы – (16,8±4,1); у лиц 3 группы – (17,9±3,87).

Проводился анализ медицинских карт периодических медицинских осмотров.

Для характеристики состояния воздушной среды указанных производств были изучены источники образования, пути распространения и концентрации целого ряда вредных веществ. В частности на УЭМ определялись аэрозоли серной кислоты, медь, никель, теллур, селен и его диоксид, мышьяк. На УГМ воздух исследовался на содержание серной кислоты, кобальта меди, мышьяка, минеральных масел, лингосульфата натрия, свинца и хлора.

Оценку условий труда в зависимости от содержания вредных веществ химической природы на рабочих местах проводили в соответствии с Р 2.2.2006-05¹.

Оценка профессионального риска осуществлялась в соответствии с Р 2.2.1766-03². Для априорной оценки риска здоровью работников были использованы материалы исследований сотрудников кафедры гигиены и профессиональных болезней Уральского государственного медицинского университета (зав. кафедрой – профессор Г.Я. Липатов) [11–15].

Изучение условий труда на предприятиях пирометаллургии меди на современном этапе проводили сотрудники кафедры за период с 2000 по 2020 гг. Исследовались технологические карты производственных процессов, изучались условия труда в основных профессиях (плавильщиков, шламовщиков, дежурных по электролизу, аппаратчиков-гидрометаллургов и др.).

Для расчёта апостериорного риска здоровью использовали данные о профессиональной заболеваемости на изучаемых предприятиях, проведенные Екатеринбургским медицинским научным центром профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий в 2018 г. [16–22].

¹ 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 РФ 29.07.2005); дата введения 01.11.2005

² Р 2.2.1766-03. 2.2. Гигиена труда. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки: принят Главным государственным санитарным врачом РФ 24.06.2003; дата вступления в силу 01.11.2003

При анализе состояния здоровья рабочих обращали внимание на жалобы, анамнез, наличие вредных привычек. Оценивали результаты объективного соматического терапевтического и неврологического статусов, осмотров специалистов (ЛОР врача, офтальмолога, хирурга, аллерголога, дерматолога, стоматолога, онколога, пульмонолога), лабораторных, инструментальных исследований (клинического и биохимического анализа крови, мочи, ЭКГ, рентгенографии грудной клетки). Для оценки вентиляционной функции и легочного газообмена всем работникам проведены спирография (Spirolab, Италия) с бронходилатационной пробой и определением статистических легочных объемов (в процентах от должных величин): жизненная емкость легких (VC), емкость вдоха и показатели, характеризующих бронхиальную проходимость, форсированная жизненная емкость легких (FVC), объем форсированного выдоха за 1 сек. (FEV₁), пиковая объемная скорость (PEV), средняя объемная скорость при выдохе от 25 до 75 % ФЖЕЛ (FEV₂₅₋₇₅), индекс Тиффно (FEV₁/VC). По результатам бодиплетизмографии (MasterScreen, Германия) оценивались значения остаточной емкости легких (RV); общей емкости легких (TLC); отношение RV/TLC; функциональная остаточная емкость легких (FRC); общее бронхиальное сопротивление (R_{tot}) бронхиального сопротивления на вдохе и выдохе (R_{in} и R_{ex}), а также воздухонаполненность легких на уровне спокойного выдоха (FRCpleth). **Основные показатели бодиплетизмографии, а именно, границы нормы и градации отклонений от нормы объемов и емкостей легких** рассчитывали в соответствии с рекомендациями [21, 22].

Расчеты статистических показателей проводили с помощью программы Statistica for Windows, 7 версия. Полученные результаты оценивали статистическими методами с использованием среднего арифметического (M) и среднеквадратического (стандартного) отклонения (SD). Для определения статистической значимости различий средних величин использовали *t*-критерий Стьюдента. Статистическую связь между клиническими и инструментальными методами исследований изучали с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r_s). Для оценки тесноты связи использовали шкалу Чедока.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Установлено, что на современном этапе в металлургии меди используются два способа переработки рудного сырья: пирометаллургический и гидрометаллургический. До недавнего времени последний из них имел ограниченное применение как вспомогательный способ переработки бедных окисленных руд.

Заключительным этапом пирометаллургии меди служит электролитическое рафинирование металла, сущность которого состоит в электрохи-

мическом растворении анодов, состоящих из черновой меди, с последующим электроосаждением металла на катодных основах. При данной технологической схеме получается чистая медь в форме катодных отложений, а примеси концентрируются в донном шламе и электролите.

Современное гидрометаллургическое производство меди заканчивается этапом электровининга, который заключается в электроосаждении на катодах чистого металла из насыщенного ионами меди раствора электролита. Предварительно прошедший этап экстракции электролит не содержит иных примесей, кроме меди, в связи с чем донный шлам практически не образуется.

