ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(11-1):328–337
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.725 : 535.3 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_328

О НИЖНИХ ГРАНИЦАХ КЛАССОВ КРУПНОСТИ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМ ОБОГАЩЕНИИ РУДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СЕПАРАЦИИ

Т. Ю. Овчинникова[1], Т. А. Ефремова[2], Е. Ф. Цыпин[1]

[1] Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия;
[2] АО «Уралмеханобр», Екатеринбург, Россия.

Аннотация: Информационные методы обогащения являются перспективным направлением в обогащении полезных ископаемых в крупнокусковом виде. Использование поверхностных признаков разделения в таких информационных методах обогащения, как оптический, рентгенолюминесцентный и особенно рентгенофлуоресцетный, диктует необходимость обосновать границы машинных классов крупности, так как именно крупность частиц при схожем элементном составе влияет на значение признака разделения – спектральное отношение (аналитический параметр). Целью работы является установление приемлемых границ классов сортировки для сепараторов, использующих измерительные системы коллиматорного типа. В ходе выполнения работы проводились эксперименты по разделению на рентгенофлуоресцентном сепараторе СРФ-100Л кускового материала в виде искусственных образцов, имеющих различные размеры и массовые доли компонентов. Последующая математическая обработка результатов включала анализ зависимости поверхностного признака разделения – спектрального отношения – и расчёт коэффициента вариации этой величины. Исследованиями установлено следующее: нижняя граница крупности машинного класса должна составлять не менее половины длины коллиматора, при такой границе влияние среднего линейного размера куска на точность измерения содержаний элементов в куске уменьшается. Результаты могут использоваться при выборе границ машинных классов материала, обогащаемого на рентгенофлуоресцентных сепараторах коллиматорного типа.

Ключевые слова: предварительное обогащение, рентгенофлуоресцентная сепарация, класс крупности, геометрия измерения, спектральное отношение, аналитический параметр, коэффициент вариации, нижняя граница крупности.

Для цитирования: *Овчинникова Т. Ю., Ефремова Т. А., Цыпин Е. Ф.* О нижних границах классов крупности при предварительном обогащении руды с использованием рентгенофлуоресцентной сепарации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 11-1. – С. 328–337. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_328.

Lower size grade limits in ore pretreatment using X-ray fluorescent separation

T. Yu. Ovchinnikova[1], T. A. Efremova[2], E. F. Tsypin[1]

[1] Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia;
[2] Uralmekhanobr, Yekaterinburg, Russia

© Т. Ю. Овчинникова1, Т. А. Ефремова2, Е. Ф. Цыпин. 2021

Abstract: The information-based dressing is a promising approach to coarse mineral processing. The use of surface indicators of separation in such information-based dressing techniques as optical, X-ray luminescence and, specifically, X-ray fluorescence processing, dictates justification of size grade boundaries since, given a similar composition of elements, this is the size that has influence on the separation indicator value—spectral ratio (analytical parameter). The aim of this study is to find admissible limits for size grades for separators using collimator-type measurement systems. In the framework of the studies, separation tests were carried out on X-ray fluorescent separator SRF-100l and with test material represented by artificial samples of different size and different mass factions of components. The subsequent mathematical processing of the results included the analysis of the spectral ratio as the surface indicator of separation and the calculation of variation factor of this value. The studies have found that the lower size limit should be not lower than the half length of the collimator. In this case, the influence of the average linear size of a particle on the measurement accuracy of the particle composition is reduced. The results can be use in selecting machine size grades for materials to be processed on collimator-type X-ray fluorescent separators.

Key words: X-ray fluorescent separation, size grade, measurement geometry, spectral ration, analytical parameter, variation factor, lower size grade limit.

For citation: Ovchinnikova T. Yu., Efremova T. A., Tsypin E. F. Lower size grade limits in ore pretreatment using X-ray fluorescent separation . *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(11-1):328—337. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_328.

Введение

Предварительное обогащение полезных ископаемых — одно из активно развивающихся направлений обогатительной технологии [1—5].

