

© МЕРИНОВ А. В., ШАЯХМЕТОВ С. Ф., ЛИСЕЦКАЯ Л. Г., МЕЩАКОВА Н. М.

УДК 669.71:614.71

DOI: 10.20333/2500136-2019-3-78-83

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОАЭРОЗОЛЬНЫХ ВЗВЕСЕЙ В СОВРЕМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ

А. В. Меринов¹, С. Ф. Шаяхметов^{1,2}, Л. Г. Лисецкая¹, Н. М. Мешакова¹

¹Восточно-Сибирский институт медико-биологических исследований, Ангарск 665827, Российская Федерация

²Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования, Иркутск 664049, Россия

Цель исследования. Оценка содержания приоритетных токсикантов, гранулометрического и вещественного состава пылевых взвесей в воздухе рабочей зоны основных профессий электролитического производства алюминия.

Материал и методы. Были проанализированы и систематизированы многолетние данные по содержанию фтористого водорода, фторсолей, диалюминия триоксида и возгонов смол в воздухе рабочей зоны на рабочих местах в корпусах с технологией самообжигающихся анодов и технологией предварительно обожженных анодов. На электронном сканирующем микроскопе с приставкой для энергодисперсионного рентгеновского микроанализа была проведена оценка размеров 7340 частиц; также для 613 частиц был проведен их элементный анализ.

Результаты. Использование технологии предварительно обожженных анодов приводит к снижению концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны до уровней ПДК, за исключением фтористого водорода, содержание которого по прежнему превышает норматив в 1,7–3,0 раза. Анализ дисперсного состава пыли показал, что на рабочих местах электролизника, анодника, операторов по обслуживанию ванн и перетяжке анодных рам преобладали частицы размером 1–3 мкм (41,9 %, 42,7 %, 43,8 % и 31,8 %). В кабине машиниста крана и оператора по обслуживанию крана преобладали частицы с размером 0,5–3 мкм (69,0 %) и до 0,5 мкм (46,2 %) соответственно. Результаты исследований, показали, что подавляющее число взвешенных в воздухе алюминиевого производства пылинок, исходя из элементного состава, представляют собой частицы глинозема, криолита, фторида алюминия, фторуглеродных соединений и сажи или их смеси.

Заключение. Наибольший вклад в загрязнение воздушной среды в производстве алюминия вносят фтористые соединения, возгоны смол и диалюминий триоксид. Аэрозоль алюминиевого производства состоит из отдельных или собранных в агломераты пылинок с прилипшими к ним частицами нанодисперсного размера. Основными типичными элементами в них являются фтор, углерод, алюминий, натрий и кислород. В пробах пыли также идентифицировались железо, кремний, никель, сера и хром.

Ключевые слова: производство алюминия, воздух рабочей зоны, химических фактор, взвешенные частицы, электронная микроскопия, фракционный состав.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Меринов АВ, Шаяхметов СФ, Лисецкая ЛГ, Мешакова НМ. Гигиеническая характеристика газоаэрозольных взвесей в современном производстве алюминия. *Сибирское медицинское обозрение*. 2019;(3):78-83. DOI: 10.20333/2500136-2019-3-78-83

HYGIENIC CHARACTERISTICS OF GAS AEROSOL SUSPENSION IN MODERN ALUMINUM PRODUCTION

A. V. Merinov¹, S. F. Shayakhmetov^{1,2}, L. G. Lisetskaya¹, N. M. Meshehakova¹

¹East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk 665827, Russian Federation

²Irkutsk State Medical Academy – Branch of Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education «Russian Medical Academy of Continuous Professional Education», Irkutsk 664049, Russian Federation

The aim of the research is estimation of priority toxicants, grain-size and material composition of dust suspensions in the air of working area of the basic electrolytic aluminum production trades.

Material and methods. We analyzed and systematized long-term data on the content of hydrogen fluoride, fluorides, dialuminium trioxide and resins sublimes in the working area at the workplace of buildings with self-calculating anode and prebaked anodes technologies. Electron scanning microscope with the attachment for energy dispersive X-ray microanalysis was evaluated for the size of 7,340 particles; besides elemental analysis was carried out for 613 particles.

