

Оценка экспозиционных нагрузок химическими веществами у работников основных профессий алюминиевого производства Восточной Сибири

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», мкрн 12а, 3, Иркутская обл., г. Ангарск, Россия, 665827

Введение. В производстве алюминия одним из основных неблагоприятных факторов является загрязнение воздуха рабочей зоны фторсодержащими соединениями и пылегазоаэрозольной смесью, воздействие которых может приводить к нарушениям здоровья у работающих. При установлении связи заболеваемости с профессией важным является проведение оценки экспозиционных нагрузок вредными веществами. Данный аспект исследований в алюминиевой промышленности недостаточно освещен в литературе.

Цель исследования — количественная оценка экспозиционных нагрузок приоритетными токсикантами у работников основных профессий алюминиевого производства в зависимости от применяемых технологий электролиза алюминия.

Материалы и методы. Экспозиционные нагрузки (ЭН) химическими веществами у работников алюминиевого производства рассчитывались с учетом данных многолетней оценки воздуха рабочей зоны на содержание основных вредных веществ при технологии самообжигающихся анодов (ТСА) и модернизированной — с применением технологии предварительно обожженных анодов (ТПОА).

Результаты. Установлено, что при использовании традиционной технологии электролиза (ТСА) среднегодовые показатели ЭН в профессиях электролизника, анодчика и машиниста крана заметно колебались в динамике многолетнего наблюдения, превышая показатели контрольных ЭН. Выявлено, что модернизированная технология электролиза (ТПОА) позволяет снизить показатели ЭН химическими веществами, за исключением гидрофторида — одного из приоритетных компонентов химического фактора. Показатели фактических ЭН гидрофторидом в профессиональных группах не зависели от применяемых технологий электролиза и, по-прежнему, превышали показатели контрольных ЭН.

Выводы. Расчеты ЭН вредными веществами в производстве алюминия показали, что при использовании ТСА наибольшие ЭН, превышающие контрольные показатели, испытывают электролизники и анодчики, а наименьшие — машинисты крана. Переход на модернизированную ТПОА приводит к снижению показателей ЭН, за исключением гидрофторида — приоритетного компонента химического фактора.

Ключевые слова: производство алюминия; воздух рабочей зоны; экспозиционные нагрузки химическими веществами

Для цитирования: Мешакова Н.М., Меринов А.В., Шаяхметов С.Ф., Лисецкая Л.Г. Оценка экспозиционных нагрузок химическими веществами у работников основных профессий алюминиевого производства Восточной Сибири. Мед. труда и пром. экол. 2019; 59 (7). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-7-406-411>

Для корреспонденции: Мешакова Нина Михайловна, ст. науч. сотр. лаб. эколого-гигиенических исследований ФГБНУ «ВСИМЭИ», д-р мед. наук, доц. E-mail: nina.meschakova@yandex.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Nina M. Meshchakova, Alexey V. Merinov, Salim F. Shayakhmetov, Lyudmila G. Lisetskaya

Assessment of exposure loads of chemicals in workers of the main professions of aluminum production in Eastern Siberia

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 3, microdistrict 12a, Angarsk, Russia, 665827

Introduction. In the production of aluminum, one of the main adverse factors is the air pollution of the working area with fluorine-containing compounds and dust-gas-aerosol mixture, the impact of which can lead to health problems in workers. When establishing the connection of morbidity with the profession, it is important to assess the exposure loads of harmful substances. This aspect of research in the aluminum industry is not sufficiently covered in the literature.

The aim of the study is to quantify the exposure loads of priority toxicants in workers of the main professions of aluminum production, depending on the applied technologies of aluminum electrolysis.

Materials and methods. Exposure loads (EL) of chemicals at workers of aluminum production were calculated taking into account the data of a long-term assessment of the working area air for the content of the main harmful substances in workshops with technology of self-baking anode (TSA) and modernized using technology of prebaked anode (TPA).