Одними из эффективных методов предварительного обогащения руд и техногенного сырья являются информационные методы сепарации [6—8], в основу которых положены операции измерения разделительных признаков отдельных кусков обогащаемого сырья, формирования разделительных признаков, принятия решения об удалении кусков определённого вида (то есть со значениями признака разделения выше или ниже граничного) и удаления их из потока питания в отдельный продукт. Среди них наибольшее распространение получили радиометрический (для обогащения урановых руд) [9], рентгенолюминесцентный (для обогащения алмазов) [10], рентгеноабсорбционный (для обогащения угля) [11], оптический (фотометрический), используемый при обогащении золотосодержащих руд [12] и неметаллических полезных ископаемых [13], рентгенофлуоресцентный и рентгеноабсорбционный — при обогащении руд цветных [14—16], чёрных [17, 18], благородных [14, 19] и редких [20] металлов и неметаллических полезных ископаемых.

Для части из упомянутых методов используются поверхностные признаки разделения, это относится к рентгенофлуоресцентному, рентгенолюминесцентному и большинству оптических методов сепарации. Для данных методов при покусковой сепарации важно обоснование границ машинных классов, поскольку изменение крупности частиц при одинаковом элементном составе влияет на значение признака разделения [21].

Одним из перспективных для использования в предварительном обогащении методов кусковой сепарации минерального сырья является рентгенофлуоресцентный [14]. Он находит применение при переработке раз-

Таблица
Массовые доли основных элементов искусственных образцов
Mass fractions of the main elements in artificial samples

Тип образца	Массовая доля, %		
	медь	свинец	цинк
Условно богатый	2,62	11,62	6,12
Условно средний	1,46	6,45	3,41
Условно бедный	0,013	0,035	0,045

личных видов руд и нерудного сырья. В рентгенофлуоресцентных сепараторах используется геометрия измерения «рентгеновская трубка — коллиматор — движущийся кусок — блок детектирования».

Для уменьшения погрешностей измерения рентгеновских характеристик кусков в качестве признака разделения (аналитического параметра) часто используют спектральное отношение числа импульсов вторичного характеристического рентгеновского излучения контролируемого компонента к числу импульсов рассеянного рентгеновского излучения [14].

Коллиматорная геометрия измерения требует согласования параметров (размеров) коллиматора и размеров сортируемых кусков.

Целью работы является установление приемлемых границ классов сортировки для сепараторов, использующих измерительные системы коллиматорного типа.

Было исследовано несколько образцов горных пород, получены и описаны зависимости характеристик рентгеновского излучения (характеристических элементов, рассеянного излучения, их спектральных отношений) от соотношения размеров куска и коллиматора [21]. В случае изучения образцов горных пород невозможно добиться постоянного элементного состава в зоне «измерения» сепаратора и потому оценить потенциальные погрешности определения содержаний компонентов.

В результате моделирования и анализа полученных результатов выделены зоны: зона с ярко выраженной зависимостью характеристик рентгеновского излучения от соотношения размеров куска и геометрии измерения; и зоны, где характеристики рентгеновского излучения практически не зависят от крупности куска (при размере куска, равным и более длины коллиматора).

Методика исследований

При изучении влияния размеров куска при фиксированных геометрических размерах коллиматора на значение аналитического параметра — спектрального отношения, — проведён эксперимент на искусственно созданных образцах с равномерным распределением массовой доли ценных компонентов (меди, свинца и цинка) по объёму, которое обеспечивалось за счёт использования для изготовления образцов рудного материала крупностью менее 0,071 мм с тщательным его перемешиванием с нейтральным по содержанию контролируемых компонентов композитом. Исследования проведены на сепараторе СРФ1—100Л с длиной коллиматора 75 мм и шириной 15 мм.

Искусственные образцы, имитирующие куски обогащаемого материала, выполнены в виде квадратных пластин толщиной 5 мм с размерами стороны 170, 100, 70, 60, 50, 40, 30, 20 и 10 мм, с равномерным распределением массо-

вой доли ценных компонентов по объёму образца. Были созданы образцы, имитирующие продукты разного качества по массовой доле полезных компо-