Results. Using prebaked anode technology reduces the concentration of harmful substances in the air of working area to the MPD levels, except for hydrogen fluoride, the content of which is still higher than the pollution standard in 1,7–3,0 times. Analysis of dust powder revealed 1–3-micron particles (41.9%, 42.7%, 43.8% and 31.8%) prevailed in the working place of pot operator, anode electrolytic bath operator, baths service and anode frames waist operators. Particles of 0.5–3 micron (69.0%) and 0.5 microns (46.2%) prevailed in crane driver cabin and crane maintenance operator. Study results have shown that the overwhelming number of aluminum production dust powder particles are the ones of aluminium, cryolite, aluminium fluoride due to elemental composition.

Conclusion. The main air pollutants of aluminum production are fluorides, resins sublimes and dialuminium trioxide. Aluminium production aerosol comprises individual or collected dust agglomerates with stuck nanodispersed particles. The main typical elements in them are: fluorine, carbon, aluminium, sodium and oxygen. Iron, silicon, nickel, chromium and sulfur were identified in dust samples.

Key words: aluminium production, working area air, chemical factor, suspended particle, electron microscopy, fractional composition.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest associated with the publication of this article.

Citation: Merinov AV, Shayakhmetov SF, Lisetskaya LG, Meshehakova NM. Hygienic characteristics of gas aerosol suspension in modern aluminum production. *Siberian Medical Review*. 2019;(3):78-83. DOI: 10.20333/2500136-2019-3-78-83

Введение

Алюминиевое производство входит в число наиболее быстроразвивающихся отраслей промышленности России. Современная технология получения алюминия представляет 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 температуре 950–965°C и силе постоянного тока от 30 до 350 кА. Технологический процесс осуществляется в электролизных ваннах (электролизерах), заполненных электролитом, в которые опущен анод. Катод представляет собой угольное дно, на котором и происходит выделение металла [1, 2].

По литературным данным, одним из факторов, оказывающих неблагоприятное влияние на здоровье работников в процессе электролиза алюминия, является воздействие химических веществ: соединения фтора и фтористоводородной кислоты, диоксид серы, оксид углерода, смолистые вещества, пыль сложного состава, обладающая фиброгенным, токсическим, канцерогенным, аллергенным эффектами и т.д. [3, 4, 5, 6].

Электролитическое производство алюминия сопровождается образованием взвешенных частиц, которые попадают в воздух производственных помещений и находятся в нем более или менее длительное время, существенно превышая ПДК на рабочих местах [7, 8, 9]. Поэтому представляется чрезвычайно важным изучение физико-химических свойств пылевых частиц электролизных цехов алюминиевого производства (размер, форма, их структура, химический (элементный) состав и происхождение), что имеет важное значение для определения их роли в формировании негативных последствий [10].

Целью работы явилась оценка содержания приоритетных токсикантов в воздухе рабочей зоны основных профессий электролитического производства алюминия, гранулометрический и вещественный состав образующихся пылевых частиц.

Материал и методы

Исследования проводили на одном из крупных алюминиевых предприятий Восточной Сибири, использующего традиционную технологию с самообжигающимися анодами (ТСА) и современную – с предварительно обожженными анодами (ТПОА). Гигиеническая оценка химического фактора дана по результатам измерений, проведенных заводской санитарно-промышленной лабораторией, центром гигиены и эпидемиологии, а также собственных исследований. Было проанализировано и систематизировано 48 540 измерений концентрации гидрофторида, 39 663 – нерастворимых фторидов, 19 749 – смолистых веществ, 30 458 – диалюминия триоксида в воздухе рабочей зоны на рабочих местах с ТСА и ТПОА.

Для изучения фракционного состава пылевых комплексов алюминиевого производства отбирались пробы пыли на фильтры PTFE с диаметром пор 0,8 мкм. Для исследований пылевых частиц использовали электронный сканирующий микроскоп СЭМ «Quanta 200»

FEI Company с приставкой для энергодисперсионного рентгеновского микроанализа EDAX. Для визуализации частиц аэрозоля выполняли микрофотографии высокого разрешения образца на различных увеличениях. На полученных фотографиях проводили измерение диаметра и подсчет количества пылевых частиц. Всего обработано 14 фильтров, проведена оценка размеров 7340 частиц; так же для 613 частиц был проведен их элементный анализ. Исследования проводили в Центре коллективного пользования «Ультрамикроанализ» Иркутского научного центра РАН на базе ФГБУН Лимнологического института СО РАН.

