

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ВЗВЕШЕННОЙ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

В.А. Красилова¹, Е.Л. Коссович¹, Д.И. Гаврилова¹, М.М. Козырев¹

¹ ГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: vera.prosina2017@yandex.ru

Аннотация: Пыление углей является одной из актуальных проблем в угольной промышленности, так как угольная пыль может загрязнять атмосферный воздух, почвы и водные объекты. В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 пыль каменного угля внесена в перечень загрязняющих атмосферный воздух веществ. Отмечено, что для почв и водных объектов отсутствуют маркерные вещества, указывающие на то, что причиной загрязнения этих объектов является именно угольная пыль. Наличие информации о содержании в углях взвешенной пыли, ее гранулометрическом составе и концентрации потенциально опасных элементов позволит выявить перечень маркерных веществ — потенциальных загрязнителей почв и водных объектов. Дано описание новой лабораторной установки, предназначенной для улавливания и концентрирования тонкодисперсной пыли, содержащейся в рядовых углях или товарной продукции и способной находиться во взвешенном состоянии. Приведены результаты экспериментальных исследований на лабораторной установке по улавливанию взвешенной угольной пыли из товарных углей. Определено количественное содержание взвешенной пыли в углях разных марок, проведен анализ ее гранулометрического состава. Установлено, что по сравнению с исходными углями угольная пыль характеризуется большей зольностью, а содержание в ней серы практически не изменяется.

Ключевые слова: лабораторная установка, взвешенная угольная пыль, концентрирование, идентификация, потенциально опасные элементы, гранулометрический анализ, нормирование, экологический ущерб.

Благодарность: Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант №18-77-10052).

Для цитирования: Красилова В. А., Коссович Е. Л., Гаврилова Д. И., Козырев М. М. Лабораторная установка для улавливания и концентрирования взвешенной угольной пыли // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6. – С. 121–130. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_121.

Laboratory installation for collection and concentration of airborne coal dust

V.A. Krasilova¹, E.L. Kossovich¹, D.I. Gavrilova¹, M.M. Kozyrev¹

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia,
e-mail: vera.prosina2017@yandex.ru

Abstract: Coal dusting is one of the urgent problems of the coal industry, since coal dust can pollute the air, soils and water objects. In accordance with SanPiN 1.2.3685-21, coal dust is

included in the list of air pollutants. It was noted that there are no marker substances for soils and water objects, indicating that coal dust is the source of their pollution. The availability of information on the content of airborne dust in coals, its granulometric composition and the concentration of potentially hazardous elements will make it possible to identify a list of marker substances, i.e. potential pollutants of soils and water objects. This article describes a new laboratory installation designed to capture and concentrate fine dust contained in ordinary coals or commercial products that is capable of being in an airborne state. Experimental results studies on a laboratory installation for trapping suspended coal dust from commercial coals are presented. The quantitative content of airborne dust in coals of different rank was determined, granulometric composition of dust samples was analyzed. It has been established that, in comparison with the original coals, dust is characterized by a higher ash contents, and the sulfur content in it changes insignificantly.

Key words: laboratory installation, airborne coal dust, concentration, identification, potentially hazardous elements, sieve analysis, regulation, environmental damage.

Acknowledgements: The work was supported by the Russian Science Foundation, Grant No 18-77-10052.

For citation: Krasilova V. A., Kossovich E. L., Gavrilova D. I., Kozyrev M. M. Laboratory installation for collection and concentration of airborne coal dust. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6):121-130. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_121.