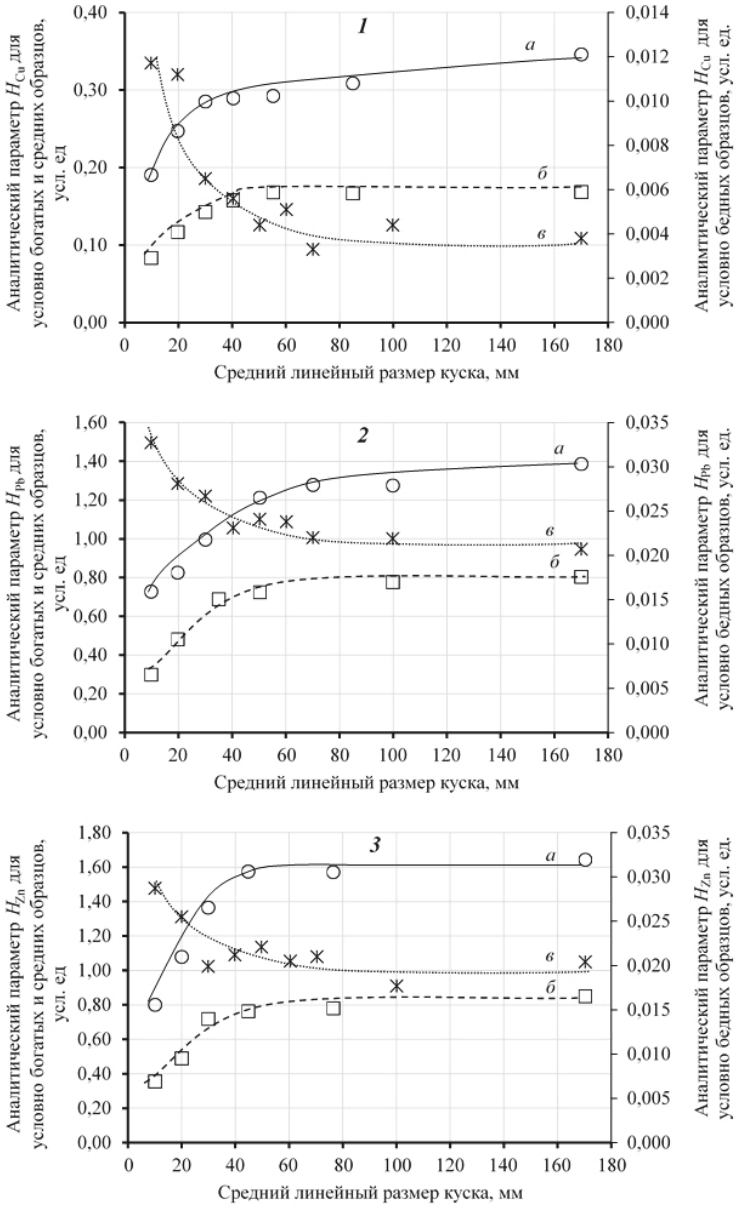

Рис. 1. Экспериментальные зависимости спектральных отношений H_{Cu} (1), H_{Pb} (2), H_{Zn} (3) искусственных образцов с различной массовой долей компонентов от среднего линейного размера куска в динамическом режиме (B = 15 мм, L= 75 мм): а — α_{Cu}=2,62%, α_{Pb}=11,62%, α_{Zn}=6,12%; б — α_{Cu}=1,46%, α_{Pb}=6,45%, α_{Zn}=3,41%; в — α_{Cu}=0,013%, α_{Pb}=0,035%, α_{Zn}=0,045%
Fig. 1. Experimental dependences of the spectral ratiosof artificial samples with different mass fractions of components H_{Cu} (a), H_{Pb} (b), H_{Zn} (c) on the average linear lump size in a dynamic mode

нентов: условно богатые, условно средние и условно бедные.

В таблице приведены массовые доли меди, свинца и цинка в продуктах, из которых сформированы образцы. Продукты получены путём смешивания силикатного клея (композита) с материалом, истёртым до крупности 0,071 мм, с известными значениями массовых долей ценных компонентов.

В качестве аналитических параметров выбраны следующие спектральные отношения *H*:

$$H_{Cu} = N_{Cu}/Ns,$$
$$H_{Pb} = N_{Pb}/Ns,$$
$$H_{Zn} = N_{Zn}/Ns,$$

где *H* представляет собой спектральное отношение интенсивностей в спектральных областях вторичного характе-