Статистическую обработку и анализ результатов гигиенических и физико-химических осуществляли при помощи программы Microsoft Excel и программы «STATISTICA 6.1».

Результаты и обсуждение

Исследования содержания вредных химических веществ в воздухе рабочей зоны при электролитическом получении алюминия показали, что наиболее существенный вклад в загрязнение воздушной среды вносят фторсодержащие соединения, возгоны смол и диалюминий триоксид. При использовании ТСА на рабочих местах основных профессий в период 1974–2015 гг. среднегодовые среднесменные содержания гидрофторида превышали гигиенический норматив в 1,5–4,5 раза, уровни фторсолей, диалюминия триоксида и возгонов смол колебались в широком интервале от нескольких десятых ПДК до 1,13, 1,5 и 4 ПДК для диалюминия триоксида, фторсолей и возгонов смол соответственно. Переход на ТПОА приводит к значительному снижению (до 1 ПДК) концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны за исключением фтористого водорода, уровни которого в среднем превышали ПДК в 1,7–3,0 раза.

Проведенные гигиенические исследования показали, что при производстве алюминия наибольшее пылевыведение осуществляется при выполнении целого ряда технологических операций: пробивка корки, обрубка гарнисажей, подтягивание осадка, гартование, другие технологические работы на ванне, загрузка анодной массы, перестановка штырей, обдувка с поверхности оборудования, замены и укрытие анодов.

При применении технологии самообжигающихся анодов во время проведения гартования, обдувки оборудования, подтягивания осадка, технологических работ на ванне, обрубки гарнисажей и перестановке штырей в воздухе отмечалось преобладание мелкодисперсных (респираторных) частиц с размером 1–10 мкм, доля которых при этих операциях составила 58,2 %, 65,7 %, 72,2 %, 75,7 %, 78,1 % и 78,8 % соответственно. Преобладание частиц с наименьшими размерами (ультрамелкие до 1 мкм) наблюдалось при гартовании (28,6 %) и загрузке анодной массы (57,0 %). Наибольшая доля крупных частиц, с размером более 10 мкм, отмечалась во время пробивки корки (55,9 %). При технологии предварительно обожженных анодов также отмечалось преобладание пылевых частиц с размером 1–10 мкм (62,1 и 68,2 % для процессов замены и укрытия анодов соответственно).

Анализ дисперсного состава пылей, образующихся на рабочих местах основных профессиональных групп при ТСА показал, что при выполнении различных технологических операций на рабочих местах электролизника, анодчика и крановщика преобладали частицы с размером до 10 мкм (70,7 %; 81,7 % и 95,7 % соответственно).

На рабочих местах электролизника и анодчика наибольшее количество взвешенных в воздухе пылинок имели размеры 1–3 мкм, доля которых от общего числа частиц составила 41,9 % и 42,7 % соответственно. Следует отметить, что на рабочем месте анодчика доля частиц с размером менее 1 мкм была практически в 2 раза выше, чем на рабочем месте электролизника (16,3 % против 8,2 %), а доля частиц с размером 10–30 мкм, наоборот, была выше на рабочем месте электролизника (22,5 %), чем на рабочем анодчика (13,2 %). На долю фракций с размером 30 мкм и более на рабочих местах обеих профессиональных групп приходилось не более 5,1–6,8 %.

В кабине машиниста штыревого крана частицы пыли с размером до 10 мкм составляли 95,7 % от общего числа частиц, из них 50,1 % приходилось на долю фракции до 1 мкм, наибольшая доля приходилась на частицы с размером 0,5–3 мкм, доля которых составила 69,0 % от общего числа частиц. На долю фракций с размером от 10 мкм и более суммарно приходилось 4,3 %. Таким образом, пылевое загрязнение воздуха рабочей зоны крановщика характеризуется значительной долей ультрамелких частиц нанодисперсного диапазона.