Введение

Проблема угольной пыли является одной из актуальных в угольной промышленности. Угольная пыль может загрязнять атмосферный воздух, почвы и водные объекты [1, 2]. Пыль каменного угля введена в перечень загрязняющих атмосферный воздух веществ в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Для идентификации угольной пыли и определения ее концентрации в атмосферном воздухе существует методика МУК 4.3.3593-19. «Методика измерений массовой концентрации угольной пыли и взвешенных частиц, в том числе аэрозолей фиброгенного действия, в атмосферном воздухе и в воздухе рабочей зоны гравиметрическим методом», основанная на измерении массовой концентрации угольной пыли в воздухе гравиметрическим методом с использованием аэрозольных филь-

ров АФА-ВП-20-1, которые поглощают взвешенные частицы из пропущенного через фильтры объема воздуха. После кислотной минерализации фильтров АФА-ВП-20-1 определяют массу угольной пыли на волокнах ткани фильтра. Этот метод позволяет дифференцировать угольную пыль от неорганической пыли. Многочисленные исследования показали, что содержащийся в угольной пыли диоксид кремния может быть причиной заболеваний пневмокониоза [3–5]. В работах [5, 6] показано, что содержание в пыли потенциально опасных элементов (ПОЭ) приводит к аллергическим заболеваниям, флуорозу, селенозу и др.

С другой стороны, тонкодисперсная угольная пыль способна длительное время находиться в атмосферном воздухе, перемещаться с ним и оседать на почвах, растительности и попадать в водные объекты. В работах [7–9] показано, что угольная пыль является источником загрязнений воздуха ПОЭ и дальнейшего

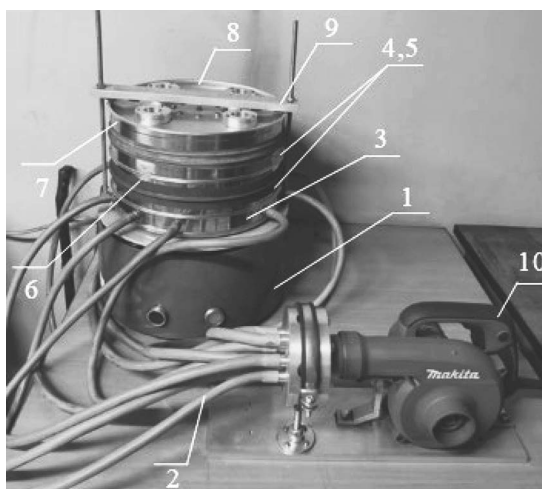
их переноса на значительные расстояния, превышающие зоны, регламентированные как «вблизи угольных предприятий». Почвы и воды также могут загрязняться тяжелыми металлами и другими ПОЭ вследствие контакта с тонкодисперсной угольной пылью [10–14], что приводит к накоплению ПОЭ в растениях.

Следует отметить, что для почв и водных объектов в настоящее время отсутствуют маркерные вещества, относительно которых можно было бы судить о том, что причиной загрязнения этих объектов является именно угольная пыль. В значительной степени это связано с отсутствием информации о содержании в углях взвешенной угольной пыли и ее составе, особенно о содержании и формах нахождения в ней потенциально опасных макро- и микроэлементов (ПОЭ), нормированные концентрации которых (ПДК) в почвах и водах установлены в СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Тонкодисперсная взвешенная угольная пыль (с размерами частиц менее 50 мкм) образуется в результате механических воздействий на уголь в процессах его добычи, переработки, транспортировки и т.п. [15]. Информация о содержании в углях взвешенной пыли и ее составе может быть использована для нормирования концентрации пыли в воздухе рабочей зоны в соответствии с приказом № 59 от 28 января 2021 года «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды», а также при оценке возможного ущерба от загрязнения почв и вод с учетом рассеивания пыли на разных расстояниях от предприятия на основании приказов № 238 от 8 июля 2010 года «Об утверж-

дении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» (с изменениями на 18 ноября 2021 год); № 87 от 13 апреля 2009 года «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства» (с изменениями на 26 августа 2015 года); № 273 от 6 июня 2017 года «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе».