Results. It has been established that with the use of the traditional electrolysis technology (TSA), the average annual EL indicators in the professions of the electrolysis cell, anodechik and crane operators fluctuated noticeably in the dynamics of long-term observation, exceeding the indicators of the control EL. It is shown that the modernized electrolysis technology (TPA) allows to reduce the EL indicators of chemicals, with the exception of hydrofluoride — one of the priority components of the chemical factor. The actual EL indicators of this substance in the professional groups did not depend on the applied electrolysis technology and, as before, exceeded the EL control indicators.

Conclusions: Calculations of EL by harmful substances in the production of aluminum have shown that when using TSA, electrolysis cells and anodes experience the greatest EL, exceeding control indicators, and the lowest — crane operators. The transition to

a modernized TPA leads to a decrease in the EL indicators, with the exception of the hydrofluoride, a priority component of the chemical factor.

Key words: aluminum production; working area air; exposure loads of chemical substances

For citation: Meshchakova N.M., Merinov A.V., Shayakhmetov S.F., Lisetskaya L.G. Assessment of exposure loads of chemicals in workers of the main professions of aluminum production in Eastern Siberia. *Med truda i prom. ekol.* 2019; 59 (7). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-7-406-411>

For correspondence: Nina M. Meshchakova, PhD, Dr. Sci. (Med.), East Siberian Institute of medico-ecological researches. E-mail: nina.meschakova@yandex.ru.

Funding: The study had no funding.

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interests.

Введение. Алюминиевая промышленность является одной из ключевых и перспективных отраслей цветной металлургии Восточной Сибири, где в настоящее время функционируют крупнейшие предприятия отрасли. Из осуществляемых технологических процессов в производстве алюминия наиболее массовым и неблагоприятным с гигиенических позиций является процесс электролиза алюминия, представляющий собой электролитическое разложение глинозема (Al_2O_3), растворенного в электролите (расплавленный криолит — Na_3AlF_6 с различными солевыми добавками (AlF_3 , NaF , CaF_2 и др.), при высокой температуре (950–965 °С) и силе постоянного тока от 30 до 350 кА).

Несмотря на внедряемые мероприятия по экологической безопасности в отрасли, модернизацию процесса электролиза, условия труда в производстве алюминия до настоящего времени характеризуются комплексом неблагоприятных производственных факторов. Обширные исследования отечественных и зарубежных авторов свидетельствуют о значительном загрязнении воздуха рабочей зоны электролизных цехов пылегазоаэрозольной смесью, включающей гидрофторид, фториды, смолистые вещества, полициклические углеводороды и др., воздействие которых способно приводить к существенным нарушениям в состоянии здоровья работающих [1–9]. В этой связи, при изучении профессиональных рисков у работников алюминиевых производств, установлении связи заболеваемости с профессией важным является оценка экспозиционных нагрузок вредными веществами у работающих (т. е. получаемых доз или концентраций веществ за определенный период экспозиции). Данный аспект исследований в алюминиевой промышленности недостаточно освещен в литературе, имеются лишь отдельные исследования, касающиеся определения фтористых нагрузок для расчета вероятности сроков возникновения флюороза [10,11]. Указанные обстоятельства стали причиной проведения данных исследований.

Цель исследования — количественная оценка экспозиционных нагрузок приоритетными токсикантами у работников основных профессий алюминиевого производства в зависимости от используемых технологий электролиза алюминия.

Материалы и методы. Объектами исследований являлись электролизные цехи Иркутского алюминиевого завода. Экспозиционные нагрузки (ЭН) химическими веществами рассчитывались на основе многолетней ретроспективной оценки воздуха рабочей зоны электролизных цехов на содержание основных химических веществ. Оценка воздушной среды выполнялась по данным ведомственной химико-аналитической лаборатории предприятия и результатам собственных исследований. Определение гидрофторида ($\text{ПДК}_{\text{ср}}$ 0,1 мг/м³), нерастворимых фторидов ($\text{ПДК}_{\text{ср}}$ 0,5 мг/м³), триоксида диалюминия ($\text{ПДК}_{\text{ср}}$ 6,0 мг/м³) и возгонов каменноугольных смол и пеков ($\text{ПДК}_{\text{ср}}$ возгонов — 0,2 мг/м³ по среднему содержанию бензпирена

менее 0,075%) в воздухе рабочей зоны проводилось фотометрическим методом [12–15].

