

medicine (analytic review of literature) // Industr. med. — 2010. — 12. — P. 22–27 (in Russian).

4. Nikolenko V.Yu., Lastkova N.D. From local vibration to vibration disease // *Mezhdunarodnyy nevrologicheskiy zhurnal*. — 2011. — 1 (39). — P. 131–139 (in Russian).

5. Petrova I.A., Gordetsov A.S., Fedotova I.V. Diagnostic criteria of vibration disease, based on evaluation of serum lipid and acid contents // *Sovremennye tekhnologii v meditsine*. — 2013. — Vol. 5. — 3. — P. 83–88 (in Russian).

6. Izmerov N.F., ed. Occupational diseases. Moscow: GEOTAR-Media, 2011: 784 p. (in Russian).

7. Smirnova E.L., Poteryaeva E.L., Nikiforova N.G. Role of cellular markers in formation of vibration disease course features in post-contact period // *Meditsina i zdravookhranenie*. — 2013. — 6. — P. 58–61 (in Russian).

8. Sharova N.I., Litvina M.M., Shevelev S.V., et al. Interferon γ and interleukin 4 production by human thymocytes in vitro // *Tsitokiny i vospalenie*. — 2002. — 1 (4): 12–16 (in Russian)

9. Elting J.W., De Jager A.E.J., Teelken A.W. et al. Comparison of serum S-100 protein levels following stroke and traumatic brain injury // *J. Neurol. Sci.* — 2000. — V. 181. — P. 104–110.

10. Goldring S.R. Pathogenesis of bone and cartilage destruction in rheumatoid arthritis // *Reumatology*. — 2003. — № 42(2). — P. 11–16.

11. Kanner A.A., Marchi N., Fazio V. et al. Serum S100 β . A noninvasive marker of blood-brain barrier function and brain lesions // *Cancer*. — 2003. — V. 97. — P. 2806–2813.

12. Yoo C., Lee J.H., Kim Y., Lee H. Occupational hand-arm vibration syndrome in Korea // *Int. Arch. Occup Environ. Health*. — 2005. — Vol. 78, № 5. p. 363–368.

Поступила 9.08.2017

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Бодиенкова Галина Михайловна (Bodienkova G.M.), зав. лаб. иммуно-биохимич. и молекулярно-генетич. иссл. в гигиене ФГБНУ ВСИМЭИ, д-р мед. наук, проф. E-mail: immun11@yandex.ru.

Курчевенко Светлана Ивановна (Kurchevenko S.I.), науч. сотр. лаб. иммуно-биохимич. и молекулярно-генетич. иссл. в гигиене ФГБНУ ВСИМЭИ, канд. мед наук. E-mail: immun11@yandex.ru.

УДК 669.71:614.715:539.24

Лисецкая Л.Г.¹, Шаяхметов С.Ф.^{1,2}, Меринов А.В.¹

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В ВОЗДУХЕ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

¹ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», м/р 12а, 3, г. Ангарск, РФ, 665827;

²Иркутская государственная медицинская академия — филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава РФ, м/р Юбилейный, 100, г. Иркутск, РФ, 664049

Приведены результаты гранулометрического и морфологического анализа пылевых частиц, витающих в воздухе рабочей зоны при электролитическом производстве алюминия. Размер и морфология 6339 отдельных частиц определялись с помощью сканирующей электронной микроскопии. Показано, что фракции менее 10 мкм составляли до 95% в общей структуре. Наибольшая масса мелкодисперсных фракций наблюдалась в воздухе рабочей зоны на рабочих местах анодчика и крановщика.

Ключевые слова: производство алюминия; воздух рабочей зоны; взвешенные частицы; гранулометрический анализ

Lisetskaya L.G.¹, Shayakhmetov S.F.^{1,2}, Merinov A.V.¹ **Granulometric and morphologic analysis of suspended particles in air of aluminium production.** ¹East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 3, 12a m/r, Angarsk, Russian Federation, 665827; ²Irkutsk State Medical Academy — Branch of Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, 100, Yubileiniy m/d, Irkutsk, Russian Federation, 664049

The authors present results of granulometric and morphologic analysis of dust particles in workplace air of electrolytic aluminium production. Dimensions and morphology of 6339 separate particles were assessed by scanning electronic microscopy. Findings are that fractions less than 10 micrometers covered up to 95% of the general structure. Maximal mass of low-dispersed fractions was seen in workplace air of anode operator and crane-operator.

