

УДК 622.725:622.345(083.96)

DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-8-33-40

ИССЛЕДОВАНИЯ СОРТИРУЕМОСТИ РУД, ДОБЫТЫХ КАМЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗМЕРА КУСКА СОРТИРУЕМОЙ ГОРНОРУДНОЙ МАССЫ

RESEARCHES ON WASHABILITY OF ORES, PROCURED BY CHAMBERED SYSTEMS, DEPENDING ON DIMENSION OF A CHUNK OF SORTED ORE MINING MASS



А. В. Бейдин,
Забайкальский
государственный
университет, г. Чита
beydin@mail.ru

A. Beydin,
Transbaikal State University,
Chita



В. А. Овсейчук,
Забайкальский
государственный
университет, г. Чита
mks3115637@yandex.ru

V. Ovseichuk,
Transbaikal State University,
Chita



А. А. Морозов,
Приаргунское производственное
горно-химическое объединение
(ПАО «ППГХО»), г. Краснокаменск
morozovaa@ppgho.ru

A. Morozov,
Priargunsk Industrial Mining and
Chemical Union (PJSC PIMCU),
Krasnokamensk

Установлена зависимость показателей обогащения урановых руд рентгенометрическим методом от их гранулометрического состава. Показатели, характеризующие сортируемость беднобалансовых урановых руд в зависимости от крупности кусков сортируемой руды (–200... +25 мм), изменяются следующим образом: выход бедной руды в концентрат колеблется в пределах 11...25 %; выход хвостов сортировки для бедных руд изменяется в пределах 89...74 %; извлечение урана из бедных руд в концентрат составляет 61...92 %. Наиболее эффективно сортировке подвергаются бедные руды при уменьшении крупности кусков от –200 до +25 мм. Учитывая, что при грохочении удаляется надрешетный продукт с некондиционным содержанием урана и обогащенная рудная мелочь, в процессе покусковой сепарации машинного класса вся горнорудная масса может быть разделена на сырье для сухой закладки, которое составляет 55 %, сырье для блочного подземного выщелачивания (БПВ) – 14 %, сырье для переработки гидрометаллургической технологией (ГМТ) – 31 %

Ключевые слова: урановые руды; гранулометрический состав руд; рентгенометрическая сепарация; гидрометаллургическая технология; выход хвостов сортировки; выход концентрата; коэффициент обогащения; грохочение; камерные системы; горнорудная масса

The relation of parameters of uranium ores dressing by the X-ray radiometric method from their distribution into sizes is established. The parameters, describing on washability of poor uranium ores, depending on fineness of aggregate of chunks of sorted ore (from –200 mm up to +25 mm) vary as follows: the output of lean ore in a concentrate oscillates varies from 11...25 %; the output of tailings of sorting for lean ores varies from 89...74 %; extraction of uranium compounds of lean ores in a concentrate amounts 61 up to 92 %. Most effectively lean ores are exposed to sorting at an abatement of fineness of aggregate of chunks from –200 up to +25 mm. Taking into account that during the trammeling the top size product is removed with the off-grade contents of uranium and enriched fine ore, in process of lumpy separation of a machine class, all ore mining mass can be separated into:

raw material for dry backfill compounds, makes up 55 %, raw material for in-situ leaching (ISL) – 14 %, raw material for processing by hydrometallurgical technology (HMT) – 31 %

Key words: uranium ores; X-ray radiometric separation; hydrometallurgical technology; distribution of sizes of ores; output of sorting tailings; concentrate yield; enrichment factor; screening; chamber systems; mining mass

По мере повышения степени измельчения сырья в общем случае уменьшается количество сростков, степень дезинтеграции различных минералов и контрастность сырья возрастают, однако селективность и эффективность обогатительных процессов при переизмельчении сверх определенного уровня резко снижается вплоть до экономически неприемлемой. На современном уровне развития техники и технологии для процессов предконцентрации используется относительно крупный «макроразмер» минерального сырья [2; 8; 4; 10]. В рамках этого постулата важно определить оптимальный размер сортируемого куска руды. Для этих целей проведены исследования сортируемости горнорудной массы на рентгенометрических сепараторах в зависимости от крупности размера куска [6].