Несмотря на ряд сходств технологических процессов электролиза и электровининга меди, особенности последнего обуславливают необходимость сравнительной оценки профессиональных рисков технологических процессов рафинирования меди.

Электролитическое рафинирование меди включает в себя технологические операции загрузки ванн электролиза анодами и катодными основами, обслуживания ванн, находящихся под током, выгрузку готовых катодов и анодных остатков, выпуск электролита и чистку ванн от шлама.

Технологический процесс электролитического рафинирования меди осуществляется рабочими основных профессий, к которым относятся дежурные по электролизу, загрузчики и выгрузчики анодов и катодов, а также шламовщики.

Основная работа дежурных по электролизу заключается в предупреждении и устранении коротких катодных замыканий, что связано с систематическим перемещением по ваннам, занимающим большую часть площади цеха. Загрузчики и выгрузчики анодов и катодов, помимо обозначенных в названии профессии операций, заняты посадкой катодов на промывочную машину. Чистку ванн от шлама производят шламовщики, которые отсифонивают электролит в сборные баки, убирают из ванн анодные остатки, спускают шлам в желоба, споласкивают ванну электролитом, перемешивают пульпу в шламосборнике для последующей ее подачи в химико-металлургический цех. Особенностью профессиональной деятельности рабочих всех групп является отсутствие фиксированных (постоянных) рабочих мест.

Поступление вредных веществ в воздух цеха электролиза меди происходит в основном в виде аэрозолей конденсации при испарении электролита с зеркала ванн. В электролизном отделении содержание аэрозолей серной кислоты превышало ПДК и соответствовало $(8,17 \pm 0,19)$ мг/м³. Содержание меди не превышало ПДК, уровни которой составили $(0,82 \pm 0,06)$ мг/м³. Напротив, концентрации растворимых соединений никеля в воздухе превышали гигиенические нормативы $(0,005)$ мг/м³ в 3,8–5,5 раза, а мышьяка – в 4,5–5,25 соответственно. Кон-

центрации селена составляли сотые доли ПДК $(0,02–0,08)$ мг/м³. Однако содержание диоксида селена в воздухе было выше ПДК в 1,9 раза, а теллура – в 1,5 раза.

Рабочим местам дежурного по электролизу, загрузчика и выгрузчика анодов и катодов и шламовщика соответствовал класс 3.3 (с учетом превышения в 4,5 раза ПДК никеля и в 5,25 раз мышьяка, вызывающих как острое, так и хроническое поражение дыхательной системы).

Электровининг меди, осуществляемый аппаратами-гидрометаллургами, включает в себя технологические операции загрузки ванн стальными катодными основами и выгрузку готовых катодов.

Обязанности аппарата-гидрометаллурга отделения экстракции и электровининга УГМ состоят в поддержании технологических режимов на заданном уровне, выгрузке, промывке и снятии готовой катодной меди с матриц, взвешивания, упаковки и складирования продукции. В помещении отделения оборудована система механической общеобменной приточно-вытяжной вентиляции, кроме того, ванны оборудованы местной вытяжкой в виде бортовых отсосов. Для уменьшения испарения паров электролита поверхность раствора покрывается слоем полиэтиленовых шариков, а сами ванны на весь цикл электровининга закрываются пластмассовыми крышками.

На рабочем месте аппарата-гидрометаллурга отделения экстракции и электролиза выявлено превышение ПДК серной кислоты в 3,3 раза при максимальном значении $8,9$ мг/м³. Наибольшие концентрации серной кислоты отмечены над электролизными ваннами и на участке сдирки, взвешивания и упаковки катодов, который непосредственно примыкает к зоне расположения ванн. В то же время, концентрации остальных веществ, входящих в состав примесей (кобальт, свинец, мышьяк), а также присутствующих в жидком реагенте и разбавителе (лингосульфат, минеральные масла, сольвент-нафта, хлор), не превышали установленные гигиенические нормативы.

Рабочему месту аппарата-гидрометаллурга отделения экстракции и электровининга по химическому фактору отвечал класс 3.2 (с учетом превышения в 3,3 раза ПДК серной кислоты, обладающей раздражающим действием).

Оценка априорного и апостериорного профессиональных рисков показала следующую картину. Априорный риск на рабочем месте дежурного по электролизу относится к высокой степени (3 класс 3 степени оценки условий труда по основным факторам профессионального риска), за счет превышения концентраций серной кислоты, никеля и мышьяка, обладающих в том числе и респираторной токсичностью. У аппаратчиков-гидрометаллургов был установлен средний риск (3 класс 2 степени оценки условий труда по основным факторам профессионального риска) развития профес-

сиональной патологии.

