

Гигиена труда

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2018

УДК 613.6:669.71

Шаяхметов С.Ф., Мещачкова Н.М., Лисецкая Л.Г., Меринов А.В., Журба О.М., Алексеенко А.Н., Рукавишников В.С.

ГИГИЕНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УСЛОВИЙ ТРУДА В СОВРЕМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск

Введение. Получение первичного алюминия является одним из ведущих отраслей промышленности и относится к категории повышенной опасности для здоровья работников подразделений экономики, что требует пристального внимания к условиям труда при модернизации технологии производства.

Материал и методы. Методика исследований включала комплексное изучение условий труда и оценку приоритетных факторов профессионального риска, углублённое изучение морфологии, дисперсного и компонентного состава взвешенных в воздухе пылегазовых компонентов при разных технологиях электролиза алюминия.

Результаты. Ведущими производственными факторами профессионального риска являются фторсодержащие соединения, пылегазоаэрозольные смеси в виде отдельных и собранных в агломераты микро- и наноструктурированных частиц сложного химического состава (фтор, углерод, алюминий, натрий, кислород, кремний, железо, сера, хром, никель и др.), неблагоприятный микроклимат, электромагнитное поле, шум, вибрация, физические нагрузки, которые относятся к 3 (вредному) классу 1–3 степени.

Обсуждение. Модернизация производства алюминия с внедрением технологии предварительно обожжённых анодов позволяет значительно улучшить условия труда, снизить поступление в воздух рабочей зоны вредных химических веществ, за исключением гидрофторида, концентрации которого превышают ПДК в 1,5–3,1 раза. Примечателен факт обнаружения в воздухе аэрозолей дезинтеграции и конденсации, включающих частицы наноразмерного диапазона, примеси тяжёлых металлов. Последствия влияния таких сложных комбинационных смесей, их сочетанного действия с другими факторами на организм могут иметь выраженные негативные эффекты, что представляется важным при адекватном анализе экспозиции и персонализированной оценке риска для здоровья работников, занятых в производстве алюминия.

Заключение. Условия труда на рабочих местах при технологии самообжигающихся анодов характеризуются средним или высоким профессиональным риском, при технологии предварительно обожжённых анодов – малым или средним риском, что делает актуальной проблему дальнейшего совершенствования технологий производства алюминия, проведения детального анализа персональной экспозиции вредных веществ для корректной оценки риска здоровью работников.

Ключевые слова: производство алюминия; гигиеническая оценка условий труда; пылегазовый аэрозоль.

Для цитирования: Шаяхметов С.Ф., Мещачкова Н.М., Лисецкая Л.Г., Меринов А.В., Журба О.М., Алексеенко А.Н., Рукавишников В.С. Гигиенические аспекты условий труда в современном производстве алюминия. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(10): 899–904. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-10-899-904>

Для корреспонденции: Шаяхметов Салим Файзыевич, доктор мед. наук, проф., вед. науч. сотр. лаб. аналитической экотоксикологии и биомониторинга, ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований. E-mail: salimf53@mail.ru

Shayakhmetov S.F., Meshchakova N.M., Lisetskaya L.G., Merinov A.V., Zhurba O.M., Alekseyenko A.N., Rukavishnikov V.S.

HYGIENIC ASPECTS OF WORKING CONDITIONS IN THE MODERN PRODUCTION OF ALUMINUM

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 665827, Angarsk, Russian Federation

Introduction. The production of primary aluminum is one of the leading and belonging to the category of an increased health hazard for workers in the economy, which requires close attention to working conditions while modernizing production technology.

Material and methods. The research methodology included a comprehensive study of working conditions and assessment of priority occupational risk factors, an in-depth study of the morphology, dispersed and component composition of dust and gas components air-suspended at different technologies of electrolysis of aluminum.

Results. The leading production factors of occupational risk, degrees are fluorine-containing compounds, dust and gas-aerosol mixtures in the form of separate and assembled into agglomerates micro- and nanostructured particles of complex chemical composition (fluorine, carbon, aluminum, sodium, oxygen, silicon, iron, sulfur, chromium, nickel, etc.), unfavorable microclimate, electromagnetic field, noise, vibration, physical loads, which are related to the 3rd (harmful) class of 1 to 3 degree.

Discussion. Modernization of aluminum production with the introduction of technology of pre-baked anodes allows significantly improve working conditions, reduce the admission of harmful chemical substances into the air of the working area, with the exception of hydrofluoride, the concentration of which exceeds extremely permissible levels in 1.5–3.1 times. Noteworthy is the fact of the detection of aerosols of disintegration and condensation, including particles of nanoscale range, impurities of heavy metals in the air. The consequences of the effect of such complex combination mixtures, their combined effects with other factors on the body, can have pronounced negative effects, which is important with adequate exposure analysis and personalized assessment of the health risks of workers engaged in the production of aluminum.

Conclusion. *Working conditions at workplaces with the technology of self-baking anodes are characterized by moderate or severe professional risk, with the technology of pre-baked anodes – mild or moderate risk, which makes the urgent problem of further improvement of aluminum production technologies, detailed analysis of personal exposures of harmful substances for a correct assessment of the health risk of workers, is relevant.*

Key words: *aluminum production; hygienic assessment of working conditions; dust and gas-aerosol.*

For citation: Shayakhmetov S.F., Meshchakova N.M., Lisetskaya L.G., Merinov A.V., Zhurba O.M., Alekseyenko A.N., Rukavishnikov V.S. Hygienic aspects of working conditions in the modern production of aluminum. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(10): 899-904. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-10-899-904>

For correspondence: Salim F. Shayakhmetov, MD, Ph.D., DSci., professor, leading researcher of the laboratory of analytical ecotoxicology and biomonitoring of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation. E-mail: salimf53@mail.ru

Information about authors: Shayakhmetov S.F., <https://orcid.org/0000-0001-8740-3133>; Meshchakova N.M., <https://orcid.org/0000-0002-9772-0199>; Lisetskaya L.G., <https://orcid.org/0000-0002-0876-2304>; Merinov A.V., <https://orcid.org/0000-0001-7848-6432>; Zhurba O.M., <https://orcid.org/0000-0002-9961-6408>; Alekseyenko A.N., <https://orcid.org/0000-0003-4980-5304>; Rukavishnikov V.S., <http://orcid.org/0000-0003-2536-1550>.