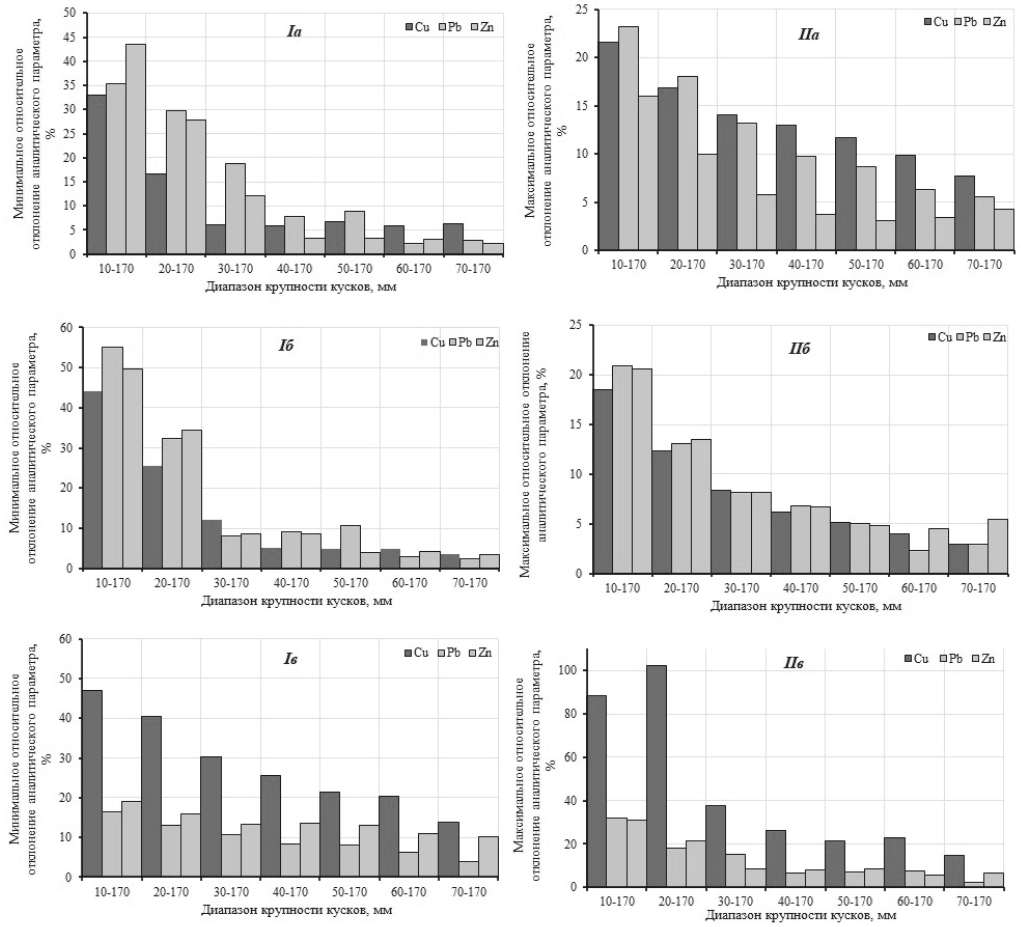

Рис. 2. Минимальные (I) и максимальные (II) относительные отклонения аналитического параметра при различных диапазонах крупности кусков с различной массовой долей компонентов:
а — α_{Cu}=2,62%, α_{Pb}=11,62%, α_{Zn}=6,12%;
б — α_{Cu}=1,46%, α_{Pb}=6,45%, α_{Zn}=3,41%;
в — α_{Cu}=0,013%, α_{Pb}=0,035%, α_{Zn}=0,045%
Fig. 2. Minimum (left column) and maximum (right column) relative deviations of the analytical parameter for different lump size ranges

ристического рентгеновского излучения меди (N_{Cu}), цинка (N_{Zn}), свинца (N_{Pb}), и области рассеянного первичного излучения *Ns*, усл. ед.

Спектральные отношения интенсивностей выбранных элементов к интенсивности рассеянного излучения каждого образца в динамическом режиме полу-