На рабочих местах операторов по обслуживанию ванн и по перетяжке анодных рам, при ТПОА, также преобладали частицы с размером 1–10 мкм (68,2 % и 62,1 % соответственно), среди которых наибольшая количество приходилось на частицы с размером 1–3 мкм. Доля данных частиц от общего числа частиц составила 43,8 % и 31,8 % соответственно. Следует отметить, что на рабочем месте оператора по обслуживанию ванн доля частиц с размером менее 1 мкм была выше, чем на рабочем месте оператора по перетяжке анодных рам (21,4 % против 14,3 %), а доля частиц с размером 10–30 мкм, наоборот, на рабочем месте оператора по перетяжке анодных рам (20,4 %) была в 2,1 раза выше, чем на рабочем месте оператора по обслуживанию ванн (9,6 %). Доля фракций с размером от 30 мкм и более на рабочих местах операторов по обслуживанию ванн и перетяжке анодных рам составляла соответственно 0,8 % и 3,2 %.

В кабине оператора по обслуживанию крана частицы с размером до 10 мкм составляли 91,4 % от общего числа частиц, из них 65,3 % приходилось на долю ультрамелких фракции до 1 мкм. Наибольшая доля приходилась на частицы с размером до 0,5 мкм, доля которых составила 46,2 % от общего числа частиц. На долю фракций 10–50 мкм и более суммарно приходилось 8,6 %.

В образцах аэрозоля обнаруживались частицы, в которых основными элементами были алюминий и кислород, что соответствует молекуле глинозема (Al_2O_3). По своему составу данные частицы представляли либо просто глинозем с налипшими частицами сажи, либо глинозем с примесью соединений натрия и

калия (рис. 1 а, б). На рабочих местах электролизника, анодчика и крановщика (ТСА) доля частиц глинозема составила 34,5 %, 44,9 % и 25,9 %, а на рабочих местах операторов по обслуживанию ванн, по перетяжке анодных рам и по обслуживанию кранов (ТПОА) – 4,8 %, 9,3 % и 27,8 %.

Исходя из элементного состава, частицы, представляющие фторид алюминия (AlF_3) с налипшими частицами сажи и с примесями соединений натрия, калия, кальция и азота, присутствовали в воздухе в небольшие количества: при ТСА 0,4–2,2 %, при ТПОА 1,3–5,6 %. Фторид алюминия чаще находился в смесях с глиноземом с налипшими частицами сажи, а также с примесью соединений натрия, кальция, серы (рис. 1 в, г), кремния, никеля, железа. Доля таких агломератов составляла на рабочих местах основных профессиональных групп при ТСА – 7,4–13,4 %; при ТПОА – 14,8–21,3 %.

В образцах аэрозоля часто обнаруживались агломераты неопределенной формы, состоящие из фтора, натрия, алюминия, углерода, кислорода, которые, исходя из анализа состава применяемого сырья, представляли криолит (Na_3AlF_6) с налипшими частицами сажи. Кроме сажевых компонентов, частицы криолита содержали примеси соединений кремния (рис. 1 д, е), кальция, калия, никеля, серы и магния. На рабочих местах электролизника, анодчика и крановщика при ТСА доля частиц криолита соответствовала 14 %, 10,1 % и 18,5 %, а на рабочих местах операторов по обслуживанию ванн, по перетяжке анодных рам и по обслуживанию кранов при ТПОА – 33,3 %, 32 % и 20,4 %.

Достаточно часто встречались в пробах пылевые частицы, являющиеся смесью криолита и глинозема с налипшими частицами сажи, где основными компонентами являются фтор, алюминий, натрий, кислород и углерод. В данной смеси так же присутствовали микрочастицы, содержавшие примеси соединений железа, калия, кальция (рис. 1 ж, з) и серы. На рабочих местах электролизника, анодчика и крановщика при ТСА это соотношение составило 4,2 %; 3,4 % и 3,7 % соответственно; а на рабочих местах операторов АППА по обслуживанию ванн, по перетяжке анодных рам и по обслуживанию кранов при технологии ТПОА – 14,3 %; 22,7 % и 1,8 % соответственно.

Среди пылевых частиц встречались агломераты, у которых основными компонентами были фтор и углерод; в зависимости от процентного соотношения этих элементов данные частицы представляли собой сажу, либо ее смесь с фтористыми соединениями (например, HF), либо фторуглеродные соединения. В данных агломератах также встречались микрочастицы, содержащие примеси соединений натрия, алюминия, никеля и серы (рис. 1 и, к), кальция, железа, магния, кремния, калия и хлора. Доля этих агломератов на рабочих местах основных профессиональных групп составляла: при ТСА 28,9–33,3 %; при ТПОА – 10,7–19,0 %.