Апостериорный риск в цехе электролиза, после расчета индекса профессиональных заболеваний составил также высокую степень профессионального риска (индекс профессиональной заболеваемости – 0,43), что свидетельствует о достоверности гигиенических исследований. На УГМ профессиональная патология не зафиксирована, следовательно, апостериорный риск отсутствует.

Информация об уровне и структуре заболеваемости по медицинским картам обязательных периодических медицинских осмотров позволила выявить следующее. У рабочих всех трех групп чаще всего определялись болезни дыхательной системы (J00–J99), доля которых в структуре заболеваемости составила в среднем 20,7 % в 1 груп-

пе наблюдения, 11,7 % – во 2 группе наблюдения, 13,6 % – у лиц 3 группы наблюдения.

При сборе жалоб и объективном обследовании пациентов обращало на себя внимание скудное количество клинических респираторных проявлений, не соответствующее изменениям, выявленным инструментальными методами исследований вентиляционной функции и легочного газообмена.

У рабочих 1 и 3 групп сухой кашель, одышка при физической нагрузке, сухие хрипы на вдохе и выдохе при аускультации выявлялись лишь в 11,2 % и 7,8 % случаев соответственно.

Установлено, что средние показатели ФВД у обследованных работников не имели достоверной разницы во всех трех группах наблюдения и не отличались от должных величин (табл. 1).

Таблица 1

Показатели вентиляционной функции и легочного газообмена у работников рафинирования меди (M±SD)

Показатель	Значения, %		
	1 группа (n = 100)	2 группа (n = 102)	3 группа (n = 92)
VC	86,87±14,67	92,65±19,23	87,72±16,24
FVC	92,00±15,54	96,32±20,11	93,00±17,33
FEV ₁	82,32±8,81	83,41±9,32	85,12±8,51
FEV ₁ /VC	83,72±11,42	90,21±9,11	86,21±12,21
PEV	76,32±12,21	92,45±11,11	82,00±11,12
FEV _{25-75'}	77,44±13,41	89,78±10,76	79,66±9,79
TLC	92,96±11,78	125,76±14,76	102,75±13,44
RV	71,63±9,56	84,67±9,78	81,12±12,89
FRC	141,15±17,18	139,56±11,13	150,25±16,17
R _{tot}	77,23±16,74	90,23±11,70	74,13±19,64
R _{in}	78,23±14,56	89,15±17,19	76,56±18,34
R _{ex'}	71,87±16,15	86,34±16,89	72,45±19,45
FRCpleth	141,02±13,67	155,72±14,93	150,82±15,78

В 21,0 % случаев у лиц 1 группы наблюдения и в 15,7 % случаев в 3 группы установлены нарушения показателей механики дыхания и легочного газообмена (табл. 2).

У рабочих как в 1 группе, так и в 3 группе нарушения ФВД носили однотипный характер преимущественно по обструктивному типу с высокой и средней степенью достоверности. Отмечено повышение показателя RV ($p < 0,001$ в 1 и 3 группах), значения FRC ($p < 0,05$ и $p < 0,05$ в 1 и 3 группах соответственно), снижение показателя FEV₁ ($p < 0,001$ в 1 группе и $p < 0,001$ в 3 группе) уменьшение отношения FEV₁/VC ($p < 0,001$ в обеих группах), падение значения FEV_{25-75'} ($p < 0,001$ в обеих группах). Сравнительный анализ показателей ФВД в группах курящих и не курящих лиц не позволил нам достоверно установить роль табакокурения в

комплексном неблагоприятном воздействии серо-содержащих газов, соединений никеля и мышьяка.

Рабочим, у которых были диагностированы вентиляционные нарушения, проводился бронходилатационный тест (табл. 2).

Бронходилатационный тест выявил обратимость бронхиальной обструкции у лиц 1 и 3 групп, что подтверждается увеличением показателей скорости воздушного потока FEV₁, FEV₁/VC, FEV_{25-75'} более чем на 12 % от базисных величин. После ингаляции 1 дозы (100 мкг) фенотерола (беротека) было отмечено достоверное снижение показателей гиперинфляции лёгких RV, FRC и RV/TLC ($p < 0,01$) (табл. 2).

При анализе нарушений ФВД у рабочих нам не удалось установить роль табакокурения на изменение показателей.