В настоящее время существует тест Rio Tinto Dust Tumbler, регламентированный стандартом International standard ISO 20905. Coal preparation – Determination of dust/moisture relationship for coal. First edition 2004.07.15. Этот тест позволяет измерять количество выделяющейся из угля пыли в зависимости от влажности воздуха. Тест Rio Tinto Dust Tumbler основан на улавливании угольной пыли, которая попадает в воздух во время перемешивания угля во вращающемся барабане при контролируемой температуре и влажности воздуха. Угольную пыль с частицами до 150 мкм собирают в предварительно взвешенный фильтр-мешок. Метод применяют для оценки эффективности методов пылеподавления, а также для определения требований к влажности продукции при погрузочно-разгрузочных работах. Однако конструкционные особенности барабана и соотношение его объема и массы испытываемого угля не позволяют количественно выделить тонкодисперсную пыль с размерами частиц менее 50 мкм для ее дальнейшего изучения.

Настоящая работа посвящена разработке новой лабораторной установки для улавливания и концентрирования тонкодисперсной пыли, содержащейся в рядовых углях или товарной продукции и способной находиться во взве-



- 1 – вибропривод
- 2 – трубки для подачи воздуха
- 3 – поддон
- 4, 5 – вставки
- 6 – сито
- 7 – пылесборник
- 8 – крышка
- 9 – устройство крепления
- 10 – воздуходувка «Makita»

Рис. 1. Внешний вид лабораторной установки
 Fig. 1. Appearance of the laboratory installation

шенном состоянии. Лабораторная установка позволяет отбирать представительные объемы взвешенной пыли для определения ее гранулометрического состава, содержания и форм нахождения ПОЭ, а также для оценки других характеристик.

Описание лабораторной установки

Внешний вид лабораторной установки показан на рис. 1. Блок-схема установки (рис. 2).

Установка реализована на основе комплекса по рассеву угля (Ротап АС-200у)

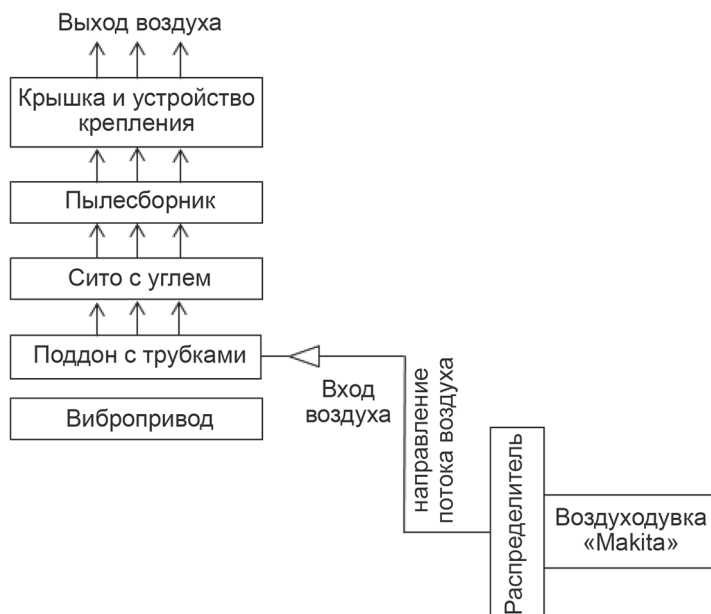


Рис. 2. Блок-схема лабораторной установки
 Fig. 2. Block diagram of the laboratory installation

и воздуходувки с регулируемой скоростью подачи воздуха.

Основные части лабораторной установки показаны на рис. 1. Устройство крепления 9 состоит из траверсы с двумя прижимами, двух шпилек, двух контргаек и двух гаек. В крышке имеются 4 технологических отверстия с сетками, предназначенные для свободного выхода воздуха. В отверстиях установлены фильтры АФА-ВП для предотвращения потерь угольной пыли. Поддон, сито, вставки и пылесборник фиксируются на плите вибропривода и закрепляются при помощи устройства крепления. Сито представляет собой круглую сварную обечайку из нержавеющей стали с установленным в ней просеивающим элементом. В качестве просеивающего элемента используется металлическая сетка с размером ячеек 0,2 мм.