Помимо выше перечисленных соединений и смесей в образцах аэрозоля встречались агломераты других соединений, например, оксида кремния (SiO_2) с налипшими частицами сажи (или фторуглеродных

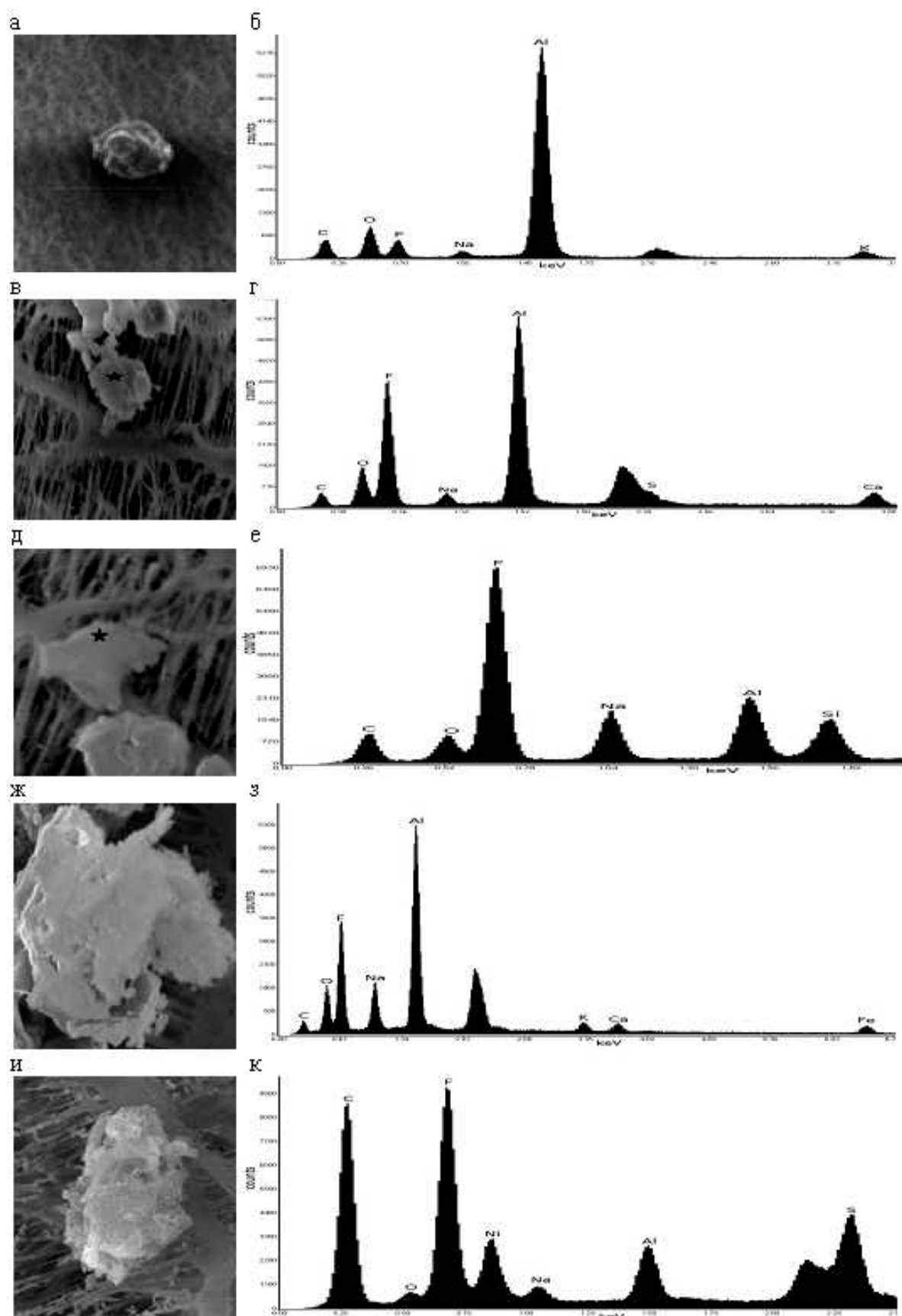


Рисунок 1. Электронно-микроскопические изображения и спектры частиц глинозема (а, б), смеси глинозема и фторида алюминия (в, г), криолита (д, е), смеси глинозема и криолита (ж, з), фторуглеродного соединения (и, к).
Figure 1. Electron microscopic images and spectra of alumina particles (а, б), alumina mixture and aluminum fluoride, (в, г), cryolite (д, е), alumina and cryolite mixture (ж, з) fluorocarbon compounds (и, к).