Key words: aluminium production; workplace air; suspended particles; granulometric analysis

Многие отрасли промышленности, такие как металлургия, горнодобывающая промышленность, производство строительных материалов и минеральных удобрений, связаны с использованием сыпучих ма-

териалов. В процессе их переработки неизбежно создаются аэродисперсионные системы [3]. Промышленные аэрозоли отличаются от естественных более высокой концентрацией, дисперсионностью, микроструктурой и химическим составом. Это является предпосылкой для более глубокого исследования дисперсного состава такой пыли с последующей организацией контроля ее содержания в воздухе рабочей зоны. Производство алюминия характеризуется высокими концентрациями взвешенных веществ, существенно превышающими ПДК на рабочих местах [2]. Изучение физической и химической характеристики пылевых частиц в воздухе рабочей зоны электролизных цехов при производстве алюминия имеет значение для определения их роли в формировании отрицательных последствий [1].

Цель работы — изучение гранулометрических и морфологических характеристик пылевых частиц в воздухе рабочей зоны алюминиевого производства.

Материалы и методы. Исследования проводились на одном из алюминиевых заводов Иркутской области, являющимся характерным представителем предприятий алюминиевой промышленности. Пробы воздуха отбирали на фильтры PTFE в воздухе рабочей зоны на рабочих местах в электролизных цехах с технологией самообжигающихся анодов (ТСА) и технологией предварительно обожженных анодов (ТПОА) при выполнении основных технологических операций. Время и условия отбора проб пыли во всех случаях были идентичными. Фильтры приклеивали на двусторонний проводящий углеродный скотч на специальный столик для сканирующей электронной микроскопии. Для отведения статического заряда от поверхности образца во время исследования столик с закрепленным на нем фильтром покрывали золотом в напылительной установке «BALZERS SCD-004». Дальнейшие исследования проводились с помощью электронного микроскопа СЭМ Quanta 200, FEI Compau в Центре коллективного пользования «Электронная микроскопия» Иркутского научного центра СО РАН на базе ФГБУН Лимнологического института. На полученных фотографиях проводились измерение диаметра и подсчет количества пылевых частиц. Всего обработано 14 фильтров, проведена оценка размеров 6339 частиц.

Статистическая обработка результатов осуществлялась с использованием «Statistica 6.1 for Windows». Рассчитан 95%-ный вероятностный интервал для различных размерных фракций пылевых частиц.

Результаты и обсуждение. По результатам исследования воздуха рабочей зоны, проведенного непосредственно во время производственного процесса при ТСА, было установлено, что наибольшее пылевыделение происходит в ходе трех технологических операций, которыми являются пробивка корки, обрубка гарнисажей, обдувка технологического оборудования.

Результаты анализа показали, что наиболее опасные для здоровья мелкодисперсные фракции пыли наблю-

дались при загрузке анодной массы (57% — менее 1 мкм и 36% — от 1 до 10 мкм). Преобладание частиц с размером 1–10 мкм отмечено во время проведения обрубки гарнисажей (78,1%), технологических работах на ванне (75,7%), подтягивании осадка (72,2%), обдувки оборудования (65,7%), гартования (58,2%). Преобладание частиц более крупных фракций наблюдалось лишь во время пробивания корки (массовая доля частиц 1–10 мкм и 10–30 мкм составляет 41,8 и 42,8% соответственно).

Сравнительный анализ обобщенных данных исследования дисперсного состава пыли для основных профессиональных групп ТСА показал, что во время выполнения технологических операций на рабочих местах электролизников и анодчиков преобладают частицы размером 1–10 мкм (62,5% и 65,4% соответственно) (табл. 1). При этом размер 95% частиц данной группы укладывается в интервал 3,5–3,7 мкм.