Значения вентиляционной функции и легочного газообмена у работников после бронходилатационной пробы (M±SD)

Показатель	Значения, %			
	1 группа (n = 21)		3 группа (n = 16)	
	до пробы	после пробы	до пробы	после пробы
VC	83,23±11,15	86,98±9,87	84,56±12,34	89,67±11,56
FEV ₁	61,17±5,12	79,34±4,78**	62,14±5,29	80,12±6,78**
FEV ₁ /VC	73,50±6,78	95,32±7,12**	73,56±7,65	86,99±8,38**
FEV ₂₅₋₇₅	56,29±6,48	75,45±9,23**	60,17±7,81	81,29±8,36**
TLC	102,39±9,87	83,49±7,65*	104,21±8,92	88,63±7,67*
RV	87,12±6,45	50,77±7,56**	89,28±9,15	53,12±6,23**
FRC	123,45±11,49	92,28±10,12*	130,47±9,87	95,57±8,67*
R _{tot}	97,47±8,90	77,56±7,16**	98,77±8,99	75,14±8,60**
R _{in}	91,21±10,25	74,31±8,46*	89,18±11,37	71,12±9,89*
R _{ex}	93,23±17,16	74,45±8,90**	92,11±13,24	75,49±9,23**
FRCpleth	144,28± 8,67	123,49±9,26*	156,67±10,14	130,26±10,09*

Примечания. * $p < 0,05$; ** $p < 0,001$. Достоверные различия показателей даны до и после пробы с бронхолитиком

У обследованных работников электролиза и электровининга в 9,7 % и 5,8 % случаев соответственно выявлены рентгенологические признаки эмфиземы лёгких и усиление легочного рисунка в прикорневых областях.

Отмечено, что у рабочих в 1 и 3 группах наблюдения с установленными отклонениями со стороны бронхо-лёгочной системы, выявленными с помощью изучения вентиляционной функции и легочного газообмена, рентгенологической характеристики не прослеживается связь с клинической картиной. Прежде всего, это проявляется частым отсутствием активных жалоб на кашель и одышку, что затрудняет возможность проследить анамнез респираторной патологии. Данные объективного обследования, а именно, общего осмотра, перкуссии, аускультации лёгких в 83 % случаев не выявляют респираторных симптомов, характерных для патологии бронхолегочной системы, нет признаков деформации грудной клетки, изменения перкуторного звука, аускультативных феноменов.

При корреляционном анализе (непараметрическом методе корреляционного анализа Спирмена) связи показателей ФВД и частотой выявления респираторных симптомов (одышки, хрипов на вдохе и выдохе) отмечались преимущественно в диапазоне слабой обратной корреляции. Коэффициент Спирмена между показателем RV и одышкой при физической нагрузке составил $-0,25$ ($p < 0,05$); коэффициент между изменениями FEV₁, FEV₂₅₋₇₅ и наличием хрипов на выдохе показал значения $-0,27$ ($p < 0,05$) и $-0,25$ ($p < 0,05$) соответственно.

Обнаружены теснота ранговой корреляционной связи между рентгенологической семиотикой и усилением легочного рисунка, снижением структурности корней легких, повышением прозрачности легочного фона, слабая обратная корреляция составляет соответственно $-0,25$ ($p < 0,05$); $-0,21$ ($p < 0,05$); $-0,30$ ($p < 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Следует отметить, что на современном этапе разработаны и внедрены многие прогрессивные технологические решения для отдельных стадий медеплавильного производства, внедрена технология электровининга, которые значительно улучшили условия труда рабочих, снизили риск развития профессиональной патологии. Тем не менее, сохраняется возможность для образования и выделения в воздух рабочей зоны серосодержащих газов, соединений никеля, мышьяка с превышением ПДК, обладающих респираторной токсичностью.

Распространенность болезней дыхательной системы среди рабочих рафинирования меди в 1 и 3 группах наблюдения, вероятнее всего, связана с воздействием комплекса токсических респираторных факторов, обладающих выраженным цитотоксическим (раздражающим) действием.

Установлено преобладание обструктивных нарушений и динамической гипервентиляции лёгких у рабочих рафинирования меди (по результатам исследования ФВД), являются следствием гиперреактивности бронхов, вызванной раздражающими свойствами серосодержащих газов, соединений никеля и мышьяка.

Не исключено, что патогенетические механизмы формирования гиперреактивности бронхов и гиперинфляции лёгких связаны с особенностью действия серосодержащих газов.

Известно, что воздействие серосодержащих газов на слизистую оболочку дыхательных путей вызывает нарушение дыхания рефлекторного характера, что проявляется увеличением глубины и урежением дыхания [23, 24]. Одновременно развивается спазм бронхов, что приводит к нарушению проходимости бронхов, повышению общего легочного сопротивления [25]. Указанные изменения связаны с возникновением афферентных импульсов в чувствительных волокнах тройничного

нерва при раздражении слизистой оболочки сернистым газом или образующимся при этом метабисульфитом натрия. Кроме того, катионы сульфатов, возможно, действуют на мембраны, что приводит к внедрению анионов в клетки с высвобождением гистамина и родственных ему соединений, участвующих в сокращении мышц бронхов. Еще один механизм развития бронхоспазма под воздействием сернистого газа связан с ингибированием ацетилхолинэстеразы и повышенной реакцией бронхоконстрикции на простагландин F_{2α}. Дополнительно, при длительной экспозиции концентраций сернистого газа выше 3 мг/м³, изменяется мукоцилиарная активность трахеи и бронхов. В 4–5 раз увеличивается толщина слизистой выстилки трахеи и бронхов, что тормозит активность ресничек, и скорость перемещения выстилки снижается в 2–3 раза, нарушается мукоцилиарный клиренс, ухудшается дренаж дыхательных путей, развивается бронхиальная обструкция [26–30].