Объектом исследований является беднобалансовая по содержанию урана руда (0,030...0,120 %), добываемая камерными системами [5]. Технологическая проба массой 8903 кг подвергнута классификации (расситовке). В процессе грохочения горнорудная масса разделена на классы крупности: –200+100 мм, –100+60 мм, –60+25 мм, –25+0 мм. Выход класса крупности +150 мм составил 17 % с содержанием урана менее 0,03 %, поэтому он может быть выведен из дальнейшего процесса рудоподготовки. Машинный класс (–25+150 мм) составляет 46...50 % от общего объема горнорудной массы и содержит около 41 % урана, он и является продуктом для дальнейшей рентгенометрической сортировки. Класс крупности –25 мм является рудной мелочью и, как показали предыдущие исследования, практически не подвергается сепарации, поэтому совмест-

но с шламом этот класс (содержание урана около 0,170 %) может быть направлен на гидromеталлургическую переработку [1; 3; 7; 11].

Дальнейшие исследования направлены на уточнение полученных предварительных данных по обогащению горнорудной массы, добытой системой «Подэтажные штреки» методом простой расситовки и проведению исследовательских работ по обогащению машинного класса крупности методом покусковой рентгенометрической сепарации (PPC) в подземных условиях рудника [9].

В процессе PPC получены зависимости выхода концентрата, хвостов сепарации и урана в них от крупности куска сортируемой руды (рис. 1...3).

Показатели извлечения в зависимости от размера куска могут быть описаны формулами:

– извлечение руды в концентрат

$$\varepsilon = 53,10006 - 36,48761 \log K_{\text{кр}} + 7,85707 \log(K_{\text{кр}})^2, \quad (1)$$

где $K_{\text{кр}}$ – класс крупности, мм;

– извлечение урана в концентрат

$$\varepsilon_2 = 10^{(1,04409 + 0,89747 \log K_{\text{кр}} - 0,22033 \log(K_{\text{кр}})^2)}. \quad (2)$$

На основе исследовательских и опытно-промышленных работ проведен анализ баланса горнорудной массы и урана в сортах, выделенных при рудоподготовке из добытой системой разработки «Подэтажные штреки» руды [9].

Результаты анализа приведены в табл. 1...3 и на рис. 4, 5.

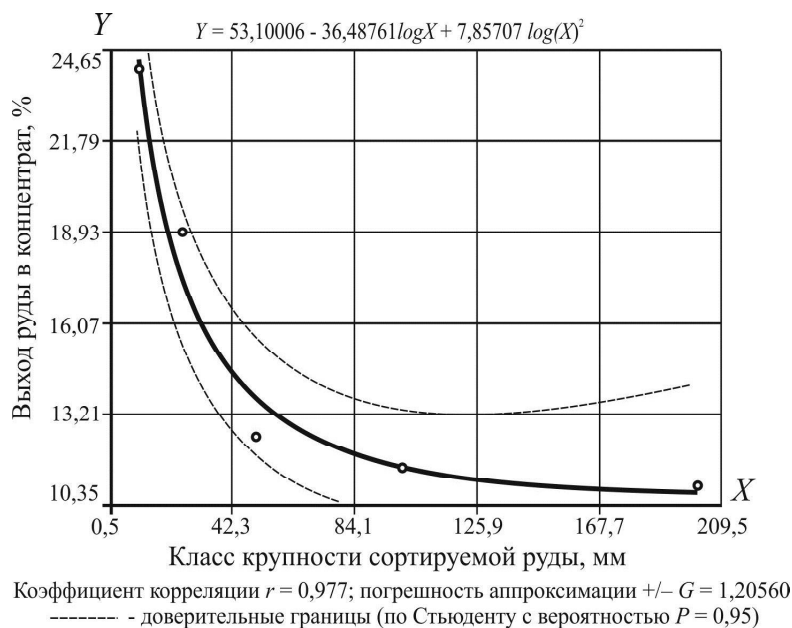


Рис. 1. Зависимость выхода концентрата при сортировке бедных урановых руд (0,030...0,120 %) от класса крупности кусков руды/

Fig. 1. Dependence of concentrate yield during sorting of poor uranium ores (0,030...0,120 %) from the grade size of ore lumps