При использовании технологии самообжигающихся анодов (ТСА) ЭН рассчитывались за длительный период времени (с 2001 по 2015 гг.) применительно к основным профессиональным группам работников (электролизники, анодники, машинисты крана). При модернизированной технологии электролиза с применением предварительно обожженных анодов (ТПОА) расчет ЭН выполнялся за период с 2010 по 2015 гг. (когда была внедрена эта технология) применительно к двум профессиям — операторам по обслуживанию электролизных ванн и операторам по обслуживанию кранов (профессия анодника при модернизированной технологии электролиза устранена). Исследования выполнялись на основе и методических рекомендаций, разработанных авторами [16–18]. Расчеты ЭН (фактических и контрольных) проводились в соответствии с Р 2.2.2006.05¹ с учетом объема легочной вентиляции в зависимости от категории тяжести труда, с использованием следующих формул:

$$\text{ЭН}_\text{ф} = \text{С} \times \text{Q} \times \text{N} / 1000 \text{ (г)} \quad (1);$$

$$\text{ЭН}_\text{к} = \text{ПДК}_{\text{ср}} \times \text{Q} \times \text{N} / 1000 \text{ (г)} \quad (2),$$

где: $\text{ЭН}_\text{ф}$ — фактическая экспозиционная нагрузка, г; $\text{ЭН}_\text{к}$ — контрольная экспозиционная нагрузка, г; С — средняя среднесменная концентрация химического вещества, мг/м³; Q — объем вдыхаемого воздуха за смену (легочная вентиляция, м³); N — число рабочих смен в году; $\text{ПДК}_{\text{ср}}$ — предельно-допустимая среднесменная концентрация химического вещества, мг/м³.

Показатель легочной вентиляции для расчета ЭН принимался в зависимости от уровня энерготрат согласно СанПиН 2.2.4.3359-16². При использовании ТСА для профессий электролизника и анодника, у которых труд связан с постоянными передвижениями, периодическим подъемом тяжестей свыше 10 кг (категория работ III), он был равен 10 м³, а при использовании модернизированной ТПОА для операторов по обслуживанию электролизных ванн, у которых труд связан с ходьбой, периодическим перемещением тяжестей до 5 кг и сопровождается умеренным физическим напряжением (категория работ IIб), — 7 м³; для машинистов крана и оператора по обслуживанию кранов при обеих технологиях электролиза, у которых работа осуществляется в положении сидя и связана с незначительным физическим напряжением (категория работ Ia), — 4 м³.

Статистическая обработка данных проведена с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.1. Межгрупповое сравнение количественных показателей осуществлялось с использованием непараметрического

¹ 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.

² СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах». М., МЗ России; 2016.

критерия Манна-Уитни и t-критерия Стьюдента для независимых выборок. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Результаты представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки.

Результаты. В электролизных цехах Иркутского алюминиевого завода при использовании ТСА основными профессиями являются: электролизник, анодчик, машинист крана. Электролизник осуществляет обслуживание электролизных ванн, выполняя различные операции: пробивку вручную корок электролита над расплавом, обрубку гарнисажей, гартование, подсыпку глинозема. Анодчик осуществляет загрузку анодной массы, перестановку штырей, обдувку оборудования. Машинист крана работает в кабине, управляя краном при различных грузоподъемных и транспортных операциях.

При использовании модернизированной ТПОА основными профессиями являются операторы автоматизированного процесса производства алюминия по обслуживанию электролизных ванн и операторы по обслуживанию крана. Операторы по обслуживанию электролизных ванн выполняют такие механизированные операции, как укрытие анодов, подсыпка глинозема, перетяжка анодных рам, замена анодов, выливка металла. Операторы по обслуживанию кранов выполняют те же операции, что и машинисты кранов, работающие при использовании ТСА.