Необходимо уделить особое внимание рабочим, занятым в рафинировании меди, с высоким априорным и апостериорным риском развития профес-

сиональной патологии бронхо-лёгочной системы. Лица с нарушением ФВД (FEV₁, FEV₁/VC, FEV₂₅₋₇₅) требуют направления в центры профпатологии для углублённого медицинского обследования с обязательным проведением бодиплетизмографии, что поможет выявить начальные признаки респираторной патологии, назначить лечение и провести экспертизу профпригодности и связи заболевания с профессией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными вредными факторами производства рафинированной меди являются аэрозоли серной кислоты, соединения никеля, мышьяка.

Рабочие электролиза и электровининга имеют высокий и средний профессиональный риск развития патологии респираторной системы.

Скудность клинических респираторных проявлений у рабочих рафинирования меди требует дополнительного детального изучения вентилиционной функции и легочного газообмена (с помощью бодиплетизмографии и бронходилатационного теста) для раннего выявления профессиональной патологии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Стерехова Н.П. Клиника профессиональной хронической интоксикации сернистым газом у рабочих металлургических цехов медеплавильных заводов : Автореферат дис. на соискание ученой степени доктора медицинских наук. Свердлов. гос. мед. ин-т. – Свердловск : 1973. 28 с.
Stereckhova NP. Clinic of chronic occupational intoxication by sulfur dioxide gas in workers of metallurgical shops of copper smelting plants: Author's abstract of thesis for the degree of Doctor of Medicine. Sverd. State Medical Institute. – Sverdlovsk : 1973. 28 p. (In Russ.).
URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007463490>
2. Стерехова Н.П., Халевина С.Н., Кручинина Л.Н., Яхимович Н.П. Состояние здоровья рабочих сернокислотного цеха: Вопросы гигиены, организации здравоохранения общей и профессиональной патологии рабочих медеплавильных комбинатов. Свердловск : Средне-Уральское кн. изд-во ; 1979. С. 51–58.
Stereckhova NP, Khalevina SN, Kruchinina LN, Yakhimovich NP. State of health of workers of sulfuric acid workshop: Problems of hygiene, organization of health care general and professional pathology of workers of copper-smelting plants. Sverdlovsk : Sredne-Uralskoye kn. izd. ; 1979. pp. 51–58. (In Russ.).
3. Стерехова Н.П., Халевина С.Н. Токсико-пылевые бронхиты у рабочих медеплавильных цехов и критерии их профессионального генеза: Вопросы гигиены, организации здравоохранения общей и профессиональной патологии рабочих медеплавильных комбинатов. Свердловск : Средне-Уральское кн. изд-во ; 1979. С. 63–67.
Stereckhova NP, Khalevina SN. Toxic-dust bronchitis of workers of copper-smelting shops and criteria of their occupational genesis: Problems of hygiene, organization of general and occupational pathology of workers of copper-smelting plants. Sverdlovsk : Sredne-Uralskoye kn. izd. ; 1979. pp. 63–67. (In Russ.).
4. Кузьмина Ф.С. Ранние проявления хронической интоксикации сернистым газом у плавильщиков черновой меди : Вопросы гигиены, организации здравоохранения общей и профессиональной патологии рабочих медеплавильных комбинатов. Свердловск : Средне-Уральское кн. изд-во ; 1979. С. 67–72.
Kuzmina FS. Early manifestations of chronic intoxication by sulfur dioxide gas in smelters of blister copper : Questions of hygiene, organization of general and professional pathology of workers of copper smelting plants. Sverdlovsk : Sredne-Uralskoye kn. izd. ; 1979. pp. 67–72. (In Russ.).
5. Стерехова Н.П., Ивонина Т.И., Воробьев А.В., Макеев О.Г. Серосодержащие газы как профессиональная вредность при добыче и производстве цветных металлов и серы. Екатеринбург : Урал. гос. мед. акад., 1996. 138 с.
Stereckhova NP, Ivonina TI, Vorobyev AV, Makeev OG. Sulfur-containing gases as an occupational hazard in mining and production of non-ferrous metals and sulfur. Ekaterinburg : Urals State Medical Academy, 1996. 138 p. (In Russ.).
6. Зислин Д.М., Стерехова Н.П. Клиника острых и хронических профессиональных интоксикаций сернистым газом: (Диагностика, течение, лечение, врачебно-трудовая экспертиза и профилактика). М : Медицина ; 1977. 135 с.
Zislin DM, Sterekhova NP. Clinic of acute and chronic occupational intoxications by sulfur dioxide gas: (Diagnosis, course, treatment, medical and occupational expertise and prevention). M : Medicine ; 1977. 135 p. (In Russ.).
7. Адриановский В.И., Липатов Г.Я., Самылкин А.А. с соавт. Анализ результатов периодических медицинских осмотров рабочих, занятых в огневом и электролитическом рафинировании меди. *Фундаментальные исследования*. 2010;7:7–12.
Adrianovsky VI, Lipatov G.Ya., Samylkin A.A. et al. Analysis of the results of periodic medical examinations of workers