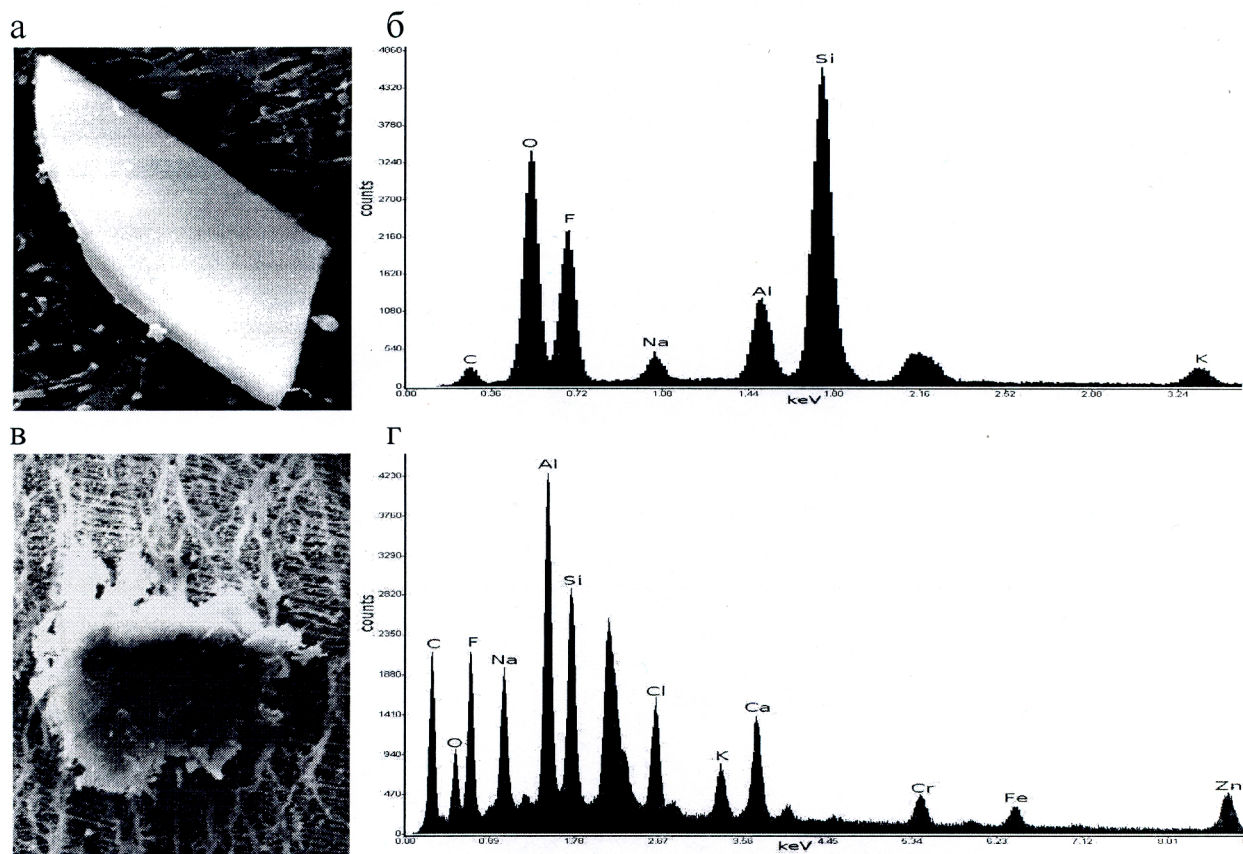


Рисунок 2. Электронно-микроскопические изображения и спектры частиц оксида кремния (а, б) и частиц с неопределенным комплексом соединений (в, г).

Figure 2. Electron microscopic image and spectra of silicon oxide particles (а, б) and particles with indefinite complex compounds (в, г).