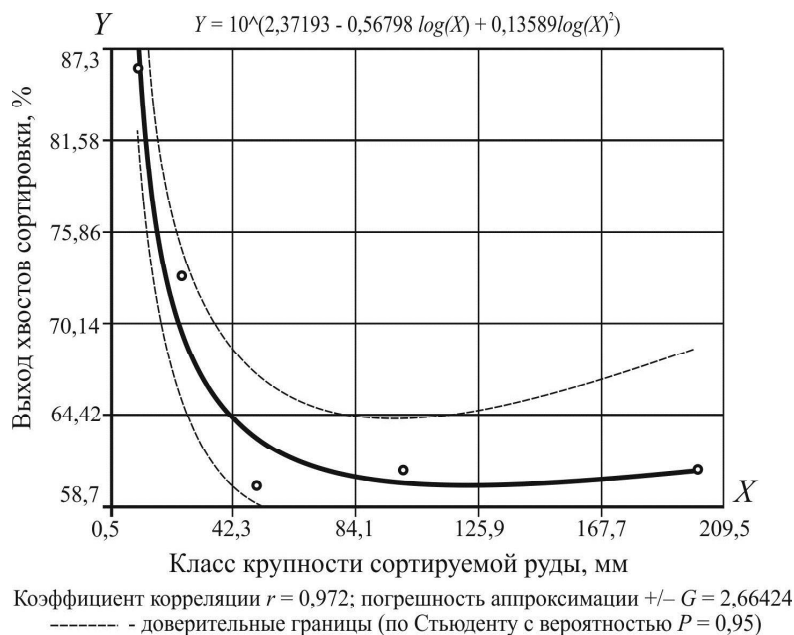


Рис. 2. Зависимость выхода хвостов при сортировке бедных урановых руд (0,030...0,120 %) от класса крупности кусков руды/

Fig. 2. Dependence of tailings yield during sorting of poor uranium ores (0,030...0,120 %) from the grade size of ore lumps

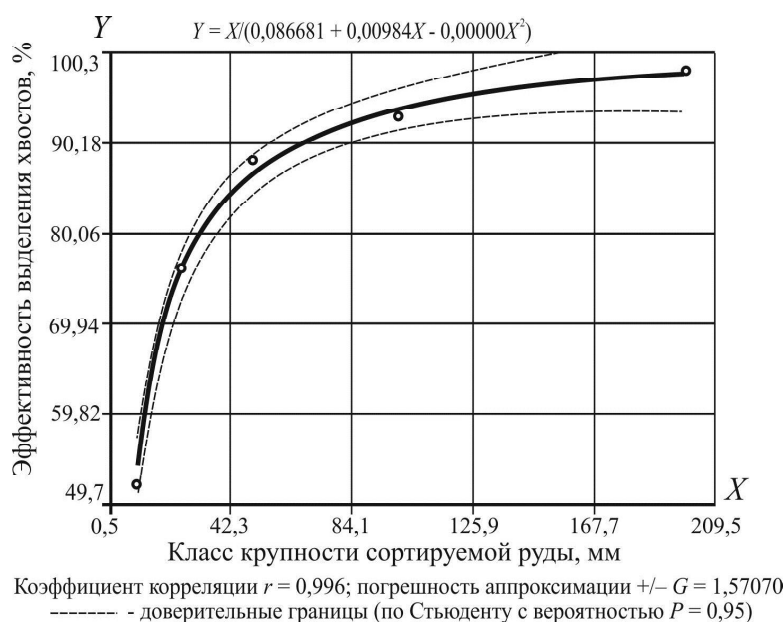


Рис. 3. Зависимость извлечения урана в концентрат при сортировке бедных урановых руд (0,030...0,120 %) от класса крупности кусков руды/

Fig. 3. Dependence of extraction of uranium in concentrate during sorting of poor uranium ores (0,030...0,120 %) from the grade size of ore lumps

Как видно из рис. 1...3, показатели, характеризующие сортируемость урановых руд рентгенометрическим методом в зависимости от крупности кусков сортируемой руды (-200... +10 мм), изменяются следующим образом [5; 6; 7]:

- выход бедной руды в концентрат колеблется 11...25 %;
- выход хвостов сортировки для бедных руд изменяется от 89 до 74 %;
- извлечение урана из бедных руд в концентрат составляет 61...92 %.