Анализ многолетних данных, касающихся содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны электролизных цехов, показал, что наиболее существенный вклад в загрязнение воздушной среды производства вносят фторсодержащие соединения, диалюминий триоксид, возгоны смол и пеков. При использовании ТСА среднесменные концентрации на рабочих местах основных профессий колебались по гидрофториду в пределах от 0,16 до 0,25 мг/м³ по нерастворимым фторидам — от 0,24 до 0,66 мг/м³, по диалюминию триоксиду — от 3,4 до 5,4 мг/м³, возгонам смол и пеку — от 0,17 до 0,25 мг/м³. При модернизированной

ТПОА уровни загрязнения воздуха вредными веществами были существенно ниже, чем при использовании ТСА (по большинству веществ — в пределах ПДК и ниже). Исключением являлся гидрофторид, концентрации которого не зависели от применяемых технологий электролиза и в течение всего периода наблюдения превышали допустимый уровень в среднем в 1,5–3 раза [7].

Следует отметить, что, помимо снижения концентраций большинства химических веществ в воздухе рабочей зоны, модернизированная ТПОА позволила снизить уровни шумо-вибрационного фактора, сократить долю ручного труда. Однако она не привела к нормализации показателей микроклимата, снижению уровней постоянных магнитных полей (ПМП), что, очевидно, связано с высокой мощностью новых электролизеров и недостаточной их теплоизоляцией [3,7].

В табл. 1 представлена динамика среднегодовых показателей ЭН химическими веществами по трем пятилетним периодам наблюдения при использовании ТСА. Установлено, что у электролизников показатели ЭН по гидрофториду статистически значимо повышались к 3-му пятилетнему периоду, а по триоксиду диалюминия отмечалась тенденция к снижению ЭН. По нерастворимым фторидам показатели в динамике наблюдения находились практически на одном уровне. Вместе с тем по возгонам смол и пеков показатели ЭН статистически значимо повышались во 2-й пятилетний период ($p < 0,05$), после чего незначительно снижались.

У анодчиков показатели ЭН по гидрофториду в течение всех периодов наблюдения находились практически на одном уровне, а по нерастворимым фторидам отмечалось их статистически значимое снижение ко 2-му периоду наблюдений. В то же время, по триоксиду диалюминия и возгонам смол и пеков показатели ЭН статистически значимо повышались к 3-му периоду наблюдений.

У машинистов крана показатели ЭН по гидрофториду, триоксиду диалюминия статистически значимо возраста-

Таблица 1 / Table 1

Показатели среднегодовых экспозиционных нагрузок (ЭН) химическими веществами (г/год) у работников основных профессий по пятилетним периодам при использовании технологии ТСА, ($M \pm m$)
Indicators average annual exposure loads (EL) chemical substances (g/year) of workers of the main occupations for the five-year periods when using TSA, ($M \pm m$)

Химическое вещество	Годы		
	2001–2005 (I)	2006–2010 (II)	2011–2015 (III)
Электролизник			
Гидрофторид	0,40±0,01	0,37±0,07	0,56±0,05*
Фториды нерастворимые	0,99±0,23	1,4±0,4	1,3±0,2
Триоксид диалюминия	9,4±0,9	10,0±1,1	8,1±0,3
Возгоны смол и пеков	0,33±0,11	0,76±0,15*	0,53±0,07
Анодчик			
Гидрофторид	0,42±0,03	0,41±0,08	0,37±0,06
Фториды нерастворимые	1,4±0,04	0,69±0,12*	1,1±0,34
Триоксид диалюминия	8,8±0,6	14,4±4,1	11,0±0,5*
Возгоны смол и пеков	0,30±0,04	0,55±0,17	0,52±0,06*
Машинист крана			
Гидрофторид	0,19±0,02	0,31±0,04*	0,18±0,02
Фториды нерастворимые	0,53±0,06	0,36±0,02*	0,30±0,05*
Триоксид диалюминия	3,5±0,3	4,8±0,3*	4,9±0,2*
Возгоны смол и пеков	0,11±0,01	0,18±0,03	0,21±0,04

Примечание: * — достоверно значимые различия в показателях по сравнению с первым пятилетним периодом при $p < 0,05$.

Note: * significant differences in performance compared to the first five-year period at $p < 0.05$.

ли в динамике наблюдений ($p < 0,05$), а по возгонам смол и пеков наблюдалась тенденция к их повышению. По нерастворимым фторидам установлено статистически значимое снижение показателей ЭН ($p < 0,05$).