При технологических операциях анодчиков в воздухе наблюдалось большое количество частиц с размером менее 1 мкм, чем у электролизников (16,3% и 8,2% соответственно). Из-за высоких температур, которыми характеризуется процесс восстановления алюминия, ультрамелкие частицы образуются и конденсируются тогда, когда расплавленная масса подвергается воздействию более холодной окружающей среды. Примером такого процесса может быть загрузка анодной массы, чем и можно объяснить высокую удельную массу ультрамелких фракций. После того, как частицы попали в воздух, процесс конденсации ускоряется и размеры витающих пылевых частиц увеличиваются. Это может объяснить разницу в соотношении размерных фракций при различных технологических операциях.

В кабине машиниста штырьового крана свыше 95% частиц имели размер до 10 мкм, из них 52% приходилось на долю фракции до 1 мкм (преобладающий диаметр — 0,6 мкм). Указанный факт наглядно иллюстрируют растровые микрофотографии, полученные из препаратов витающей пыли, отобранной в кабине штырьового крана и на рабочих местах электролизника и анодчика (рис. 1).

При использовании ТПОА в кабине оператора по обслуживанию крана массовая доля частиц менее 10 мкм составляла 91%, из них 71% — менее 1 мкм (преобладающий диаметр 0,5 мкм) (табл. 2). Работы по обслуживанию ванн и перетяжки анодной рамы также характеризуются преобладанием мелкодисперсных фракций. Во время исследованных технологических операций от 14 до 21% частиц имели размер менее 1 мкм, а 62 до 68% частиц — от 1 до 10 мкм.

Согласно данным литературы [4–6] форма частиц определяется условиями и механизмом ее образования. В частности, аэрозоли дезинтеграции являются грубыми, низкодисперсными, полиморфными с множеством заостренных краев. Аэрозоли конденсации характери-

Таблица 1

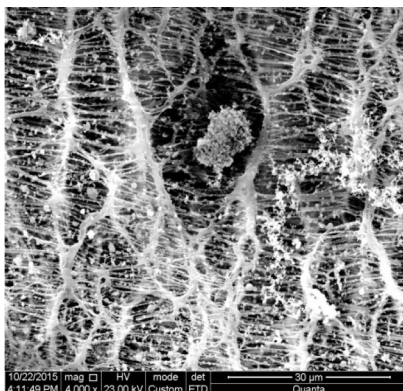
Относительное содержание различных групп пылевых частиц в воздухе рабочей зоны при ТСА

Размерная группа частиц	Показатель	Профессия		
		Электролизник	Анодчик	Машинист крана
до 1 мкм	Массовая доля, %	8,2±0,7 (n=186)	16,3±1,2 (n=221)	50,1±1,2 (n=908)
	95%-ный доверительный интервал, мкм	0,76–0,81	0,61–0,67	0,59–0,61
1–10 мкм	Массовая доля, %	62,5±1,0 (n=1409)	65,4±1,3 (n=885)	45,6±1,2 (n=826)
	95%-ный доверительный интервал, мкм	3,54–3,79	3,48–3,76	2,9–3,16
10–30 мкм	Массовая доля, %	22,5±0,8 (n=507)	13,2±0,8 (n=179)	2,8±0,4 (n=51)
	95%-ный доверительный интервал, мкм	17,54–18,56	16,23–17,86	13,87–16,21
30–50 мкм	Массовая доля, %	5,9±0,5 (n=134)	3,8±0,5 (n=51)	1,1±0,2 (n=19)
	95%-ный доверительный интервал, мкм	37,37–39–22	35,73–39,06	35,81–41,17
более 50 мкм	Массовая доля, %	0,9±0,2 (n=20)	1,3±0,3 (n=18)	0,5±0,2 (n=9)
	95%-ный доверительный интервал, мкм	57,46–71,5	57,32–75,58	59,86–78,37

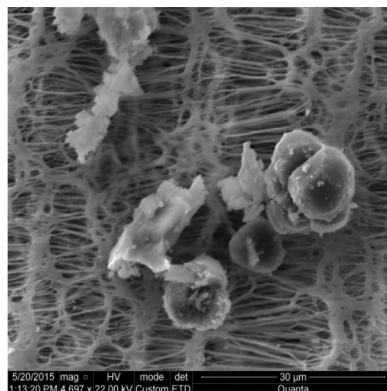
Таблица 2

Относительное содержание различных групп пылевых частиц в воздухе рабочей зоны при ТПОА