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

Acknowledgment. Financing of the work was carried out at the expense of funds allocated for the state assignment of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

Received: 12 July 2018

Accepted: 18 October 2018

Введение

Производство алюминия является одной из ключевых и востребованных энергоёмких отраслей мировой экономики, которая устойчиво сохраняет ведущие позиции среди подотраслей цветной металлургии. На сегодняшний день на алюминиевых предприятиях страны традиционно занято более 60 тыс. человек, причём три четверти крупных промышленных заводов расположены в Восточной Сибири.

Промышленное производство первичного алюминия характеризуется значительным загрязнением воздуха рабочей зоны комплексом вредных химических веществ, высокими уровнями шума, вибрации и электромагнитных полей, неблагоприятным микроклиматом [1–9]. В качестве основных опасных ингредиентов воздушной среды электролизных цехов алюминиевого производства выделяются гидрофторид, фтористые соединения, оксиды алюминия, серы и углерода, пыль сложного состава, смолистые вещества (включая бенз(а)пирен), которые представляют серьёзную угрозу здоровью работников [10–21].

В настоящее время на алюминиевых заводах внедряются новые мощные электролизные ванны (300 кА и более) с технологией предварительно обожжённых анодов, автоматизация и механизация технологических процессов, современные системы общеобменной и локальной вентиляции. Однако, несмотря на проводимую модернизацию действующих предприятий, особенности используемой технологии электролитического получения алюминия не позволяют полностью исключить воздействие вредных факторов на организм работников [22–24]. Это требует дальнейшего углублённого изучения условий труда, особенностей формирования воздействующих профессиональных факторов, их оценки и анализа возможных негативных последствий для здоровья рабочих. Гигиеническая оценка производства алюминия на современном этапе его развития не нашла должного отражения в научной литературе [25–27]. Указанные обстоятельства побудили нас к обобщению результатов собственных исследований и имеющихся единичных публикаций об условиях труда рабочих на алюминиевых заводах с учётом проведённой модернизации.

Целью настоящей работы явились комплексная гигиеническая оценка условий труда на современном алюминиевом предприятии Восточной Сибири, определение приоритетных профессиональных факторов риска для здоровья работников при разных технологиях производства алюминия.

Материал и методы

Комплексные гигиенические исследования условий труда проводились на одном из крупных алюминиевых предприятий Восточной Сибири, использующего традиционную технологию с самообжигающимися анодами (ТСА) и современную модернизированную – с предварительно обожжёнными анодами (ТПОА). Выбор данного объекта основывался на возможности изучения и сравнительной гигиенической оценки двух одновременно используемых технологий получения алюминия. Гигиени-

ческая оценка приоритетных химических веществ в воздухе рабочей зоны, параметров физических факторов (шум, вибрация, электромагнитные поля, микроклимат) в электролизных цехах проводилась по данным мониторинговых измерений, выполненных заводской санитарно-промышленной лабораторией, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» по Иркутской области, а также по данным собственных исследований. Измерения производственных факторов и оценку полученных результатов осуществляли общепринятыми методами в соответствии с действующей нормативно-методической документацией. Всего было проанализировано более 1500 замеров.

Для углублённого изучения дисперсного и компонентного состава токсико-пылевых комплексов отобранные на фильтры RTFE пробы пыли исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа Quanta 200 FEI Company с приставкой для энергодисперсионного рентгеновского микроанализа EDAX в Центре коллективного пользования Иркутского НЦ РАН. Всего было обработано 14 фильтров, проведена оценка размеров 7340 частиц; для 613 частиц был проведён их элементный анализ.

Общую гигиеническую оценку условий труда с определением класса и степени вредности каждого фактора проводили в соответствии с Руководством Р 2.2.2006–05*.

Статистическую обработку и анализ результатов гигиенических и физико-химических исследований осуществляли при помощи программы STATISTICA 6.1 с использованием критерия Манна – Уитни и непарного *t*-критерия Стьюдента. Проверку нормальности распределения количественных показателей выполняли с использованием критерия Шапиро – Уилка. Результаты гигиенических исследований представлены в виде медианы и квартильного диапазона (Q_{25} – Q_{75}), физико-химических исследований – средних значений и стандартной ошибки среднего. Различия между сравниваемыми показателями считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Технологический процесс производства алюминия состоит из ряда последовательно выполняемых технологических операций получения металла на основе электролитического разложения растворённого в электролите глинозёма (Al_2O_3) и солевых добавок (AlF_3 , NaF , CaF_2 и др.) при температуре 950–960°C и силе постоянного тока от 30 до 350 кА с использованием самообжигающихся и предварительно обожжённых анодов. Основными профессиональными группами рабочих в цехах, использующих ТСА, являются электролизники, анодчики и крановщики, в цехах с ТПОА – операторы автоматизированного процесса производства алюминия (АППА) по обслуживанию электролизных ванн и операторы АППА по обслуживанию кранов.

* Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. М.: ФЦГСЭН МЗ России, 2005.