В табл. 2 отражены результаты сравнительной оценки показателей ЭН при использовании разных технологий электролиза за пятилетний период (2010–2014 гг.), когда была внедрена модернизированная ТПОА. Показано, что среднегодовые значения ЭН нерастворимыми фторидами, триоксидом диалюминия и возгонами смол и пеков у операторов по обслуживанию электролизных ванн при использовании модернизированной ТПОА были статистически значимо ниже, чем у электролизников, работающих с использованием ТСА. Однако относительно фтористого водорода не выявлено статистически значимых различий в показателях ЭН, хотя и наблюдалась тенденция к их снижению при использовании ТПОА.

У операторов по обслуживанию кранов при ТПОА среднегодовые ЭН за указанный период по гидрофториду, триоксиду диалюминия и возгонам смол и пеков были статистически значимо ниже, чем у машинистов крана при использовании ТСА, однако по нерастворимым фторидам наблюдалась лишь тенденция к снижению данных показателей.

В табл. 3 представлены показатели среднегодовых фактических и контрольных ЭН химическими веществами за 5-летний период при использовании ТСА и ТПОА. Установлено, что при использовании ТСА у работников всех профессиональных групп показатели фактических ЭН по гидрофториду были выше контрольной в 1,7–2,9 раза. У электролизников, помимо этого, наблюдалось превышение фактической ЭН по отношению к контрольной группе в 1,3 раза и по возгонам смол и пеков. По нерастворимым фторидам и триоксиду диалюминия сравниваемые показатели в профессиональных группах были либо на одном уровне с контрольными ЭН, либо ниже их.

При использовании модернизированной ТПОА у операторов по обслуживанию ванн и операторов по обслуживанию кранов фактические показатели ЭН по нерастворимым фторидам, триоксиду диалюминия и возгонам смол и пеков были ниже контрольных в 1,4–9 раз. Однако следует отметить, что по гидрофториду фактические ЭН у операторов указанных профессий продолжали оставаться выше контрольных в 1,8–2,9 раза.

Обсуждение. Таким образом, традиционная технология (ТСА) сопровождается значительным загрязнением воздуха рабочей зоны вредными веществами. Внедрение модернизированной ТПОА с оснащением электролизе-

Таблица 2 / Table 2

Сравнительная оценка показателей ЭН химическими веществами (г/год) в профессиональных группах при использовании ТСА и ТПОА (2010–2014 гг.)

Comparative performance evaluation of EL of chemical substances (g/year) in professional groups when using TSA and TPA (2010–2014)

Химическое вещество	Электролизник (ТСА)	Оператор по обслуживанию ванн (ТПОА)	Машинист крана (ТСА)	Оператор по обслуживанию крана (ТПОА)
Гидрофторид	$0,54 \pm 0,06$ 2,7	$0,38 \pm 0,03$ 1,9	$0,18 \pm 0,01$ 0,88	$0,16 \pm 0,02$ 0,78
Фториды нерастворимые	$1,7 \pm 0,3$ 8,3	$0,46 \pm 0,10^*$ 2,3	$0,35 \pm 0,02$ 1,7	$0,09 \pm 0,01^*$ 0,47
Триоксид диалюминия	$8,4 \pm 0,1$ 41,9	$3,0 \pm 0,7^*$ 15,1	$4,9 \pm 0,2$ 24,3	$2,6 \pm 0,4^*$ 12,8
Возгоны смол и пеков	$0,61 \pm 0,1$ 3,0	$0,08 \pm 0,01^*$ 0,42	$0,18 \pm 0,03$ 0,9	$0,02 \pm 0,01^*$ 0,12

Примечания: числитель — среднегодовые ЭН (г/год) ($M \pm m$); знаменатель — суммарные ЭН (г); * — различия статистически значимы при $p < 0,05$.

Notes: numerator — mean annual EL (g/year) ($M \pm m$); denominator — total EL (g); * — differences are statistically significant at $p < 0.05$.