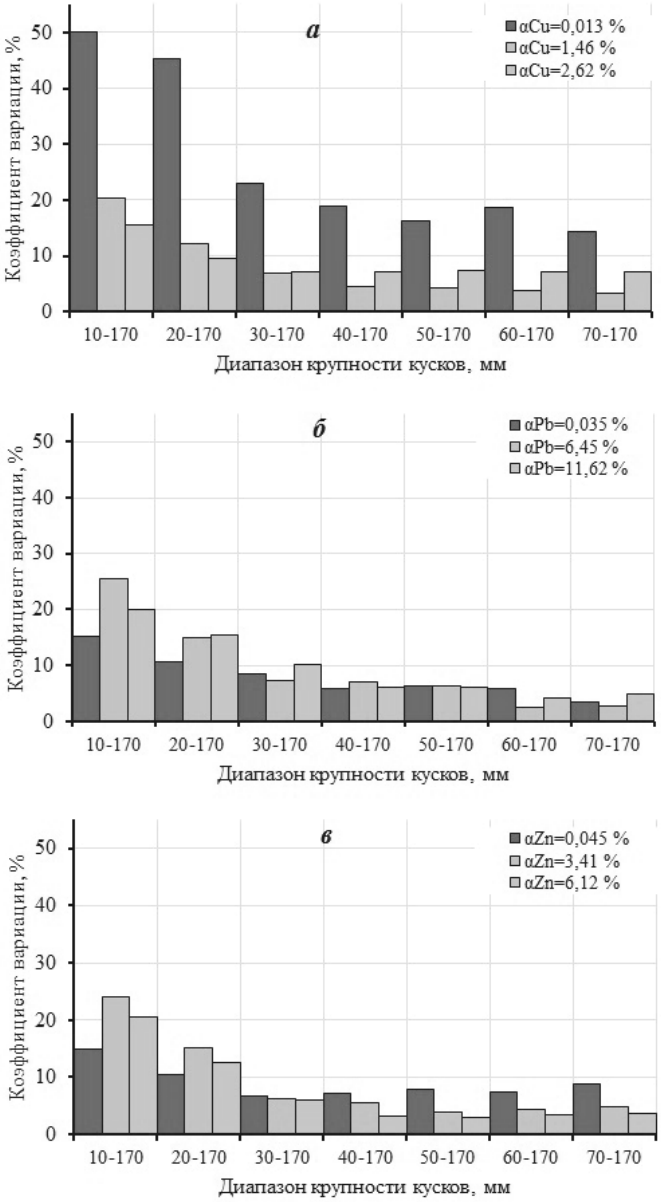

Рис. 3. Зависимость коэффициента вариации аналитического параметра по меди (а), свинцу (б) и цинку (в) с различной массовой долей компонента от диапазона крупности кусков
Fig. 3. Dependence of the variation coefficient of the analytical parameter for copper (a), lead (b) and zinc (c) with different mass fraction of the component on the lump size range

чены путём нескольких пробрасываний образца через измерительную систему сепаратора с определением среднего значения спектрального отношения.

Результаты исследований и их обсуждение

Зависимости средних значений спектрального отношения, полученные от каждого образца по меди, синцу и цинку для динамического режима от среднего линейного размера куска, приведены на рис. 1.

Для образцов с линейным размером меньше 75 мм (длина коллиматора) значение спектрального отношения для всех типов образцов и для всех трёх компонентов имеет выраженную зависимость от размера.

У образцов с высокими и средними значениями массовых долей компонентов с увеличением линейного размера увеличивается значение спектрального отношения. У образцов с низкими значениями массовых долей компонентов наблюдается увеличение спектрального отношения с уменьшением линейного размера. Это связано с тем, что значение интенсивности излучения от элемента в условно бедном образце меньше, чем интенсивность излучения от этого элемента, полученного от фона. Таким образом, при условии преобладания интенсивности излучения элемента в фоне над интенсивностью элемента в образце при его линейном размере, меньшем длины коллиматора, с уменьшением крупности сортируемого куска повышается значение спектрального отношения.

С целью определения нижней границы крупности проведён анализ изменчивости значений аналитического параметра от диапазонов крупности образцов.

На рис. 2 представлены значения максимальных относительных отклонений аналитического параметра от среднего значения рассматриваемого диапазона крупности кусков.

На рис. 3 представлены коэффициенты вариации для каждого рассматриваемого диапазона крупности образцов.

С расширением границ сортируемых кусков растут значения максимального относительного отклонения аналитического параметра от среднего значения рассматриваемого диапазона крупности.

Наиболее сильные отклонения наблюдаются для продукта с низкой массовой долей меди.

Нижней границей для разделения при отклонении опытных данных от выборочного среднего значения не более чем на 10% будет являться крупность кусков 30—40 мм, что соответствует отношению $L/D \approx 2$ (рис. 2).

Следует отметить, что для образцов с низкой массовой долей меди коэффициент вариации значительно выше, нежели для остальных образцов, минимальное значение коэффициента вариации составляет 15% для диапазона крупности 70—170 мм (рис. 3). Объясняется это весьма малыми содержаниями меди в образцах (0,013%), на уровне разрешающей способности блока детектирования.