Пробу получают путем рассева рядового (или товарного) угля в соответствии с ГОСТ 2093 «Топливо твердое. Ситовый метод определения гранулометрического состава». Для выделения угольной пыли используют подрешетный продукт после сита с размером ячеек 3 мм. Полученную таким образом пробу предварительно кондиционируют, а после достижения ею воздушно-сухого состояния отбирают представительную часть пробы для испытания на лабораторной установке. Масса пробы для испытаний составляет не менее 500 г.

Пробу угля помещают на сито лабораторной установки, после чего сито,

вставки и пылесборник фиксируют на плите вибропривода при помощи устройства крепления. Воздуходувку включают на минимальную скорость $\approx 4,3$ м/с, и запускают вибропривод. Вибрации обеспечивают движение частиц по просеивающей поверхности — от центра к периферии. Частицы надрешетного продукта остаются на сите, остальные просыпаются через сито в поддон. Поток воздуха, идущий через 9 трубок от воздуходувки к поддону, поднимает образовавшуюся угольную пыль, которая оседает в пылесборнике. Схема движения воздуха изображена на рис. 2. После проведения испытания выделенную пыль удаляют из пылесборника и взвешивают.

Результаты улавливания и концентрирования пыли из товарных углей

Для исследований были взяты товарные угли КС концентрат (0-100), ССОМСШ, ТОМСШ Кузнецкого угольного бассейна. В табл. 1 приведены показатели технического анализа исходных проб углей. В табл. 2 приведены результаты, полученные при выделении тонкодисперсной угольной пыли из товарных углей на лабораторной установке.

Максимальное количество пыли было выделено из пробы угля № 2 (6,3%). Количество тонкодисперсной пыли, выделенной из проб углей № 1 и № 3, составило 5,8% и 3,6% соответственно.

Гранулометрический состав уловленной пыли определяли на приборе Ана-

Таблица 1

Показатели технического анализа исходных проб углей Indices of proximate analysis of the coals samples

№ пробы	Марка угля	W^t , %	W^a , %	A^d , %	S_t^d , %
1	КС	12,1	1,1	11,2	0,33
2	ССОМСШ	11,4	1,4	9,1	0,28
3	ТОМСШ	11,4	1,1	8,9	0,30

Примечание: W^t — массовая доля общей влаги; W^a — массовая доля влаги в аналитической пробе; A^d — зольность на сухое состояние топлива; S_t^d — содержание общей серы на сухое состояние.

Таблица 2

Количество взвешенной пыли, уловленной на лабораторной установке
The amount of fine dust captured using a laboratory installation

№ пробы	Марка угля	Количество (%) уловленной пыли
1	КС	5,8
2	ССОМСШ	6,3
3	ТОМСШ	3,6

lysette 22 NeXT Nano (FRITSCH, Германия) методом лазерной дифракции в соответствии с [16]. Гранулометрический состав пыли приведен в табл. 3–4 и на рис. 3, средний размер частиц приведен в табл. 5.

Угольная пыль, выделенная из разных товарных углей, отличается по своему гранулометрическому составу. Так, содержание частиц с размерами до 10 мкм в пыли составляет 25,3–35,3%. При этом содержание в пыли частиц менее 2,5 мкм

Таблица 3

Гранулометрический состав пыли
Granulometric composition of dust

Диапазон размеров частиц, мкм	Распределение частиц по размерам, %		
	пыль угля № 1	пыль угля № 2	пыль угля № 3
0,0–10,0	29,8	35,3	25,3
10,0–50,0	66,6	63,1	63,7
50,0–100,0	3,6	1,6	10,8

Таблица 4

Гранулометрический состав пыли по узким классам крупности частиц
Granulometric composition of dust by narrow particle size classes