Сравнительная оценка содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны основных профессий электролизных цехов при использовании ТСА и ТПОА за 5-летний период, Me (Q25–Q75)

Профессия	Концентрации вредных веществ в воздухе, мг/м ³			
	Гидрофторид, ПДКсс = 0,1 мг/м ³	Фторсоли, ПДКсс = 0,5 мг/м ³	Диалюминий триоксид, ПДКсс = 6,0 мг/м ³	Возгоны смол, ПДКсс = 0,2 мг/м ³
<i>ТСА:</i>				
Электролизник	0,25 (0,16–0,26)	0,66 (0,55–0,68)	3,42 (3,42–3,47)	0,25** (0,24–0,28)
Анодчик	0,16 (0,12–0,18)	0,24 (0,13–0,61)	5,0 (4,47–5,12)	0,17 (0,16–0,26)
Машинист крана	0,21 (0,20–0,21)	0,38 (0,33–0,41)	5,40* (4,90–5,80)	0,18*** (0,17–0,26)
<i>ТПОА:</i>				
Оператор по обслуживанию ванн	0,31 (0,27–0,31)	0,28 (0,25–0,42)	1,90 (1,74–2,90)	0,06** (0,06–0,08)
Оператор по обслуживанию кранов	0,15 (0,15–0,20)	0,10 (0,07–0,14)	3,28* (1,90–3,67)	0,025*** (0,025–0,03)

Примечание. *, **, *** – различия статистически значимы при $p < 0,05$.

Анализ многолетних данных, касающихся условий труда работников производства алюминия, показал, что среди образующихся в процессе электролиза алюминия комплексов вредных химических веществ, наиболее существенный вклад в загрязнение воздушной среды вносят фторсодержащие соединения, возгоны каменноугольных смол, бенз(а)пирен и пыль сложного состава (табл. 1).

Так, в цехах с использованием ТСА среднегодовые среднесменные концентрации (по медиане) на рабочих местах основных профессий варьировали по гидрофториду от 0,16 до 0,25 мг/м³, по фторосолям – от 0,24 до 0,66 мг/м³, по диалюминию триоксиду – от 3,42 до 5,40 мг/м³, возгонам смол – от 0,17 до 0,25 мг/м³.

Исследованиями установлено, что в электролизных цехах, где в производство внедрены электролизёры с предварительно обожжёнными анодами, среднегодовые среднесменные концентрации фтористых солей, возгонов смол и диалюминия триоксида в рабочей зоне работников основных профессий находились в пределах ПДК или ниже, чем при использовании ТСА. Исключением являлся фтористый водород, среднесменные концентрации которого в корпусах с ТПОА по-прежнему были выше ПДК на всех рабочих местах в среднем в 1,5–3,1 раза. Таким образом, в соответствии с Руководством Р. 2.2.2006–05 по показателям химического фактора условия труда работников основных профессий в цехах с ТСА соответствовали классу 3.1–3.2, а в цехах с ТПОА – классу 3.1 (по гидрофториду).

Электронно-гранулометрический анализ образцов пыли воздуха рабочей зоны показал, что наиболее опасные для здоровья мелкодисперсные фракции (менее 1 мкм) обнаруживались при загрузке анодной массы (57,0%), гартовании (28,6%) и укрывании анодов (21,4%), а преобладание респираторных частиц с размером 1–10 мкм отмечалось во время обрубки гарнисажей (78,1%), перестановке штырей (78,8%), обдувке оборудования (65,7%) и других операциях.

При сравнительном анализе гистограмм дисперсного состава пыли в рабочей зоне основных профессиональных групп рабочих установлено, что на рабочих местах электролизников, анодчиков при ТСА и операторов АППА по обслуживанию ванн и перетяжке рам при ТПОА в воздухе преобладали частицы размером 1–3 мкм – 41,9; 42,7; 43,8 и 31,8%, соответственно (см. рисунок).

В то же время в рабочей зоне машинистов кранов (ТСА) наибольшую долю в общей массе пыли составляли частицы размером 0,5–1 мкм (34,7%) и 1–3 мкм (34,3%), а у операторов по обслуживанию крана (ТПОА) – частицы до 0,5 мкм (46,2%). Такой факт свидетельствует о преобладании в воздухе рабочей зоны микро- и ультрадисперсных частиц, имеющих высокую удельную поверхность и представляющих наибольшую опасность для здоровья рабочих, в рабочей зоне указанных профессий.

Электронномикроскопическая визуализация частиц аэрозоля показала, что взвешенные в воздухе алюминиевого производства пылинки характеризовались неоднородностью форм и представляли собой как единичные, так и собранные в агрегаты наноструктурированные частицы преимущественно с раз-

мерами от 67–160 нм до 2 мкм. Большая часть частиц являются типичными аэрозолями дезинтеграции, имеющие заострённые грани или кристаллическую структуру, которые представляют собой многогранники разной формы. Кроме того, при конденсации аэрозоля часто встречаются частицы овальной и округлой формы. Эти частицы образовывали агрегаты, покрытые гидрофторидом и другими химическими соединениями.

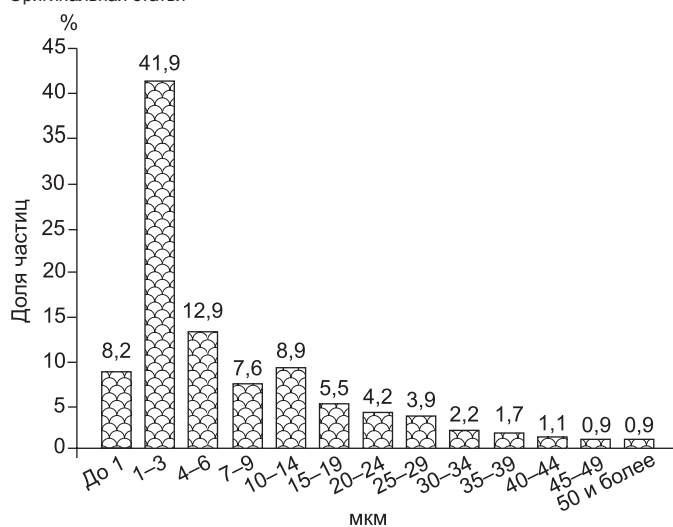
Энергодисперсионный рентгеновский анализ показал (табл. 2), что в пылевых частицах наиболее распространёнными компонентами являются фтор, углерод, алюминий, натрий, кислород, а также примеси магния, железа, серы, никеля, хрома, кремния.