соединений) и с примесью соединений натрия, алюминия, калия (рис. 2 а, б) и кальция или трудно идентифицируемые смеси, состоящие, например, из углерода, фтора, алюминия, кислорода, натрия, цинка, кремния, кальция, хлора, хрома, железа и калия (рис. 2 в, г).

Закключение

Гигиенические исследования показали, что наибольший вклад в загрязнение воздушной среды в производстве алюминия вносят фтористые соединения, возгоны смол и диалюминий триоксид. Переход на ТПОА приводит к значительному снижению (до 1 ПДК) концентраций вредных веществ в воздух рабочей зоны, за исключением фтористого водорода.

Проведенные электронно-гравиметрические исследования показали, что образующийся в процессе производства алюминия аэрозоль представляет собой сложную неоднородную смесь пылевых частиц различной химической природы, в виде отдельных или собранных в агломераты пылинок с прилипшими к ним частицами нанодисперсного размера. На рабочих местах электролизника, анодчика, оператора по обслуживанию ванн и перетяжке анодных рам преобладают частицы с размером 1–10 мкм (62,1–68,2 %), у крановщиков (ТСА) и операторов по обслуживанию крана (ТПОА) преимущественно преобладали частицы наноразмерного диапазона до 1 мкм (50,1% и 65,3 %).

Установлено, что 95,5% взвешенных частиц представляют собой частицы глинозема, криолита, фторида алюминия и их смеси и фторуглеродных соединений. Основными типичными элементами в них являются фтор, углерод, алюминий, натрий и кислород. В пробах пыли также идентифицировались калий, кальций, железо, кремний, никель, сера и хром.

Литература/ References

1. Рослый ОФ, Лихачева ЕИ. Медицина труда при электролитическом получении алюминия. Екатеринбург: Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий; 2011. 160 с. [Roslyi OF, Likhacheva YeL, editors. Medicine of labor for electrolytic aluminum production. Ekaterinburg : Ekaterinburgskiy meditsinskiy nauchnyy tsentr profilaktiki i okhrany zdorov'ya rabochikh prompredpriyatiy; 2011. 160 p. (In Russian)]
2. Бодиевкова ГМ, Тимофеева СС, Мещачкова НМ, Боклаженко ЕВ. Условия труда и профессиональные риски нарушений здоровья у работников алюминиевой промышленности. Иркутск : Изд-во РИНТУ; 2015. 144 с. [Bodienkova GM, Timofeeva SS, Meshchakova NM, Boklazenko EV. Working conditions and professional risks of health disorders in workers of the aluminum industry. Irkutsk : Izd-vo RINITU; 144 p. (In Russian)]

3. Рослый ОФ, Федорук АА, Слышкина ТВ, Устьянцев СЛ. Предварительная оценка профессионального риска для здоровья работающих на сверхмощных электролизерах алюминия. *Уральский медицинский журнал*. 2011;(9):9–12. [Rosly OF, Fedoruk AA, Slyshkina TV, Ustiancev SL. Evaluation of occupational risks for health of workers in the production of electrolysis of aluminum. *Ural Medical Journal*. 2011;(9):9–12. (In Russian)]

4. 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

5. Seixas NS, 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

6. Шаяхметов СФ, Лисецкая ЛГ, Меринов АВ. Оценка токсико-пылевого фактора в производстве алюминия (аналитический обзор). *Медицина труда и промышленная экология*. 2015;(4):30–5. [Shayakhmetov SF, Lisetskaya LG, Merinov AV. Evaluation of toxic dust factor in aluminium production (analytic review). *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2015;(4):30–5. (In Russian)]

7. Рослый ОФ, Рослая НА, Слышкина ТВ, Федорук АА. Медицина труда при производстве и обработке сплавов цветных металлов. Екатеринбург : Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий; 2012. 223 с. [Rosly OF, Roslaya NA, Slyshkina TV, Fedoruk AA. Medicine of labor in the production and processing of non-ferrous alloys. Ekaterinburg: Ekaterinburgskiy meditsinskiy nauchnyy tsentr profilaktiki i okhrany zdorov'ya rabochikh prompredpriyatiy; 2012. 223 p. (In Russian)]