- employed in fire and electrolytic copper refining. *Fundamental Researches = Fundamental'nye issledovaniya*. 2010;7:7–12. (In Russ.).
URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=8963>
8. Баркалова Н.Ю. Современные методы защиты здоровья работников от вредных факторов производства на предприятиях цветной металлургии. Клинский институт охраны и условий труда. Barkalova NYu. Modern methods of protecting workers' health from harmful factors of production at non-ferrous metallurgy enterprises. Klin Institute of Labor Protection and Conditions. (In Russ.). URL: <https://www.kiout.ru/info/publish/25716>
9. Тарновская Е.В., Сюрин С.А., Чащин В.П. Общая и профессиональная болезненность работников электролизного производства никеля в Кольском Заполярье. Медицина труда и промышленная экология. 2010;4:11–14. Tarnovskaya EV, Surin SA, Chashchin VP. General and occupational morbidity of workers of nickel electrolysis production in the Kola Peninsula. Occupational medicine and industrial ecology = Medicina truda i promyshlennaja jekologija. 2010;4:11–14. (In Russ.).
10. Серебряков П.В., Карташев О.И., Федина И.Н. Оценка состояния здоровья работников производства меди в условиях Крайнего Севера. Управление риском для здоровья работающих и населения в связи с хозяйственной деятельностью предприятий медной промышленности: Материалы Всероссийской научно-практической конференции 7–9 октября 2015 г. Верхняя Пышма–Екатеринбург, 2015. С. 118–122. Serebryakov P.V., Kartashev O.I., Fedina I.N. Assessment of the health status of copper production workers in the conditions of the Far North. Risk management for the health of workers and the population in connection with the economic activities of copper industry enterprises: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference on October 7-9, 2015 Upper Pyshma-Yekaterinburg, 2015. pp. 118–122. (In Russ.).
URL: <https://www.ymrc.ru/ix/f/X/fKa53kZsU5-XWXcsG5Nhr-4SBpsPLBDO.pdf>
11. Маратканова А.А., Троицкая Н.А., Ефимова Г.Н. Вопросы гигиены труда и профессиональной патологии в металлургии. М : Медицина ; 1972. С. 310–314. Maratkanova AA, Troitskaya NA, Efimova GN. Voprosy hygiene of labor and professional pathology in metallurgy. M : Publishing House Medicine; 1972. pp. 310–314. (In Russ.).
12. Липатов Г.Я. Гигиена труда и профилактика профессионального рака в пирометаллургии меди и никеля: дис. ... д-ра мед. наук : 14.00.07: защищена 04.03.1992. Москва, 1992. 33 с. Lipatov GYa. Occupational hygiene and prevention of occupational cancer in pyrometallurgy of copper and nickel: dis. ... doctor of medical Sciences: 14.00.07: protected 04.03.1992. Moscow, 1992. 33 p. (In Russ.).
URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01000017843>.
13. Лях Г.Д., Маратканова А.А. Производство меди: руководство по гигиене труда. М : Медицина ; 1987. Т. 2. С. 114–117. Lyakh GD, Maratkanova AA. Copper production: a guide to labor hygiene. M : Medicine ; 1987. Vol. 2. pp. 114–117. (In Russ.).
14. Решетова С.В. Гигиена труда рабочих в производстве медной продукции катаным и наполнительным способом : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. мед. наук : 2006 Reshetova S.V. Occupational hygiene of workers in the production of copper products by rolling and filling method : abstract dis. on the job. learned. step. Candidate of Medical Sciences : 2006 (In Russ.).
URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003272825>.
15. Адриановский В.И., Липатов Г.Я., Лестев М.П. Гигиеническая характеристика воздуха рабочей зоны в современном производстве черновой меди. *Фундаментальные исследования*. 2012;7–1:16–20. Adrianovsky VI, Lipatov GY, Lestev MP. Hygienic characteristics of working area air in modern production of blister copper. *Fundamental research = Fundamental'nye issledovaniya*. 2012;7–1:16–20. (In Russ.).
URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=30029>
16. Адриановский В.И., Гилева Ю.М., Липатов Г.Я., Поплавских С.Ю. К вопросу оценки условий труда рабочих, занятых в обогащении медьсодержащих руд. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2010;12:30–31. Adrianovsky VI, Gileva YM, Lipatov GY, Poplavskikh SY. To the assessment of working conditions of workers engaged in the concentration of copper-bearing ores. *International Journal of Applied and Fundamental Research = Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniy*. 2010;12:30–31. (In Russ.).
URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=965>
17. Баркалова Н.Ю. Комплексный подход к защите работника медного производства. *Справочник специалиста по охране труда*. 2018;10: 124–125. Barkalova NY. An integrated approach to the protection of a copper production worker. *Handbook of a labor protection specialist*. 2018;10: 124–125. (In Russ.).
18. Никанов А.Н., Чащин В.П., Дардынская И. с соавт. Риск-ориентированный подход к сохранению профессионального здоровья работников на предприятиях цветной металлургии в Арктической зоне Российской Федерации. *Экология человека*. 2019;2:12–20. Nikanov AN, Chashchin VP, Dardynskaya I et al. Risk-oriented approach to the preservation of occupational health of workers at enterprises of non-ferrous metallurgy in the Arctic zone of the Russian Federation. *Human Ecology = Jekologija cheloveka*. 2019;2:12–20. (In Russ.).
19. Базарова Е.Л., Федорук А.А., Ошеров И.С. с соавт. Оценка профессионального риска здоровью при работе со сплавами на основе титана по результатам периодического медицинского осмотра и обращаемости. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНУСО*. 2021;(2):43–53. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-335-2-43-53>. Bazarova EL, Fedoruk AA, Osheroev IS et al. Assessment of occupational health risks from exposure to titanium alloys based