Диапазон размеров частиц, мкм	Распределение частиц по размерам, %		
	пыль угля № 1	пыль угля № 2	пыль угля № 3
0,0–2,5	6,1	7,4	4,7
2,5–5,0	6,7	8,2	7,3
5,0–10,0	17,0	19,7	13,3
10,0–20,0	31,7	33,3	24,3
20,0–30,0	19,7	18,3	18,7
30,0–40,0	10,3	8,2	12,7
40,0–50,0	5,0	3,3	8,1
>50,0	3,6	1,6	10,8

Таблица 5

Средний размер частиц угольной пыли
Mean sizes of coal dust particles

№ пробы	Марка угля	Средний размер, мкм	СКО среднего размера, мкм
Пыль угля № 1	КС	18,3	13,5
Пыль угля № 2	ССОМСШ	16,3	11,5
Пыль угля № 3	ТОМСШ	23,5	21,3

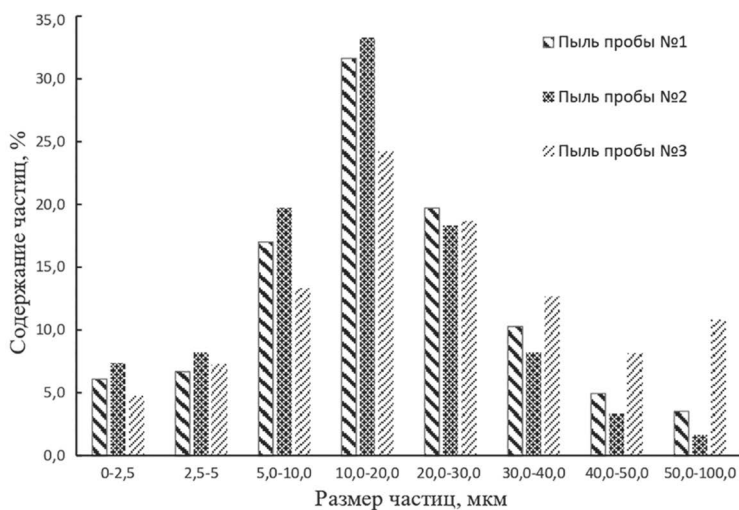


Рис. 3. Содержание частиц угольной пыли
 Fig. 3. Contents of particles of coal dust by size classes

Таблица 6

Технический анализ угольной пыли
Proximate analysis of coal dust

№ пробы	Марка	W ^a , %	A ^d , %	S _t ^d , %
Пыль угля № 1	КС	0,8	14,0	0,31
Пыль угля № 2	ССОМСШ	1,0	10,1	0,25
Пыль угля № 3	ТОМСШ	0,8	9,7	0,34

находится в диапазоне 4,7–7,4%. Отмечено, что пыль, полученная из угля № 3, содержит до 10,8% частиц с размерами более 50 мкм, что может быть связано с различием в плотности пыли разных углей за счет разной зольности.

Полученные результаты анализа гранулометрического состава показали, что из исследуемых товарных углей выделяется сравнительно высокая доля тонкодисперсной (взвешенной) угольной пыли (менее 2,5 и 10 мкм), содержание которой определяет нормируемую концентрацию в атмосферном воздухе взвешенных частиц размером PM_{2,5} и PM₁₀.

В табл. 6 приведены данные технического анализа уловленной пыли.

Сопоставление данных табл. 6 и 1 показало, что состав пыли отличается от исходного товарного угля. Показано, что

зольность пыли превышает зольность углей на 0,8–2,8% абс. Содержание серы (S_t^d) в пробах пыли № 1 и № 2 ниже, чем в пробах соответствующих углей. Отмечено, что содержание серы в пробе пыли угля № 3 незначительно превышает ее содержание в угле.

Выводы

Разработана лабораторная установка, позволяющая улавливать и концентрировать представительные объемы взвешенной пыли из проб товарных углей.