Заключение

Геометрические параметры коллиматора необходимо согласовывать с крупностью исследуемого материала в связи со значимой зависимостью сигнала измерительной системы от соотношения длины коллиматора и размера куска. Нижняя граница разделяемого класса крупности должна составлять не менее половины длины коллиматора ($D_{min}/L \geqslant 0{,}5$). Такая граница позволит уменьшить влияние размера куска на точность измерения содержаний элементов в куске. При весьма малых содержаниях элементов минимальная граница машинного класса крупности должна быть увеличена (рис. 2, *Iв*).

Чрезмерное увеличение размеров кусков приведёт к существенному увеличению отношения *L/d* и, следовательно, к уменьшению контролируемой поверхности кусков, что при неравномерной минерализации приведёт к потере информации о куске.

Полученные результаты дают возможность обосновывать геометрические параметры коллиматора измерительной системы сепаратора, согласованные с минимальным размером куска машинного класса сортируемого материала.

Исследование будет продолжено на искусственных образцах с имитацией формы реальных кусков с различным характером минерализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бочаров В. А.*, *Игнаткина В. А.* Технология обогащения полезных ископаемых. Т. 1. — М.: Руда и металлы, 2007. — 472 с.
2. *Максимов И. И.* XXVII Международный конгресс по обогащению полезных ископаемых (часть 1) // Обогащение руд. 2015. № 3. — С. 3—11.
3. *Максимов И. И.* XXVII Международный конгресс по обогащению полезных ископаемых (часть 2) // Обогащение руд. 2015. № 6. — С. 50—58.
4. *Härkki K.* Overcoming sustainability challenges of future concentrator plants. Proceedings of the XXVII International Mineral Congress. Santiago, Chile, 2014 Chapter 1 Plenary Presentations. P. 2—22.
5. *Gleeson D.* Preceding processing // International Mining. March, 2019. — P. 82—87.
6. *Цыпин Е. Ф.*, *Овчинникова Т. Ю.*, *Ефремова Т. А.*, *Елизаров Д. Б.* Кластер информационных методов обогащения полезных ископаемых // Горно-информационный аналитический бюллетень. № 10. (Специальный выпуск 23). 2017. С. 483—493.
7. *Kolacz J.* Sensor based sorting with signal pattern recognition: The new powerful tool in mineral processing // Proceedings of the XXVII International Mineral Congress. Santiago, Chile, 2014. Chapter 16. Classification, screening and sorting. — P. 106—115.
8. *Кобзев А. С.* Направления развития и проблемы радиометрических методов обогащения минерального сырья // Обогащение руд. 2013. № 1. — С. 13—17.
9. *Татарников А. П.*, *Асонова Н. И.*, *Балакина И. Г.*, *Наумов М. Е.*, *Коновалов Г. Н.*, *Воеводин И. В.* Современные технологии и оборудование для радиометрического обогащения урановых руд // Горный журнал. 2007. № 2. С. 85—87.
10. *Яковлев В. Н.*, *Макалин И. А.*, *Иванов А. В.* Повышение извлечения алмазов и селективности процесса рентгенолюминесцентной сепарации при обогащении алмазосодержащих руд // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 6. — С. 50—53
11. *Алушкин И. В.*, *Щипчин В. Б.*, *Корнеев И. Г.* Рентген-радиометрическая сепарация от TOMRA Sorting для предварительного обогащения угля // Уголь. 2014. № 5. — С. 100—103.
12. *Рябкин В. К.*, *Литвинцев Э. Г.*, *Тихвинский А. В.*, *Корпенко И. А.*, *Пичугин А. Н.*, *Кобзев А. С.* Полихромная фотометрическая сепарация золотосодержащих руд // Горный журнал. 2007. № 12. С. 88—92.
13. *Ревнивцев В. И.* Фотометрическая сортировка — новый перспективный метод обогащения // Цветные металлы. 1969. № 5. С. 25—31.
14. *Фёдоров Ю. О.*, *Кацер И. У.*, *Коренев О. В.*, *Короткевич В. А.*, *Цой В. П.*, *Ковалев П. И.*, *Фёдоров М. Ю.*, *Поповский Н. С.* Опыт и практика рентгенорадиометрической сепарации руд // Известия вузов. Горный журнал. 2005. № 5. С. 21—37.
15. . *Санакулов К. С.*, *Руднев С. В.*, *Канцель А. В.* О возможности отработки месторождения «Учкулач» с использованием технологии рентгенорадиометрического обогащения свинцово-цинковых руд // Горный вестник Узбекистана. 2011. № 1(44). — С. 17—20.
16. *Lixia Lia, Genzhuang Lib, Huaizhe Lic, Guoqing Lib, Ding Zhangc, Bern Klein* Bench-scale insight into the amenability of case barren copper ores towards XRF-based bulk sorting // Minerals Engineering, Volume 121, 1 June 2018, P. 129—136.