- on the results of periodic medical examinations and doctor's visits. *Population Health and Habitat - ZNiSO*. 2021;(2):43–53. (In Russ.). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-335-2-43-53>.
20. Базарова Е.Л., Федорук А.А., Рослая Н.А. с соавт. Опыт оценки профессионального риска, связанного с воздействием промышленных аэрозолей, в условиях модернизации металлургического предприятия. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. 2019;1(310):38–45. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-310-1-38-45>.
Bazarova EL, Fedoruk AA, Roslaya NA et al. Experience in assessing occupational risk associated with exposure to industrial aerosols in the modernization of the metallurgical plant. *Population Health and Environment = ZNiSO*. 2019;1(310):38–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-310-1-38-45>.
21. Базарова Е.Л., Федорук А.А., Рослая Н.А. с соавт. Опыт оценки профессионального риска, связанного с воздействием охлаждающего микроклимата, в условиях модернизации металлургического предприятия. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. 2019;9(318):56–61. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-318-9-56-61>.
Bazarova EL, Fedoruk AA, Roslaya NA et al. Experience in assessing occupational risk associated with exposure to industrial aerosols in the modernization of the metallurgical plant. *Population Health and Environment = ZNiSO*. 2019;9(318):56–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-318-9-56-61>.
22. Другова О.Г., Рослый О.Ф., Федорук А.А. Сравнительная оценка профессионального риска по гигиеническим критериям «новой» и «старой» технологий производства катодной меди. / Актуальные проблемы безопасности и анализа риска здоровью населения при воздействии факторов среды обитания: Материалы VII всероссийской научно-практической конференции с международным участием в 2-х томах. 2016. С. 99–103.
Drugova OG, Rosly OF, Fedoruk AA. Comparative assessment of occupational risk by hygienic criteria of “new” and “old” copper cathode production technologies. Actual problems of safety and risk analysis to public health under the influence of environmental factors: Materials of the VII All-Russian Scientific and practical conference with international participation in 2 volumes. 2016. pp. 99–103. (In Russ.).
23. Савушкина О.И., Черняк А.В. Бодиплетизмография: теоретические и клинические аспекты. *Медицинский алфавит*. 2018;2(23):13–17.
Savushkina OI, Chernyak AV. Bodipletismography: theoretical and clinical aspects. *Medical Alphabet = Medicinskij alfavit*. 2018;2(23):13–17. (In Russ.).
24. Савушкина О.И., Черняк А.В. Спирометрическое исследование в клинической практике. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2020;77:125–133. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2020-77-125-133>.
Cherniak A.V., Savushkina O.I. Spirometry in clinical practice. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*. 2020;77:125–133. (In Russ.). <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2020-77-125-133>.
25. Серебряков П.В., Бакиров А.Б., Каримова Л.К., Рушкевич О.П. Клинические особенности заболеваний органов дыхания и коморбидной патологии у работников промышленных предприятий, совершенствование методов профилактики и лечения. Уфа: Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека ; М : Принт-2 ; 2016, 369 с.
Serebryakov PV, Bakirov AB, Karimova LK, Rushkevich OP. Clinical features of respiratory diseases and comorbid pathology in workers of industrial enterprises, improvement of prevention and treatment methods. Ufa: Ufa Research Institute of Labor Medicine and Human Ecology ; Moscow : Print-2 ; 2016, 369 p. (In Russ.).
26. Сюрин С.А. Особенности бронхолегочной патологии у работников медного производства в Кольском заполярье. *Гигиена и санитария*. 2013;92(3):53–56.
Syurin S.A. Peculiarities of bronchopulmonary pathology in copperindustry workers in the Kola High North. *Hygiene and Sanitation = Gigena i sanitarija*. 2013;92(3):53–56. (In Russ.).
27. Brooks SM. Then and now reactive airways dysfunction syndrome journal of occupational and environmental medicine. *J Occup Environ Med*. 2016;58(6):636–637. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000787>.
28. Tyagi R, Mohanty CS, Hande V. Reactive airway dysfunction syndrome: Are we missing these patients? *Med J Armed Forces India*. 2020;76(3):342–344. <https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2018.06.013>.
29. Walters GI, Huntley CC. Updated review of reported cases of reactive airways dysfunction syndrome. *Occup Med (Lond)*. 2020;70(7):490–495. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqaa133>.
30. Baur X, Chen Z, Liebers V. Exposure-response relationships of occupational inhalative allergens. *Clin Exp Allergy*. 1998;28(5):537–544. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2222.1998.00276.x>.