Проведены экспериментальные исследования по выделению тонкодисперсной (взвешенной) угольной пыли из товарных углей на разработанной лабораторной установке.

Определено количественное содержание пыли в углях разных марок Куз-

нецкого угольного бассейна. Показано, что по сравнению с углем угольная пыль характеризуется большей зольностью. При этом содержание серы в пыли изменяется по сравнению с исходными углями незначительно. Полученная информация о содержании в углях взве-

шенной пыли и ее составе может быть использована для нормирования концентрации пыли в воздухе рабочей зоны, а также при оценке возможного экологического ущерба от загрязнения почв и вод с учетом рассеивания пыли на разных расстояниях от предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавлева Н. В., Хабибулина Е. Р., Журавлева Е. В., Михайлова Е. С., Исмагилов З. Р. Вопросы контроля концентраций углеродсодержащей пыли в атмосферном воздухе при добыче и переработке угля // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2020. — № 3. — С. 33–44. DOI: 10.26730/1999-4125-2020-3-33-44.

2. Кириченко К. Ю., Холодов А. С., Вахнюк И. А., Гусев Д. С., Кирьянов А. В., Дрозд В. А., Голохваст К. С. Исследование загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсной угольной пылью (г. Находка, Приморский край) // Вестник Камчатского государственного технического университета. — 2019. — № 50. — С. 6–12. DOI: 10.17217/2079-0333-2019-50-6-13.

3. Erol I., Aydin H., Didari V., Ural S. Pneumoconiosis and quartz content of respirable dusts in the coal mines in Zonguldak, Turkey // International Journal of Coal Geology. 2013, vol. 116–117, pp. 26–35. DOI: 10.1016/j.coal.2013.05.008.

4. Page S. J., Organiscak J. A. Suggestion of a cause-and-effect relationship among coal rank, airborne dust, and incidence of workers' pneumoconiosis // Aihaj. 2000, vol. 61, no. 6, pp. 785–787.

5. Liu T., Liu S. The impacts of coal dust on miners' health. A review // Environmental Research. 2020, vol. 190, no. 3-4, article 109849. DOI: 10.1016/j.envres.2020.109849.

6. Dai S., Ren D., Chou C. L., Finkelman R. B., Seredin V. V., Zhou Y. Geochemistry of trace elements in Chinese coals. A review of abundances, genetic types, impacts on human health, and industrial utilization // International Journal of Coal Geology. 2012, vol. 94, pp. 3–21. DOI: 10.1016/j.coal.2011.02.003.

7. Rout T. K., Masto R. E., Ram L. C., George J., Padhy P. K. Assessment of human health risks from heavy metals in outdoor dust samples in a coal mining area // Environmental Geochemistry and Health. 2013, vol. 35, no. 3, pp. 347–356. DOI: 10.1007/s10653-012-9499-2.

8. Rout T. K., Masto R. E., Padhy P. K., George J., Ram L. C., Maity S. Dust fall and elemental flux in a coal mining area // Journal of Geochemical Exploration. 2014, vol. 144, Part C, pp. 443–455. DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.04.003.

9. Кара-Сал И. Д. Содержание тяжелых металлов в снежном покрове города Кызыла // Вестник Тывинского государственного университета. — 2009. — № 3. — С. 36–39.

10. Masto R. E., Ram L. C., George J., Selvi V. A., Sinha A. K., Verma S. K., Rout T. K., Priyadarshini P. P. Impacts of opencast coal mine and mine fire on the trace elements' content of the surrounding soil vis-à-vis human health risk // Toxicological and Environmental Chemistry. 2011, vol. 93, no. 2, pp. 223–237. DOI: 10.1080/02772248.2010.510922.

11. Galhardi J. A., García-Tenorio R., Díaz Francés I., Bonotto D. M., Marcelli M. P. Natural radionuclides in lichens, mosses and ferns in a thermal power plant and in an adjacent coal mine area in southern Brazil // Journal of Environmental Radioactivity. 2017, vol. 16, pp. 43–53. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.11.009.