Взвешенная в воздухе алюминиевого производства пыль представляет собой частицы оксида алюминия (глинозёма), криолита, фторида алюминия, фторуглеродных соединений, сажи или их смесей. При ТСА доминирующей группой частиц являлись глинозём – 36,3% и фторуглеродные соединения – 29,8%; а при ТПОА – криолит – 29,6%, смесь фторида алюминия-глинозёма – 19,2% и фторуглеродные соединения – 16,0%. Микроклиматические условия являются одним из основных неблагоприятных факторов алюминиевого производства: в тёплый период года при обслуживании электролизёров температура воздуха в цехах составляла 39–43°C, а непосредственно у электролизёров она достигает 40–48°C при температурных перепадах 15–19°C. В холодный период, несмотря на значительные тепловыделения, микроклимат характеризуется низкой температурой воздуха (15–16,5°C) и его повышенной подвижностью, перепады температуры воздуха достигают 28–30°C. При этом весьма неблагоприятным фактором являются вынужденные неоднократные переходы работников от состояния перегрева к охлаждению, что негативно сказывается на их самочувствии. Таким образом, в соответствии с Руководством Р. 2.2.2006–05 параметры микроклимата в рабочей зоне соответствуют классам 3.2–3.3.

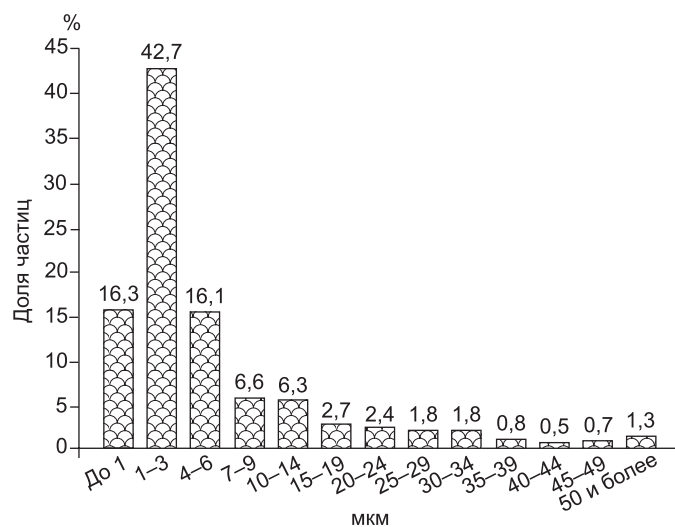
По данным хронометражных наблюдений, трудовая деятельность работников основных профессий сопровождается значительными физическими нагрузками, связанными с выполнением трудоёмких операций (до 60–70% рабочего времени), в том числе ручных (до 20–40% в смену).

Электролизёры и токопроводящие шины являются источниками образования постоянных магнитных полей (ПМП), уровень которых зависит от конструктивных особенностей и мощности электролизёров, характера трудовых операций и др. По нашим данным и исследованиям ряда авторов [14, 25, 26], при замерах магнитной индукции на рабочих местах электролизников и анодчиков при эксплуатации электролизёров с самообжигающимися анодами с боковым токоподводом уровни магнитных полей находились в пределах 5,3–15,7 мТл, а в условиях применения предварительно обожжённых анодов с верхним токоподводом – в пределах 3,9–63,0 мТл (при нормативном уровне – 10 мТл при 6-часовой рабочей смене). Согласно Руководству Р. 2.2.2006–05, уровни ПМП на рабочих местах соответствуют классу 3.1–3.2.

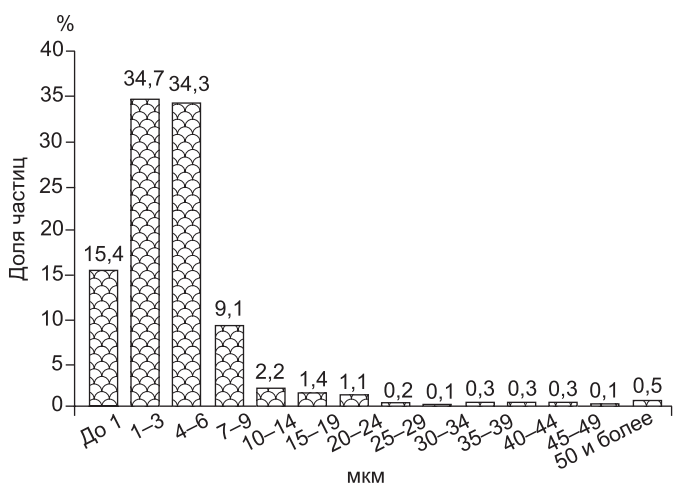
Технологическое оборудование и технологические операции по обслуживанию процесса электролиза алюминия связаны с генерированием и воздействием на работающих шума, локальной и общей вибрации. Источниками их являются операции по про-