17. *Старчик Л. П.*, *Касьян В. Т.* Рациональные классы крупности для радиометрической сепарации кусковых железных руд // Известия вузов. Горный журнал. 1985. № 2. — С. 107—112.

18. *Цыпин Е. Ф.*, *Ентальцев Е. В.*, *Шемякин В. С.*, *Скопов С. В.*, *Фёдоров Ю. О.*, *Пестов В. В.* Обогащение минерального и техногенного сырья с использованием рентгенорадиометрической сепарации // Сталь. 2009. № 6. С. 75—78.

19. *Санакулов К. С.*, *Руднев С. В.* Комплекс рентгенорадиометрического обогащения сульфидных руд месторождения «Кокпатас» // Горный вестник Узбекистана. 2010. № 1(40). — С. 3—7.

20. *Лагов Б. С.*, *Лагов П. Б.* Радиометрическая сортировка и сепарация твёрдых полезных ископаемых. М.: Учёба, 2007. 155 с.

21. *Цыпин Е. Ф.*, *Ефремова Т. А.*, *Овчинникова Т. Ю.*, *Елизаров Д. Б.* Влияние фракционирования по крупности на эффективность рентгенорадиометрической сепарации полиметаллической руды // Обогащение руд, № 3. 2018. С. 14—19. ГИАБ

REFERENCES

1. Bocharov V. A., Ignatkina V. A. *Tekhnologiya obogashcheniya poleznykh iskopayemykh* [Mineral dressing technology], vol. 1. Moscow, Ruda i metally Publishing House, 2007, 472 pp. [In Russ]

2. Maksimov I. I. *Obogashcheniye Rud* [Mineral Dressing]. *XXVII Mezhdunarodnyy kongress po obogashcheniyu (chast 1)* [The XXVII International Congress on Mineral Dressing (Part 1)], 2015, no. 3, pp. 3—11. DOI: 10.17580/or.2015.03.01. [In Russ]

3. Maksimov I. I. Baranov V. F., Bogdanovich A. V., Kibirev V. I. *Obogashcheniye Rud* [Mineral Dressing]. *XXVII Mezhdunarodnyy kongress po obogashcheniyu (chast 2)* [The XXVII International Congress on Mineral Dressing (Part 2)], 2015, no. 6, pp. 50—58. DOI: 10.17580/or.2015.06.10. [In Russ]

4. Härkki K. Overcoming sustainability challenges of future concentrator plants. Proceedings of the XXVII International Mineral Congress. Santiago, Chile, 2014, Chapter 1, Plenary Presentations, pp. 2—22.

5. Gleeson D. Preceding processing. International Mining. March, 2019, pp. 82—87.

6. Tsypin E. F., Efremova T. A., Ovchinnikova T. Yu., Elizarov D. B. [Cluster of information methods of mineral dressing]. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* no.10, 2017, pp. 483—492. [In Russ]

7. Kolacz J. Sensor based sorting with signal pattern recognition: The new powerful tool in mineral processing. Proceedings of the XXVII International Mineral Congress. Santiago, Chile, 2014. Chapter 16, Classification, screening and sorting, pp. 106—115.

8. Kobzev A. S. Development trends and problems related to sensor-based mineral sorting. *Obogashcheniye Rud* [Mineral Dressing], 2013, no. 1, pp. 13—17. [In Russ]

9. Tatarnikov A. P., Asonova N. I., Balkina I. G., Naumov M. E., Konovalov G. N., Voevodin I. V. Modern technologies and equipment for radiometric concentration of uranium ores. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal], 2007, no. 2, pp. 85—87. [In Russ]

10. Yakovlev V. N., Makalin I. A., Ivanov F. V. Improvement of diamond recovery and selectivity of the X-ray luminescence separation in the course of processing diamond bearing ores. *Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika* [Mining equipment and electrical engineering], 2009, no. 6. pp. 50—53. [In Russ]

11. Alushkin I. V., Shchipchin V. B., Korneev I. G. TOMRA Sorting X-ray radiometric separation for preliminary coal preparation. *Ugol'* [Coal], 2014, no. 5, pp. 100—103. [In Russ]