Сведения об авторах

Станислав Реамюрович Гусельников

– ассистент кафедры, врач-терапевт,
stguselnikov@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7902-0765>

Ольга Ивановна Гоголева

– доктор медицинских наук, профессор,
gogolevaolga@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-6887-3738>.

Георгий Яковлевич Липатов

– доктор медицинских наук, профессор,
<https://orcid.org/0000-0002-6982-7933>

Information about the authors

Stanislav R. Guselnikov

– Department assistant, Physician,
stguselnikov@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7902-0765>

Olga I. Gogoleva

– Doctor of Science (Medicine), Professor,
gogolevaolga@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-6887-3738>.

Georgij Ya. Lipatov

– Doctor of Science (Medicine), Professor,
<https://orcid.org/0000-0002-6982-7933>

Эдуард Григорьевич Плотко

– доктор медицинских наук, профессор,
<https://orcid.org/0000-0002-3031-2625>

Вадим Иннович Адриановский

– кандидат медицинских наук, доцент,
adrianovsky@k66.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7754-8910>

Алексей Анатольевич Самылкин

– кандидат медицинских наук, доцент,
<https://orcid.org/0000-0003-3658-2113>

Екатерина Евгеньевна Шмакова

– ассистент кафедры,
<https://orcid.org/0000-0002-8187-7108>

Юлия Николаевна Нарисына

– кандидат медицинских наук, доцент,
<https://orcid.org/0000-0003-0962-4488>

Ирина Александровна Рыжкова

– ассистент кафедры,
<https://orcid.org/0000-0003-3631-0265>

Юлия Николаевна Нefeldова

– ассистент кафедры,
<https://orcid.org/0000-0002-2101-3682>

Edvard G. Plotko

– Doctor of Science (Medicine), Professor,
<https://orcid.org/0000-0002-3031-2625>

Vadim I. Adrianovsky

– Ph.D. in Medicine, Associate Professor,
adrianovsky@k66.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7754-8910>

Aleksej A. Samylkin

– Ph.D. in Medicine, Associate Professor,
<https://orcid.org/0000-0003-3658-2113>

Ekaterina E. Shmakova

– Department assistant,
<https://orcid.org/0000-0002-8187-7108>

Julija N. Naritsyna

– Ph.D. in Medicine, Associate Professor,
<https://orcid.org/0000-0003-0962-4488>

Irina A. Ryzhkova

– Department assistant,
<https://orcid.org/0000-0003-3631-0265>

Julija N. Nefedova

– Department assistant,
<https://orcid.org/0000-0002-2101-3682>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования

Внешнее финансирование при проведении исследования отсутствовало.

Этическая экспертиза

Исследование проведено в соответствии с этическими стандартами, изложенными в Хельсинской декларации, одобрено локальным этическим комитетом Екатеринбургского медицинского научного центра профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий (протокол № 12 от 06.09.2018).

Информированное согласие получено от лиц, включенных в исследование.

Статья поступила в редакцию 10.10.2022; одобрена после рецензирования 26.12.2022; принята к публикации 02.05.2023.

Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Funding source

This study was not supported by any external sources of funding.

Ethics approval

The study was conducted in accordance with the ethical standards outlined in the Declaration of Helsinki, approved by the local ethical committee of the Ekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers (protocol No 12 dated 06.09.2018).

Informed consent was obtained from those included in the study.

The article was submitted 10.10.2022; approved after reviewing 26.12.2022; accepted for publication 02.05.2023.