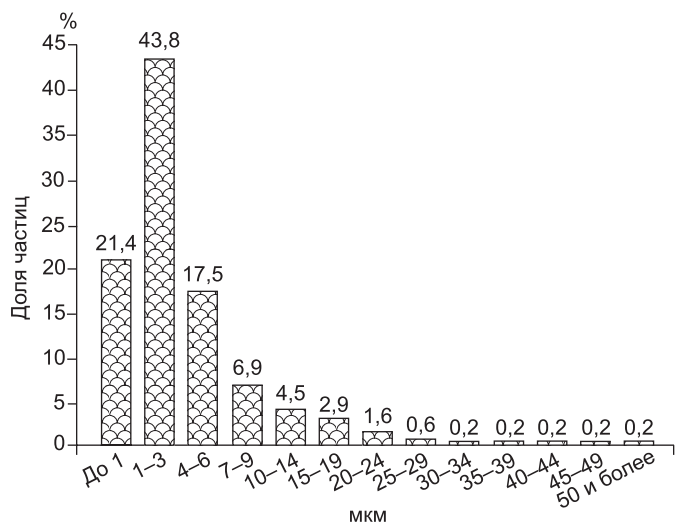
а



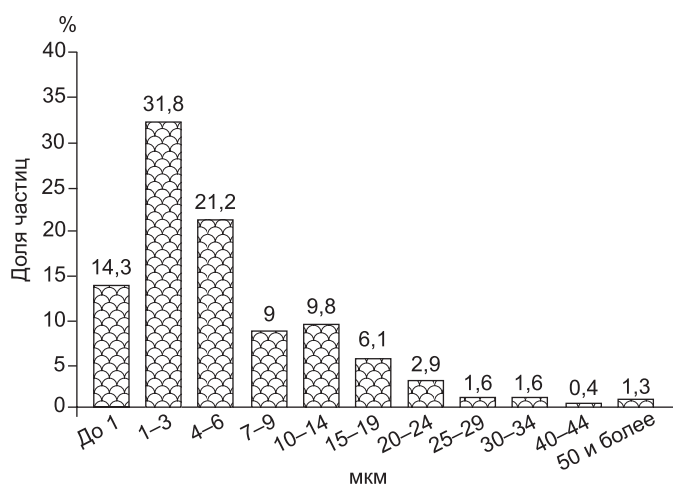
б



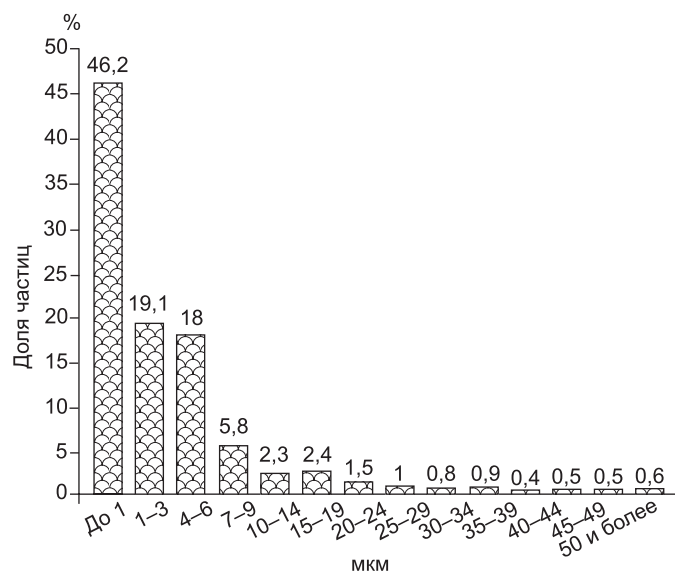
в



г



д



е

Гистограммы дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны основных профессий.

а – электролизник, *б* – анодчик, *в* – машинист крана, *г* – оператор АППА по обслуживанию ванн, *д* – оператор АППА по перетяжке анодных рам, *е* – оператор АППА по обслуживанию крана.

бивке корки электролита, автоматизированной засыпке глинозёма, эксплуатацией электромо-стовых кранов, пылеуборочных машин и др. На рабочих местах электролизников и анодчиков эквивалентные уровни шума составляли от 80 до 87 дБА, превышая допустимые уровни с учё-том тяжести и напряжённости труда на 4–8 дБА, наибольшее превышение звукового давления на 7–10 дБ наблюдалось на среднегеометрических частотах 4 000 и 8 000 Гц. Уровни локальной вибрации на рабочих местах электролизников достигали 115 дБ, несколько превышая норма-тивный уровень (112 дБ).

Таким образом, условия труда на рабочих местах основных профессий, согласно инте-гральной оценке по Руководству Р. 2.2.2006–05, с учётом комбинированного и сочетанного дей-ствия вредных факторов, при ТПОА соответству-ют 3 классу 2-3 степени, при ТПОА – 3 классу 1-2 степени.

Обсуждение

Актуальность проведённых исследований состояла в том, что были обобщены результа-ты собственных исследований и данные ряда авторов [2, 24, 26] об условиях труда работни-ков производства алюминия на современном этапе его развития с учётом проведённой мо-дернизации. Установлено, что на старых, модернизированных и на новых современных алюминиевых заводах при выполнении большинства технологических процессов работники продолжают испытывать воздействие комплекса вредных профессиональ-ных факторов, ведущими из которых являются фторсодержащие соединения, смолистые вещества, пыль сложного химического состава, неблагоприятный микроклимат, ПМП, шум, вибрация, физическое напряжение.