12. Bhuiyan M. A. H., Parvez L., Islam M. A., Dampare S. B., Suzuki S. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh // Journal of Hazardous Materials. 2010, vol. 173, no. 1–3, pp. 384–392. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.08.085.

13. Zhou X., Bi X., Li X., Li S., Chen J., He T., Li Z. Fate of cadmium in coal-fired power plants in Guizhou, Southwest China: With emphasis on updated atmospheric emissions // *Atmospheric Pollution Research*. 2020. vol. 11, no. 5, pp. 920–927. DOI: 10.1016/j.apr.2020.02.004.
14. Журавлева Н. В. Методы оценки влияния процессов добычи и переработки углей Кузнецкого угольного бассейна на экологическое состояние природной среды // *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. — 2016. — № 4. — С. 102–112.
15. Эпштейн С. А., Коссович Е. Л., Вишневская Е. П., Агарков К. В., Колиух А. В. Определение общей аэрозольной и тонкодисперсной пыли в углях // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 6. — С. 5–14. DOI: 10.25018/02361493-2020-6-0-5-14.
16. Красилова В. А., Эпштейн С. А., Коссович Е. Л., Козырев М. М., Ионин А. А. Разработка методики измерений гранулометрического состава угольной пыли методом лазерной дифракции // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2022. — № 2. — С. 5–16. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_5. **IVAB**

REFERENCES

- Zhuravleva N. V., Khabibulina E. R., Zhuravleva E. V., Mikhaylova E. S., Ismagilov Z. R. Carbon-containing dust concentrations control in the atmospheric air during coal mining and processing. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2020, no. 3, pp. 33–44. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2020-3-33-44.
- Kirichenko K. Yu., Kholodov A. S., Vakhniuk I. A., Gusev D. S., Kiryanov A. V., Drozd V. A., Golokhvast K. S. Research of air pollution with fine coal dust (Nakhodka, Primorsky krai). *Bulletin of Kamchatka State Technical University*. 2019, no. 50, pp. 6–12. [In Russ]. DOI: 10.17217/2079-0333-2019-50-6-13.
- Erol I., Aydin H., Didari V., Ural S. Pneumoconiosis and quartz content of respirable dusts in the coal mines in Zonguldak, Turkey. *International Journal of Coal Geology*. 2013, vol. 116–117, pp. 26–35. DOI: 10.1016/j.coal.2013.05.008.
- Page S. J., Organiscak J. A. Suggestion of a cause-and-effect relationship among coal rank, airborne dust, and incidence of workers' pneumoconiosis. *Aihaj*. 2000, vol. 61, no. 6, pp. 785–787.
- Liu T., Liu S. The impacts of coal dust on miners' health. A review. *Environmental Research*. 2020, vol. 190, no. 3–4, article 109849. DOI: 10.1016/j.envres.2020.109849.
- Dai S., Ren D., Chou C. L., Finkelman R. B., Seredin V. V., Zhou Y. Geochemistry of trace elements in Chinese coals. A review of abundances, genetic types, impacts on human health, and industrial utilization. *International Journal of Coal Geology*. 2012, vol. 94, pp. 3–21. DOI: 10.1016/j.coal.2011.02.003.
- Rout T. K., Masto R. E., Ram L. C., George J., Padhy P. K. Assessment of human health risks from heavy metals in outdoor dust samples in a coal mining area. *Environmental Geochemistry and Health*. 2013, vol. 35, no. 3, pp. 347–356. DOI: 10.1007/s10653-012-9499-2.
- Rout T. K., Masto R. E., Padhy P. K., George J., Ram L. C., Maity S. Dust fall and elemental flux in a coal mining area. *Journal of Geochemical Exploration*. 2014, vol. 144, Part C, pp. 443–455. DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.04.003.
- Kara-Sal I. D. Heavy metal content in the snow cover of the city of Kyzyl. *Bulletin of Tuva State University*. 2009, no. 3, pp. 36–39. [In Russ].
- Masto R. E., Ram L. C., George J., Selvi V. A., Sinha A. K., Verma S. K., Rout T. K., Priyadarshini P. P. Impacts of opencast coal mine and mine fire on the trace elements' content of the surrounding soil vis-à-vis human health risk. *Toxicological and Environmental Chemistry*. 2011, vol. 93, no. 2, pp. 223–237. DOI: 10.1080/02772248.2010.510922.
- Galhardi J. A., García-Tenorio R., Díaz Francés I., Bonotto D. M., Marcelli M. P. Natural radionuclides in lichens, mosses and ferns in a thermal power plant and in an adjacent coal mine