Таблица 3 / Table 3

Показатели среднегодовых фактических и контрольных ЭН химическими веществами (г), при использовании ТСА и ТПОА

Indicators of average annual actual and control EL chemicals (g), using TSA and TPA

Профессия	Экспозиционные нагрузки, г/год							
	Гидрофторид		Фториды нерастворимые		Триоксид диалюминия		Возгоны смол и пеков	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Технология сомообжигающихся анодов (ТСА)								
Электролизник	0,24	0,54	1,2	1,7	14,6	8,4	0,49	0,61
Анодчик	0,22	0,37	1,1	0,78	13,5	10,3	0,45	0,45
Машинист крана	0,09	0,18	0,45	0,35	5,4	4,9	0,18	0,18
Технология предварительно обожженных анодов (ТПОА)								
Оператор по обслуживанию ванн	0,13	0,38	0,64	0,46	7,7	3,0	0,26	0,08
Оператор по обслуживанию кранов	0,09	0,16	0,45	0,09	5,4	2,6	0,18	0,02

Примечания: 1 — ЭН_{контрольная}; 2 — ЭН_{фактическая}.

Notes: 1 — EL_{control}; 2 — EL_{actual}.

ров более совершенными укрытиями пылегазоотсосов, позволяет не только улучшить технологические параметры электролиза, но и снизить загрязнение воздуха рабочей зоны токсичными соединениями. Исключением является гидрофторид, концентрации которого в воздухе рабочей зоны не зависели от применяемых технологий, на что указывают результаты ранее проведенных нами исследований, а также данные других авторов [3,4,7]. Этот факт подтверждают и результаты настоящего исследования, указывающего на существенное снижение ЭН вредными веществами при переходе на модернизированную технологию электролиза алюминия, за исключением гидрофторида, по которому показатели ЭН не зависели от применяемых технологий и по-прежнему превышали контрольный уровень. Таким образом, модернизированная технология электролиза алюминия не обеспечивает радикального снижения в воздухе рабочей гидрофторида-ведущего вредного компонента химического фактора, что делает актуальной проблему дальнейшего совершенствования инженерных решений по эффективному снижению концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Полученные результаты по оценке ЭН вредными веществами в дальнейших исследованиях позволят более объективно оценивать профессиональные риски у работающих для установления связи заболеваемости с профессией и разработки эффективных мер по оптимизации условий труда и сохранению здоровья работающих.

Выводы:

1. Расчеты ЭН токсикантами в производстве алюминия за длительный период наблюдений при традиционной ТСА показали, что наибольшие ЭН испытывают электролизники и анодчики. Самые низкие показатели ЭН отмечались у крановщиков, у которых наблюдалась и постепенная тенденция к их снижению в течение многолетнего периода наблюдений.
2. Переход на новую модернизированную технологию электролиза алюминия с предварительно обожженными анодами (ТПОА) приводит к значительному снижению показателей ЭН вредными веществами, за исключением гидрофторида, одного из основных загрязнителей воздуха рабочей зоны, показатели ЭН которого не зависели от используемых технологий электролиза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Измеров Н.Ф., Бухтияров И.В., Прокопенко Л.В., Кузьмина Л.П., Соркина Н.С., Бурмистрова Т.Б. и др. Современные аспекты сохранения и укрепления здоровья работников, занятых на предприятиях по производству алюминия. *Мед. труда и пром. экол.* 2012; 11: 1–7.
3. Федорук А.А., Рослый О.Ф., Слышкина Т.В., Плотнок Э.Г., Лемасев Л.Ф. Актуальные вопросы гигиены труда при эксплуатации сверхмощных электролизеров для получения алюминия. *Мед. труда и пром. экол.* 2012; 11: 13–7.
4. Калинина О.А., Лахман О.А., Зобнин Ю.В. Оценка условий труда основных профессий современного алюминиевого производства. *Сибирский медицинский журнал*. 2012; 6: 122–26.
5. Рослый О.Ф., Гурвич В.Б., Плотнок Э.Г., Кузьмин С.В., Федорук А.А., Рослая Н.А. и др. Актуальные вопросы гигиены в алюминиевой промышленности России. *Мед. труда и пром. экол.* 2012; 11: 8–12.