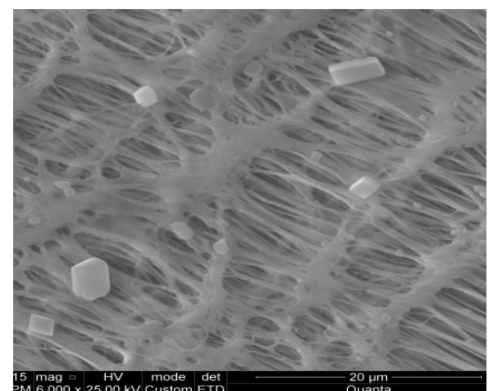
Размерная группа частиц	Показатель	Профессиональная группа		
		Оператор по обслуживанию ванн	Оператор по перетяжке анодной рамы	Оператор по обслуживанию крана
до 1 мкм	Массовая доля, %	21,4±1,8 (n=109)	14,3±2,2 (n=35)	65,3±1,4 (n=759)
	95%-й доверительный интервал, мкм	0,60–0,68	0,55–0,72	0,44–0,47
1–10 мкм	Массовая доля, %	68,2±2,1 (n=347)	62,0±3,1 (n=152)	26,1±0,3 (n=303)
	95%-й доверительный интервал, мкм	3,39–3,85	3,91–4,63	2,99–3,52
10–30 мкм	Массовая доля, %	9,6±1,3 (n=49)	20,4±2,6 (n=50)	5,68±0,7 (n=66)
	95%-й доверительный интервал, мкм	14,69–17,65	14,62–17,68	16,11–18,82
30–50 мкм	Массовая доля, %	0,6±0,3 (n=3)	2,0±0,9 (n=5)	2,3±0,4 (n=27)
	95%-й доверительный интервал, мкм	31,69–48,23	30,46–40,01	30,79–48,87
более 50 мкм	Массовая доля, %	0,2 (n=1)	1,2±0,7 (n=3)	0,6±0,2 (n=7)
	95%-й доверительный интервал, мкм	–	50,65–65,78	52,13–69,69



а



б



в

Рис. 1. Микрофотографии образцов пыли: а — рабочее место крановщика (ув.×767), б — рабочее место электролизника (ув. ×900), в — рабочее место анодчика (ув. ×1150)

зуются высокой степенью дисперсности и округлой формой. Результаты исследований морфологии пылинок свидетельствуют, что большая часть пылевых частиц при производстве алюминия является типичным аэрозолем дезинтеграции полиморфной структуры с множеством заостренных краев (рис. 1б, рис. 2а, б). Вместе с тем в составе витающей пыли встречаются и отдельные аэрозольные конденсаты (рис. 2в, г).

Выводы:

1. Данные электронной микроскопии пылевых частиц свидетельствуют, что в воздухе рабочей зоны алюминиевого производства как при технологии самообжигающихся анодов, так и с внедренной технологией предварительно обожженных анодов присутствуют мелкие и ультрамелкие частицы, имеющие полиморфную структуру.

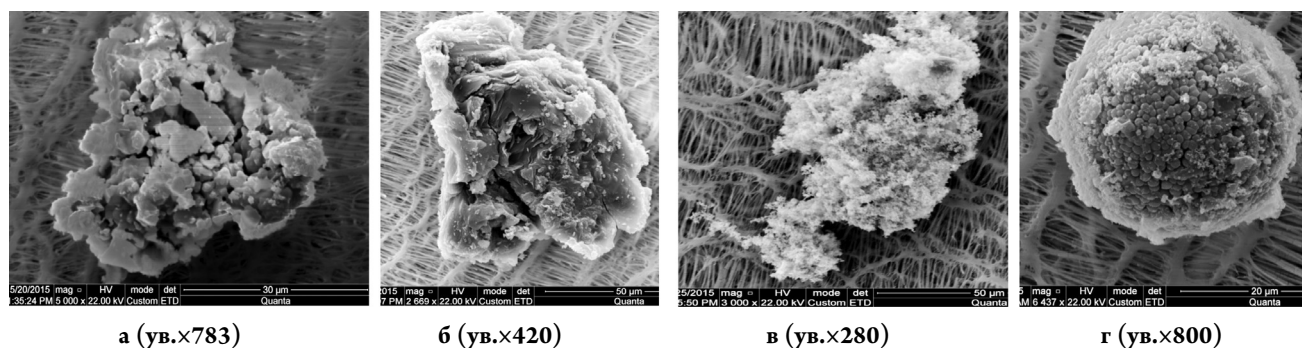


Рис. 2. Микрофотографии образцов аэрозоля дезинтеграции (а, б) и аэрозоля конденсации (в, г)