area in southern Brazil. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2017, vol. 16, pp. 43–53. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.11.009.

12. Bhuiyan M. A. H., Parvez L., Islam M. A., Dampare S. B., Suzuki S. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*. 2010, vol. 173, no. 1–3. pp. 384–392. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.08.085.

13. Zhou X., Bi X., Li X., Li S., Chen J., He T., Li Z. Fate of cadmium in coal-fired power plants in Guizhou, Southwest China: With emphasis on updated atmospheric emissions. *Atmospheric Pollution Research*. 2020. vol. 11, no. 5, pp. 920–927. DOI: 10.1016/j.apr.2020.02.004.

14. Zhuravleva N. V. Methods of assessing the impact of extraction and processing of coal of the Kuznetsk coal basin on the ecological state of the environment. *Industrial Safety*. 2016, no. 4, pp. 102–112. [In Russ].

15. Epshtein S. A., Kossovich E. L., Vishnevskaya E. P., Agarkov K. V., Koliukh A. V. Determination of total and fine airborne dust in coals. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 5–14. [In Russ]. DOI: 10.25018/02361493-2020-6-0-5-14.

16. Krasilova V. A., Epshtein S. A., Kossovich E. L., Kozyrev M. M., Ionin A. A. Development of method for coal dust particle size distribution characterization by laser diffraction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 2, pp. 5–16. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_5.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Красилова Вера Алексеевна*¹ — аспирант,

инженер научного проекта,

e-mail: vera.prosina2017@yandex.ru,

*Коссович Елена Леонидовна*¹ — канд. физ.-мат. наук,

старший научный сотрудник,

e-mail: e.kossovich@misis.ru,

*Гаврилова Дарья Ивановна*¹ — канд. техн. наук,

младший научный сотрудник,

e-mail: gavrilova4049@mail.ru,

*Козырев Михаил Маратович*¹ — студент,

лаборант-исследователь,

e-mail: cozyrev.misha@yandex.ru,

¹ НУИЛ «Физико-химии углей», ГИ НИТУ «МИСиС».

Для контактов: Красилова В.А., e-mail: vera.prosina2017@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*V.A. Krasilova*¹, Graduate Student, Engineer,

e-mail: vera.prosina2017@yandex.ru,

*E.L. Kossovich*¹, Cand. Sci. (Phys. Mathem.),

Senior Researcher, e-mail: e.kossovich@misis.ru,

*D.I. Gavrilova*¹, Cand. Sci. (Eng.),

Junior Researcher, e-mail: gavrilova4049@mail.ru,

*M.M. Kozyrev*¹, Student, Laboratory Assistant,

e-mail: cozyrev.misha@yandex.ru,

¹ Scientific-Educational Testing Laboratory

of Physics and Chemistry of Coals, Mining Institute,

National University of Science and Technology «MISiS»,

119049, Moscow, Russia.

Corresponding author: V.A. Krasilova, e-mail: vera.prosina2017@yandex.ru.

Получена редакцией 08.04.2022; получена после рецензии 20.04.2022; принята к печати 10.05.2022.

Received by the editors 08.04.2022; received after the review 20.04.2022; accepted for printing 10.05.2022.