12. Ryabkin V. K., Litvintsev E. G., Tikhvinskii A. V., Korpenko I. A., Pichugin A. N., Kobzev A. S. Polychrome photometric separation of gold bearing ores. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal], 2007, no. 12. pp. 88—92. [In Russ]

13. Revnivtsev V. I. Photometric sorting as a new promising method of mineral dressing. *Tsvetnyye metally* [Non-ferrous metals], 1969, no. 5. pp. 25—31. [In Russ]

14. Fedorov Yu. O., Katser I. U., Korenev O. V., Korotkevich V. A., Tsoy V. P., Kovalev P. I., Fedorov M. Yu., Popovskiy N. S. Experience and practice of X-ray radiometric separation of ores. *Izvestiya Vuzov Gornyy Zhurnal* [Proceedings of higher schools. Mining Journal], 2005, no. 5, pp. 21—37. [In Russ]

15. Sanakulov K. S., Rudnev S. V., Kantsel A. V. On the possibility of the Uchkulach deposit development by means of the technology of X-ray radiometric processing of lead-zinc ores. *Gornyy Vestnik Uzbekistana* [Mining Bulletin of Uzbekistan], 2011, no. 1 (44). pp. 17—20. [In Russ]

16. Lixia Lia, Genzhuang Lib, Huaizhe Lic, Guoqing Lib, Ding Zhangc, Bern Klein Bench-scale insight into the amenability of case barren copper ores towards XRF-based bulk sorting. *Minerals Engineering*, Volume 121, 1 June 2018, pp. 129—136.

17. Starchik L. P., Kasyan V. T. Rational size classes for radiometric separation of lumpy iron ores. *Izvestiya Vuzov. Gornyy Zhurnal* [Proceedings of higher schools. Mining Journal], 1985, no 2, pp. 107—112. [In Russ]

18. Tsypin E. F., Ental'tsev E. V., Shemyakin V. S., Skopov S. V., Fedorov Y. O., Pestov V. V. Mineral dressing by X-ray radiometric separation. *Stal'* [Steel], 2009, no. 6. pp. 75—78.

19. Sanakulov K. S., Rudnev S. V. Complex for X-ray radiometric enrichment of the Kokpatas field sulphide bearing ores. *Gornyy Vestnik Uzbekistana* [Mining Bulletin of Uzbekistan], 2010, no. 1 (40). pp. 3—7. [In Russ]

20. Lagov B. S., Lagov P. B. *Radiometricheskaya sortirovka i separatsiya tvyordykh poleznykh iskopayemykh* [Radiometric sorting and separation of solid minerals]. Moscow, Uchyoba Publ., 2007, pp.155. [In Russ]

21. Tsypin E. F., Efremova T. A., Ovchinnikova T. Yu., Elizarov D. B. The effect of size fractionation on the efficiency of X-ray radiometric separation of polymetallic ore. *Obogashchenyie Rud* [Mineral Dressing], 2018, no. 3, pp. 13—17. DOI: 10.17580/or.2018.03.03 [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Овчинникова Татьяна Юрьевна[1] — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры обогащения полезных ископаемых, tatyana.ovchinnikova@m.ursmu.ru;
Ефремова Татьяна Александровна[2] — научный сотрудник лаборатории обогащения руд цветных металлов и техногенного сырья, отдел обогащения, efremova_ta@umbr.ru;
Цыпин Евгений Федорович[1] — докт. техн. наук, профессор, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых, tsipin.e@mail.ru;
[1] Уральский государственный горный университет» (Министерство науки и высшего образования Российской Федерации), г. Екатеринбург, 620144, ГСП-126, ул. Куйбышева, 30, УГГУ, кафедра ОПИ;
[2] АО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ovchinnikova T. Yu.[1], Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor at the Mineral Processing Department, tatyana.ovchinnikova@m.ursmu.ru;
Efremova T. A.[2], Researcher of the Nonferrous Metal Ore and Manmade Waste Processing Laboratory, efremova_ta@umbr.ru;
Tsypin E. F.[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor at the Mineral Processing Department, tsipin.e@mail.ru;
[1] Ural State Mining University, 620144, Yekaterinburg, Kuibyshev St., 30. Russia;
[2] Uralmekhanobr, 620144, Yekaterinburg, Khokhryakov St., 87, Russia.

Получена редакцией 26.05.2021; получена после рецензии 17.09.2021; принята к печати 10.10.2021.
Received by the editors 26.05.2021; received after the review 17.09.2021; accepted for printing 10.10.2021.