Модернизация ТСА с внедрением более эффективных пыле-газоулавливающих укрытий электролизёров приводит к сниже-нию содержания в воздухе рабочей зоны солей фтористоводород-ной кислоты, оксидов углерода и серы, аэрозоля дезинтеграции, однако не оказывает существенного влияния на уровни концен-траций фтористого водорода. Переход на ТПОА позволяет значи-тельно улучшить условия труда на рабочих местах основных профессиональных групп рабочих, сократить долю физического труда, снизить уровни шумовибрационного фактора и поступле-ние в воздух рабочей зоны большинства химических веществ за исключением гидрофторида, концентрации которого были в 1,5–3,1 раза выше ПДК, что согласуется с данными других авторов, ранее проводивших исследования на алюминиевых заводах, где эксплуатируются электролизёры с ТПОА [3, 26]. Такое положе-ние дел, по-видимому, связано с высокой мощностью применя-емых новых электролизёров и недостаточной эффективностью пылегазоулавливания от электролизных ванн, что способствует поступлению фтористого водорода в воздух рабочей зоны.

Особого внимания заслуживают твёрдые частицы пыли, вы-деляющиеся в воздух рабочей зоны совместно с газообразными веществами и образующие сложные пылегазоаэрозольные со-единения. Следует отметить, что образование пылевых аэро-зольных смесей, включающих твёрдые фториды, кремнезём, алюминий-компоненты и примеси металлов, происходит при выполнении технологических операций, главным образом из ис-пользуемого в процессе производства исходного сырья и конден-сирующегося пара при высокотемпературной плавке алюминия.

Как показали исследования, наибольшая масса высокодис-персных фракций пыли (до 0,5 мкм) наблюдается в воздухе рабочей зоны крановщиков (15,4%) и операторов по обслужи-ванию крана (46,2%). Примечателен факт обнаружения, при элек-тронном микроскопировании проб пыли воздуха рабочих мест указанных профессий, частиц наноразмерного диапазона в виде единичных или собранных в агломераты наноструктурирован-ных частиц, которые, по литературным данным [28–30], имеют высокую удельную поверхность и представляют наибольшую опасность для здоровья рабочих.

Характеристика групп пылевых частиц различного химического состава и их доля (в %) от всей витающей пыли в воздухе рабочей зоны при различных технологиях производства алюминия ($M \pm m$)

Группа частиц	Элементный состав пылевых частиц	Технология	
		самообжигающиеся аноды ($n = 400$)	обоженные аноды ($n = 213$)
Оксид алюминия	<i>Al, O, C, F, Na, K</i>	$36,3 \pm 2,4$	$12,2 \pm 2,2$
Фторид алюминия	<i>Al, F, C, Na, K, Ca, N, O</i>	$0,8 \pm 0,4$	$2,8 \pm 1,1$
Смесь фторида алюминия и глинозёма	<i>Al, F, O, C, Na, Ni, Fe, Ca, Si, S</i>	$11,8 \pm 1,6$	$19,2 \pm 2,7$
Криолит	<i>F, Na, Al, C, O, Ca, K, Mg, Ni, S, Si</i>	$13,5 \pm 1,7$	$29,6 \pm 3,1$
Смесь оксида алюминия и криолита	<i>F, Al, Na, O, C, Fe, K, Ca, S</i>	$4,0 \pm 1,0$	$14,1 \pm 2,4$
Фторуглеродные соединения	<i>C, F, Na, Al, Ca, Fe, Mg, Si, K, Cl, Ni, S</i>	$29,8 \pm 2,3$	$16,0 \pm 2,5$
Частицы других смесей и соединений	<i>Fe, F, O, C, Si, Al, Na, Ca, K, Mg, Cl, Cr, Fe, Zn, S</i>	$3,8 \pm 1,0$	$6,3 \pm 1,7$

Примечание. Курсивом выделены основные элементы в соответствующих группах частиц.

Исследованные пылевые частицы имели кристаллическую или сферическую форму разного происхождения: аэрозоль де-зинтеграции и аэрозоль конденсации. В пылевых частицах ос-новными компонентами являются фтор, углерод, алюминий, на-трий, кислород, а также примеси магния, железа, кремния, серы, никеля и хрома. Состав химических элементов в идентифициро-ванных группах смесей с наличием примесей тяжёлых металлов был различен и специфичен для применяемых технологий. Этот факт требует детального анализа персональной экспозиции ра-ботников, контактирующих с тяжёлыми металлами, содержащи-мися в пылевых частицах. Последствия влияния таких сложных комбинированных смесей, их сочетанного действия на организм могут иметь выраженные негативные эффекты, что представля-ется важным при адекватном анализе экспозиции и персонали-зированной оценке риска для здоровья работников, занятых в производстве алюминия.

Заключение

Гигиеническая оценка условий труда на современном производстве алюминия показала, что на основных рабочих местах при ТСА они характеризуются средним или высоким профессиональным риском, а при ТПОА – малым или сред-ним риском. Несмотря на проводимую модернизацию дей-ствующих предприятий и внедрение современных технологий получения алюминия с использованием предварительно обо-женных анодов, содержание ведущего вредного производ-ственного фактора – фтористого водорода в воздухе рабочей зоны – остаётся высоким, что делает актуальной проблему дальнейшего совершенствования инженерных решений по удалению загрязнения воздуха от производственного обо-рудования и из помещений. Образующийся в процессе про-изводства аэрозоль представляет собой сложную неоднород-ную смесь разной химической природы в виде отдельных или собранных в агломераты микро- и наноструктурированных частиц, содержащих фтор, углерод, алюминий, натрий, кис-лород, а также железо, серу, хром, никель и кремний, гигие-нические последствия воздействия которых на сегодняшний день мало изучены, что требует проведения детального анали-за персональной экспозиции вредных веществ для корректной оценки риска здоровью работников.