2. Наибольшая масса мелкодисперсных фракций наблюдалась в воздухе рабочей зоны на рабочих местах крановщика. Ультрамелкие частицы присутствуют в значительном количестве и на других рабочих местах.

Результаты выполненных исследований подтверждают актуальность оценки фракционного состава воздуха рабочей зоны и необходимость проведения контроля содержания взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны при производстве алюминия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (см. REFERENCES пп. 4–6)

1. Бейгель Е.А., Катманова Е.В., Шаяхметов С.Ф. и др. Влияние длительного воздействия промышленных аэрозолей на клинико-функциональные показатели бронхо-легочной системы у работников алюминиевого производства // Гиг. и санит. — 2016. — №12. — С. 1160–1163

2. Рослый О.Ф., Рослая Н.А., Слышкина Т.В., Федорук А.А. Медицина труда при производстве и обработке сплавов цветных металлов. — Екатеринбург, 2012. — 223 с.

3. Шаяхметов С.Ф., Лисецкая Л.Г., Мещакоева Н.М., Меринов А.В. Гигиеническая оценка токсико-пылевого фактора на алюминиевом предприятии Восточной Сибири // Гиг. и санит. — 2016. — Т. 95. — №12. — С. 1163–1167

REFERENCES

1. Beygel' E.A., Katamanova E.V., Shayakhmetov S.F., et al. Influence of long-standing exposure to industrial aerosols on clinical and functional parameters of broncho-pulmonary system in aluminium production workers // Gig. i sanit. — 2016. — 12. — P. 1160–1163 (in Russian).

2. Roslyy O.F., Roslaya N.A., Slyshkina T.V., Fedoruk A.A. Occupational medicine in production and processing of nonferrous alloys. — Ekaterinburg, 2012. — 223 p. (in Russian).

3. Shayakhmetov S.F., Lisetskaya L.G., Meshchakova N.M., Merinov A.V. Hygienic evaluation of toxic dust factor in aluminium enterprise of East Siberia // Gig. i sanit. — 2016. — Vol. 95. — 12. — P. 1163–1167 (in Russian).

4. Amato F., Pandolfi M., Moreno T. et al. Sources and Variability of Inhalable Road Dust Particles in Three European Cities // Atmospheric Environment. — 2011. — Vol. 45. — №37. — P. 6777–6787

5. L'vov B.V., Polzik L.K., Weinbruch S. et al. Theoretical Aspects of Fluoride Air Contaminant Formation in Aluminium Smelter Potrooms. // J. Environ. Monit. — 2005. — Vol. 7, P. 425–430.

6. Thomassen Y., Koch W., Dunkhorst W. et al. Ultrafine Particles at Workplace of a Primary Aluminium Smelter // J. Environ. Monit. 2006. — Vol. 8. — Is. 1. — P. 127–133.

Поступила 9.08.2017

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Шаяхметов Салим Файзыевич (Shayakhmetov S.F.),
вед. науч. сотр. лаб. аналитич. экотоксикологии и биомониторинга ФГБНУ ВСИМЭИ, проф. каф. гиг. и профпат. ИГМАПО — филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава РФ, д-р мед. наук, проф. E-mail: imt@irmail.ru.

Лисецкая Людмила Гавриловна (Lisetskaya L.G.),
науч. сотр. лаб. аналитич. экотоксикологии и биомониторинга ФГБНУ ВСИМЭИ, канд. биол. наук. E-mail: labchem99@gmail.com.

Меринов Алексей Владимирович (Merinov A.V.),
мл. науч. сотр. лаб. аналитич. экотоксикологии и биомониторинга ФГБНУ ВСИМЭИ. E-mail: alek-merinov@mail.ru.