6. Сюрин С.А. Состояние здоровья работников алюминиевой промышленности Европейского Севера России. *Гигиена и санитария*. 2015; 1: 58–72.

7. Шаяхметов С.Ф., Мещакоев Н.М., Лисецкая Л.Г., Меринов А.В., Журба О.М., Алексеев А.Н. и др. Гигиенические аспекты условий труда в современном производстве алюминия. *Гигиена и санитария*. 2018; 10: 899–904. DOI: 10.10821/0016-9900-2018-97-10-899-904.

8. Thomassen Y., Koch W., Dunkhorst W., Ellingsen D.G., Skaugset N.P., Jordbekken L. et al. Ultrafine particles at workplaces of a primary aluminium smelter. *J. Environ. Monit.* 2006; 8(1): 127–33 DOI 10.1039/B514939H.

9. Jelinic J.D., Nola I.A., Udovicic R., Ostojić D., Zuskin E. Exposure to chemical agents in aluminium potrooms. *Med Lav.* 2007; 98: 407–14.

10. Федорук А.А., Рослый О.Ф., Устьянцев С.А., Слышкина Т.В., Зыкова В.А., Константинов А.В. и др. Профессиональные фтористые нагрузки электролизников при использовании фторированного глинозема в электролизе алюминия. *Уральский медицинский журнал*. 2007; S11: 44–7.

11. 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 ВШНЦ СО РАМН*. 2013; 3–2: 75–8.

12. МУК 4.1.1342–03. Измерение массовой концентрации гидрофторида (фтористого водорода) в воздухе рабочей зоны фотометрическим методом. В кн.: *Измерение концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Сборник методических указаний. Выпуск 40*. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2006: 12–22.

13. МУ 2247–80. Методические указания на фотометрическое определение растворимых и нерастворимых в воде солей фтористоводородной кислоты в воздухе. В кн.: *Методические указания на определение вредных веществ в воздухе. Выпуск XVI*. М.: Министерство здравоохранения СССР; 1980: 169–76.

14. МУ 3110–84. Методические указания по раздельному фотометрическому измерению концентраций магния, алюминия и их окислов в воздухе рабочей зоны. В кн.: *Методические указания по измерению вредных веществ в воздухе. Выпуск XX*. М.: Министерство здравоохранения СССР; 1984: 52–60.

15. МУ 5883–91. Методические указания по спектрометрическому измерению концентраций возгонов каменноугольных смол и пексов в воздухе рабочей зоны. В кн.: *Методические указания по измерению концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Выпуск 12 (переработанные и дополненные методические указания)*. М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора Российской Федерации; 1994: 42–3.

16. Захаренков В.В., Олещенко А.М., Данилов И.П. Автоматизированная информационная система оценки профессионального риска для здоровья работников промышленных предприятий: медицинская технология. Новокузнецк; 2013.

17. Олещенко А.М., Суржиков Д.В., Большаков В.В., Кислицына В.В. Оценка влияния производственных факторов на здоровье работающих на предприятиях угольной промышленности и теплоэнергетики: методические рекомендации. Кемерово; 2003.

18. Мещакоев Н.М., Дьякович М.П., Шаяхметов С.Ф. Оценка профессионального риска у работников химических производств с учетом экспозиционной токсической нагрузки: методические рекомендации. Иркутск: РИО НЦ РВХ СО РАМН; 2013.