Финансирование. Работа выполнена в рамках средств, выделяемых для выполнения государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

(пп. 9, 11–14, 16, 19, 21, 27, 28 см. References)

1. Чеботарев А.Г., Прохоров В.А. Условия труда и профессиональная заболеваемость рабочих предприятий по производству алюминия. *Медицина труда и промышленная экология*. 2009; 2: 5–9.
2. Рослый О.Ф., Лихачева Е.И., ред. *Медицина труда при электролитическом получении алюминия*. Екатеринбург: Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий; 2011.
3. Калинина О.Л., Лакхман О.Л., Зобнин Ю.В. Оценка условий труда рабочих основных профессий современного алюминиевого производства. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2012; 6: 122–26.
4. Рослый О.Ф., Гурвич В.Б., Плотно Э.Г., Кузьмин С.В., Федорук А.А., Рослая Н.А. и др. Актуальные вопросы гигиены в алюминиевой промышленности России. *Медицина труда и промышленная экология*. 2012; 11: 8–12.
5. Чеботарев А.Г., Дурягин И.Н. Условия труда, риск развития профессиональных заболеваний у работников предприятий алюминиевой промышленности. *Металлург*. 2013; 8: 4–7.
6. Рослый О.Ф., Плотно Э.Г., Федорук А.А., Слышкина Т.В. Приоритетные факторы профессионального риска при электролизе алюминия. *Здоровье населения и среда обитания*. 2013; 9: 19–21.
7. Боденкова Г.М., Тимофеева С.С., Мещак Н.М., Боклаженко Е.В. *Условия труда и профессиональные риски нарушений здоровья у работников алюминиевой промышленности*. Иркутск: Изд-во РИНИ-ТУ; 2015.
8. Сюрин С.А. Состояние здоровья работников алюминиевой промышленности Европейского Севера России. *Гигиена и санитария*. 2015; 1: 68–72.
9. Кондрик Е.К., Сергеева Н.Л., Кавызина Л.И. Эколого-гигиенические проблемы алюминиевых заводов (обзор). *Гигиена и санитария*. 1993; 8: 7–11.
10. Дампилов Ж.В. Влияние производства алюминия в России на окружающую среду. *Вестник Чувашского университета*. 2008; 3: 349–54.
11. Жуков Е.И., Коростовенко В.В., Шахрай С.Г., Кондратьев В.В. Санитарно-гигиеническая оценка воздуха рабочей зоны корпуса производства алюминия, оснащенного электролизёрами с предварительно обожженными анодами. *Экология и промышленность России*. 2012; 5: 9–11.
12. Захаренков В.В., Олещенко А.М., Суржиков Д.В., Данилов И.П., Кислицына В.В., Корсакова Т.Г. Определение вероятности нанесения ущерба здоровью работников алюминиевой промышленности в результате воздействия токсичных веществ. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*. 2013; 3-2: 75–8.
13. Шайхметов С.Ф., Лисецкая Л.Г., Меринов А.В. Оценка токсико-пылевого фактора в производстве алюминия (аналитический обзор). *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; 4: 30–5.
14. Бородин Г.А. Гигиеническая оценка современных технологий получения алюминия и кремния. *Сибирский медицинский журнал*. 2009; 3: 122–24.
15. Рослый О.Ф., Федорук А.А., Слышкина Т.В., Устьянцев С.Л. Предварительная оценка профессионального риска для здоровья работающих на сверхмощных ёах алюминия. *Уральский медицинский журнал*. 2011; 9: 9–12.
16. Чеботарев А.Г., Дурягин И.Н. Оздоровление условий труда - важная задача по сохранению здоровья работников алюминиевых заводов. *Металлург*. 2017; 10: 9–12.
17. Федорук А.А., Рослый О.Ф., Цепилов Н.А., Слышкина Т.В. Гигиеническая характеристика условий труда при эксплуатации современных электролизёров повышенной мощности. *Уральский медицинский журнал*. 2008; 8: 139–43.
18. Федорук А.А., Рослый О.Ф., Слышкина Т.В., Плотно Э.Г., Лемасев М.Ф. Актуальные вопросы гигиены труда при эксплуатации сверхмощных электролизёров для получения алюминия. *Медицина труда и промышленная экология*. 2012; 11: 13–7.
19. Онищенко Г.Г. Организация надзора за оборотом наноматериалов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека. *Гигиена и санитария*. 2011; 2: 4–9.
20. Уланова Т.С., Антипова М.В., Забиров М.И., Волкова М.В. Определение частиц нанодиапазона в воздухе рабочей зоны металлургического производства. *Анализ риска здоровью*. 2015; 1: 77–81.

References

1. Tchegotaryov A.G., Prokhorov V.A. Work conditions and occupational morbidity in workers of aluminium production enterprises. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2009; 2: 5–9. (in Russian)
2. Rosly O.F., Likhacheva Ye.L., eds. *Medicine of labor for electrolytic aluminum production. [Meditsina truda pri elektroliticheskom polucheni alyuminiya]*. Ekaterinburg: Ekaterinburgskiy meditsinskiy nauchnyy tsentr profilaktiki i okhrany zdorov'ya rabochikh prompredpriyatiy; 2011. (in Russian)
3. Kalina O.L., Lakhman O.L., Zobnin Yu.V. Evaluation of the working conditions of the main occupations of the modern aluminic production. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Irkutsk)*. 2012; 6: 122–26. (in Russian)
4. Rosly O.F., Gurvich V.B., Plotko E.G., Kuzmin S.V., Fedoruk A.A., Roslaya N.A. et al. Emerging issues concerning hygiene in the Russian