8. Thomassen Y, Koch W, Dunkhorst W, Ellingsen DG, Skaugset NP, Jordbekken L, Arne Drabløs P, Weinbruch S. Ultrafine particles at workplaces of a primary aluminium smelter. *Journal of Environmental Monitoring*. 2006;8(1):127–33. DOI: 10.1039/b514939h

9. Hoflich BLW, Weinbruch S, Theissmann R, Gorzawski H, Ebert M, Ortner HM, Skogstad A, Ellingsen DG, Drabløs PA, Thomassen Y. Morphology, chemical composition and nanostructure of single carbon-rich particles studied by transmission electron microscopy:

source apportionment in workroom air of aluminium smelters. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2016;408(4):1151–8. DOI: 10.1007/s00216-015-9217-x

10. Бейгель ЕА., Катаманова ЕВ., Шаяхметов СФ., Ушакова ОВ, Павленко НА, Кукс АН, Воронин ДА. Влияние длительного воздействия промышленных аэрозолей на клинико-функциональные показатели бронхо-легочной системы у работников алюминиевого производства. *Гигиена и санитария*. 2016;(12):1160–63. [Beygel EA, Katamanova EV, Shayakhmetov SF, Ushakova OV, Pavlenko NA, Kuks AN, Voronin DA. The impact of the long-term exposure of industrial aerosols on clinical and functional indices of the broncho-pulmonary system in aluminum smelter workers. *Hygiene and Sanitation*. 2016;12:1160–63. (In Russian)] DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1160-1163

Сведения об авторах

Меринов Алексей Владимирович, младший научный сотрудник лаборатории аналитической экотоксикологии и биомониторинга, Восточно-Сибирский институт медико-экологического исследования; адрес: Российская Федерация, 665827, г. Ангарск, 12а микрорайон, д.3, а/я 1170; тел.: +7(3955)554087; e-mail: alek-merinov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7848-6432>

Шаяхметов Салим Файзыевич, д.м.н., профессор, Восточно-Сибирский институт медико-экологического исследования; адрес: Российская Федерация, 665827, г. Ангарск, 12а микрорайон, д.3, а/я 1170; Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования; адрес: Российская Федерация, 664049, г. Иркутск, микрорайон Юбилейный, 100; тел.: +7(3955)554087; e-mail: salimf53@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8740-3133>

Лисецкая Людмила Гавриловна, к.б.н., Восточно-Сибирский институт медико-экологического исследования; адрес: Российская Федерация, 665827, г. Ангарск, 12а микрорайон, д.3, а/я 1170; тел.: +7(3955)554087; e-mail: lis_lu154@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0876-2304>

Мецакова Нина Михайловна, д.м.н., доцент, Восточно-Сибирский институт медико-экологического исследования; адрес: Российская Федерация, 665827, г. Ангарск, 12а микрорайон, д.3, а/я 1170; тел.: +7(3955)554090; e-mail: nina.meschkakova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9772-0199>

Author information

Alexey V. Merinov, junior researcher of laboratory of analytical ecotoxicology and biomonitoring, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research; Address: 3, Microrailon 12a, P.O.Box 1170, Angarsk, Russian Federation 665827; Phone: +7(3955)554087; e-mail: alek-merinov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7848-6432>

Salim F. Shayakhmetov, Dr.Med.Sci., Professor, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research; Address: 3, Microrailon 12a, P.O.Box 1170, Angarsk, Russian Federation 665827; Irkutsk State Medical Academy – Branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; Address: 100, Microrailon Yubileynyy, Irkutsk, Russian Federation 664049; Phone: +7(3955)554087; e-mail: salimf53@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8740-3133>

Lyudmila G. Lisetskaya, Cand.Biol.Sci., East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research; Address: 3, Microrailon 12a, P.O.Box 1170, Angarsk, Russian Federation 665827; Phone: +7(3955)554087; e-mail: lis_lu154@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0876-2304>

Nina M. Meshchakova, Dr.Med.Sci., Associate Professor, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research; Phone +7(3955)554087; Address: 3, Microrailon 12a, P.O.Box 1170, Angarsk, Russian Federation 665827; Phone: +7 (3955) 554090; e-mail: nina.meschkakova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9772-0199>

Поступила 17.04.2018 г.

Принята к печати 09.04.2019 г.

Received 17 April 2018

Accepted for publication 09 April 2019