REFERENCES

1. Roslyi O.F., Likhacheva Ye.L., eds. *Medicine of labor for electrolytic aluminum production*. Ekaterinburg: Ekaterinburgskiy meditsinskiy nauchnyy tsentr profilaktiki i okhrany zdorov'ya rabochikh prompredpriyatiy; 2011 (in Russian).
2. Izmerov N.F., Bukhtiyarov I.V., Prokopenko L.V., Kuzmina L.P., Sorkina N.S., Burmistrova T.B. et al. Contemporary aspects of maintenance and promotion of health of the workers employed at the aluminum production enterprises. *Med. truda i prom. ekol.* 2012; 11: 1–7 (in Russian).
3. 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. *Med. truda i prom. ekol.* 2012; 11: 13–7 (in Russian).
4. Kalinina 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: 122–6 (in Russian).
5. Rosly O.F., Gurvich V.B., Plotko E.G., Kuz'min S.V., Fedoruk A.A., Roslaya N.A. et al. Emerging issues concerning hygiene in the Russian aluminum industry. *Med. truda i prom. ekol.* 2012; 11: 8–12 (in Russian).
6. Syurin S.A. Health state of aluminum industry workers in the European North of Russia. *Gigiena i sanitariya*. 2015; 1: 68–72 (in Russian).
7. Shayakhmetov S. F., Meshchakova N.M., Lisetskaya L.G., Merinov A.V., Zhurba O.M., Alekseenko A.N. et al. Hygienic aspects of working conditions in modern aluminum production. *Gigiena i sanitariya*. 2018; 10: 899–904 DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-10-899-904 (in Russian).
8. Thomassen Y., Koch W., Dunkhorst W., Ellingsen D.G., Skaugset N.P., Jordbekken L. et al. Ultrafine particles at workplaces of a primary aluminium smelter. *J. Environ. Monit.* 2006; 8(1): 127–33 DOI: 10.1039/B514939H.
9. Jelinic J.D., Nola I.A., Udovicic R., Ostojić D., Zuskin E. Exposure to chemical agents in aluminium potrooms. *Med Lav*. 2007; 98: 407–14.
10. Fedoruk A.A., Rosly O.F., Ustiancev S.L., Slyshkina T.V., Zykova V.A., Konstantinov A.V. et al. Professional fluorine loads of electrolysis at use of fluorinated aluminum in electrolysis of aluminum. *Ural'skiy meditsinskiy zhurnal*. 2007; S11: 44–7 (in Russian).
11. Zakharenkov V.V., Oleshchenko A.M., Surzhikov D.V., Danilov I.P., Kislitsyna 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).
12. MUK 4.1.1342–03. Measurement of the mass concentration of hydrofluoride (hydrogen fluoride) in the air of the working area by the photometric method. In: *Measurement of the concentration of harmful substances in the air of the working area. Collection of guidelines. Issue 40*. Moscow: Federal'nyy tsentr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora; 2006: 12–22 (in Russian).
13. MU 2247–80. Guidelines for the photometric determination of soluble and water-insoluble salts of hydrofluoric acid in the air. In: *Guidelines for the determination of harmful substances in the air. Issue XVI*. Moscow: Ministerstvo zdravookhraneniya SSSR; 1980: 169–76 (in Russian).
14. MU 3110–84. Guidelines for the separate photometric measurement of the concentrations of magnesium, aluminum and their oxides in the air of the working area. In: *Guidelines for the measurement of harmful substances in the air. Issue XX*. Moscow: Ministerstvo zdravookhraneniya SSSR; 1984: 52–60 (in Russian).
15. MU 5883–91. Guidelines for the spectrometric measurement of the concentration of sublimates of coal tar and pitches in the air of the working area. In: *Guidelines for the measurement of concentrations of harmful substances in the air of the working area. Issue 12 (revised and updated guidelines)*. Moscow: Informatsionno-izdatel'skiy tsentr Goskomsanepidnadzora Rossiyskoy Federatsii; 1994: 42–3 (in Russian).
16. Zakharenkov V.V., Oleschenko A.M., Danilov I.P. *Automated information system for assessing occupational risks for the health of industrial workers: medical technology*. Novokuznetsk; 2013 (in Russian).
17. Oleschenko A.M., Surzhikov D.V., Bolshakov V.V., Kislitsyna V.V. *Evaluation of the influence of production factors on the health of workers at coal and heat power plants: methodological recommendations*. Kemerovo; 2003 (in Russian).
18. Meshchakova N.M., Dyakovich M.P., Shayakhmetov S.F. *Assessment of occupational risk among workers in chemical production taking into account exposure toxic load: methodical recommendations*. Irkutsk: RIO NC RWH SB RAMS; 2013 (in Russian).

Дата поступления / Received: 31.10.2018

Дата принятия к печати / Accepted: 17.04.2019

Дата публикации / Published: 24.07.2019