- aluminum industry. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2012; 11: 8–12. (in Russian)
5. Chebotarev A.G., Duryagin I.N. Working conditions, risk of development of occupational diseases among employees of enterprises of the aluminum industry. *Metallurg*. 2013; 8: 4–7. (in Russian)
6. Rosly O.F., Plotko E.G., Fedoruk A.A., Slyshkina T.V. Priority factors of occupational risk under the conditions of aluminum electrolysis. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2013; 9: 19–21. (in Russian)
7. Bodienkova G.M., Timofeeva S.S., Meshchakova N.M., Boklachenko E.V. *Working conditions and professional risks of health disorders in workers of the aluminum industry. [Usloviya truda i professional'nye riski narusheniy zdorov'ya u rabotnikov alyuminievoy promyshlennosti]*. Irkutsk: Izd-vo RINITU; 2015. (in Russian)
8. Syurin S.A. Health state of aluminum industry workers in the European North of Russia. *Gigiena i sanitariya*. 2015; 1: 68–72. (in Russian)
9. Shaaban L.H., Zayet H.H., Aboufaddan H.H., Elghazally S.A. Respiratory hazards: clinical and functional assessment in aluminum industry workers. *Egyptian Journal of Chest Diseases and Tuberculosis*. 2016; 65(2): 537–43. Doi: 10.1016/j.ejcd.2016.01.004.
10. Kondrik E.K., Sergeeva N.L., Kavyzina L.I. Ecologic and hygienic problems of aluminum factories. *Gigiena i sanitariya*. 1993; 8: 7–11. (in Russian)
11. Benke G., Abramson M., Sim M. Exposures in the alumina and primary aluminium industry: An historical review. *Annals of Occupational Hygiene*. 1998; 42(3): 173–89. Doi: 10.1093/annhyg/42.3.173.
12. Seixas N.S., Cohen M., Zevenbergen B., Cotey M., Carter S., Kaufman J. Urinary fluoride as an exposure index in aluminum smelting. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 2000; 61(1): 89–94. Doi: 10.1080/15298660008984520.
13. Sim M., Benke G. World at work: hazards and controls in aluminium potrooms. *Occup Environ Med*. 2003; 60(12): 989–92.
14. Jelinic J.D., Nola I.A., Udovicic R., Ostojic D., Zuskin E. Exposure to chemical agents in aluminium potrooms. *Med Lav*. 2007; 98: 407–14.
15. Dampilon Z.V. Influence of aluminium production in Russia on the environment. *Vestnik Chuvashskogo universiteta*. 2008; 3: 349–54. (in Russian)
16. Dando N., Xu W., Peace J.N. Continuous measurement of peak hydrogen fluoride exposures in aluminum smelter potrooms: instrument development and in-plant evaluation. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2008; 5: 67–74. Doi: 10.1080/15459620701789884.
17. Zhoukov E.I., Korostovenko V.V., Shakhrai S.G., Kondratiev V.V. Sanitary-hygienic assessment of working zones air in the aluminum production building equipped by electrolyzers with pre-baked anodes. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2012; 5: 9–11. (in Russian)
18. Zakharenkov V.V., Oleshchenko A.M., Surzhikov D.V., Danilov I.P., Kislytsyna V.V., Korsakova T.G. Determination of the probability of the damage to the health of workers in aluminium production due to the exposure to toxic substances. *Byulleten' VSNTs SO RAMN*. 2013; 3-2: 75–8. (in Russian)
19. Susheela A.K., Mondal N.K., Singh A. Exposure to Fluoride in Smelter Workers in a Primary Aluminum Industry in India. *International journal of occupational and environmental medicine*. 2013; 4: 61–72.
20. Shayakhmetov S.F., Lisetskaya L.G., Merinov A.V. Evaluation of toxic dust factor in aluminium production (analytic review). *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2015; 4: 30–5. (in Russian)
21. Zhang Y., Sun M., Hong J., Han X., He J., Shi W. Environmental footprint of aluminum production in China. *Journal of Cleaner Production*. 2016; 133: 1242–51. Doi: 10.1016/j.jclepro.2016.04.137.
22. Borodina G.A. Hygienic estimation of modern technologies of obtaining aluminum and silicon. *Sibirskiy medicinskiy zhurnal*. 2009; 3: 122–24. (in Russian)
23. Rosly O.F., Fedoruk A.A., Slyshkina T.V., Ustiansev S.L. Evaluation of occupational risks for health of workers in the production of electrolysis of aluminium. *Ural'skiy medicinskiy zhurnal*. 2011; 9: 9–12. (in Russian)
24. Chebotarev A.G., Duryagin I.N. Improvement of working conditions is important task to preserve health of employees of aluminum plants. *Metallurg*. 2017; 10: 9–12. (in Russian)
25. Fedoruk A.A., Rosly O.F., Tsepilov N.A., Slyshkina T.V. Hygienic characteristics of working conditions in the operation of modern electrolytic cells high power. *Ural'skiy medicinskiy zhurnal*. 2008; 8: 139–43. (in Russian)
26. Fedoruk A.A., Rosly O.F., Slyshkina T.V., Plotko E.G., Lemyasev M.F. Issues of occupational health in the aluminium plant with superpower equipment. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2012; 11: 13–7. (in Russian)
27. Tabereaux A.T., Peterson R.D. Aluminum Production. In: Seetharaman S., ed. *Treatise on Process Metallurgy: Vol. 3. Industrial Processes*. Amsterdam: Elsevier; 2014: 839–917.
28. Hoet P.M., Bruske-Hohlfeld I., Salata O.V. Nanoparticles – known and unknown health risks. *Journal of Nanobiotechnology*. 2004; 2: 12. Doi: 10.1186/1477-3155-2-12.
29. Onishchenko G.G. Organizing the supervision over the turnover of nanomaterials presenting a potential hazard to human health. *Gigiena i sanitariya*. 2011; 2: 4–9. (in Russian)
30. Ulanova T.S., Antipova M.V., Zabirova M.I., Volkova M.V. Determination of nanoscale particles in the air of working zone at the metallurgical production. *Analiz riska zdorov'yu*. 2015; 1: 77–81. (in Russian)

Поступила 12.07.2018
Принята к печати 18.10.2018