Таблица 1/ Table 1

**Распределение горнорудной массы по сортам при расситовке исходной пробы/
 Distribution of the ore mass in grades during screen analysis of the original sample**

Сорт горнорудной массы/ Grade of ore	Количество руды, т/ Amount of ore, t	Доля продукта, %/ Share of product, %	Содержание урана, %/ Uranium content, %	Уран в продукте, кг/ Uranium in product, kg	Доля урана в продукте, %/ Share of uranium in the product, %
Хвосты/Tailings	801,3	9,0	0,020	160,2	2,5
Промпродукт для PPC/Middlings for XRS	5430,8	61,0	0,054	2947,7	46,0
Продукт для ГМТ (рудная мелочь и шлам)/Product for HMT	2670,9	30,0	0,124	3300,1	51,5
Итого/Total	8903,0	100,0	0,072	6408,0	100,0

Примечание (note): PPC (XRS) – рентгенометрическая сепарация (X-ray radiometric separation); ГМТ (HMT) – гидрометаллургическая технология (hydrometallurgical technology)

Таблица 2/Table 2

**Распределение горнорудной массы по сортам после PPC
Distribution of ore mass in grades after XRS**

Сорт горнорудной массы/ Grade of ore	Количество руды, т/ Amount of ore, t	Доля продукта, %/ Share of product, %	Содержание урана, %/ Uranium content, %	Уран в продукте, кг/ Uranium in product, kg	Доля урана в продукте, %/ Share of uranium in the product, %
Промпродукт для PPC/ Middlings for XRS	5430,8	100,0	0,054	2947,7	100,0
Хвосты/Tailings	4116,5	75,8	0,006	265,3	9,0
Продукт для БПВ/ Product for ISL	1261,7	20,2	0,197	2482,1	83,5
Продукт для ГМТ/ Product for HMT	52,5720	4,0	0,381	200,3	7,5

Примечание (note): БПВ (ISL) – блочное подземное выщелачивание (in-situ leaching)

Таблица 3/Table 3

**Распределение горнорудной массы по сортам после полной рудоподготовки/
Distribution of ore mass in grades after complete ore dressing**

Сорт горнорудной массы/ Grade of ore	Количество руды, т/ Amount of ore, t	Доля продукта, %/ Share of product, %	Содержание урана, %/ Uranium content, %	Уран в продукте, кг/ Uranium in product, kg	Доля урана в продукте, %/ Share of uranium in the product, %
Исходная проба/ Initial sample	8903,0	100,0	0,071976	6408,0	100,0
Хвосты/Tailings	4917,8	55,2	0,009	425,4912	6,64
Продукт для БПВ/ Product for ISL	1261,7	14,2	0,197	2482,09	38,73423
Продукт для ГМТ/ Product for HMT	2723,5	30,6	0,129	3500,419	54,62577

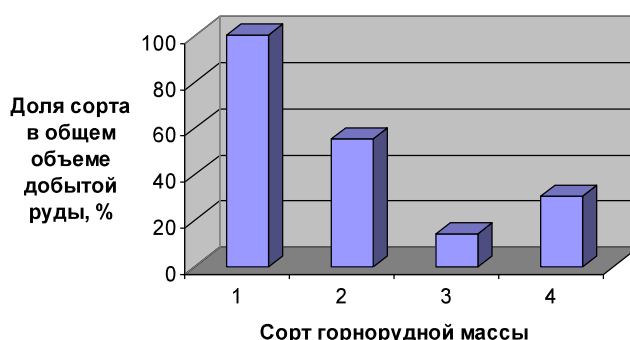


Рис. 4. Распределение горнорудной массы по сортам в процессе подземной рудоподготовки:
1 – всего добытой горнорудной массы; 2 – хвосты рудоподготовки; 3 – концентрат для БПВ;
4 – концентрат для ГМТ/

Fig. 4. Distribution of ore mass in grades in the process of underground ore dressing:
1 – total mined ore mass; 2 – tailings of ore dressing; 3 – concentrate for ISL; 4 – concentrate for HMT

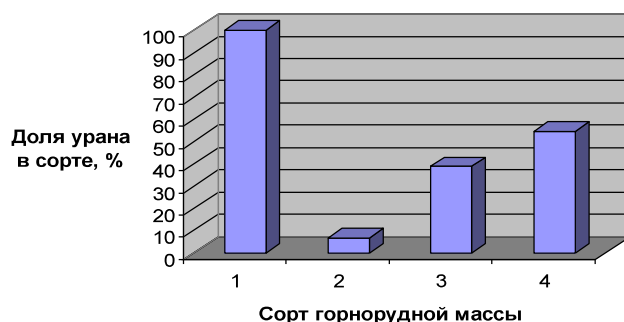


Рис. 5. Распределение урана в горнорудной массе по сортам в процессе подземной рудоподготовки: 1 – всего урана в добытой горнорудной массе; 2 – уран в хвостах рудоподготовки; 3 – уран в концентрате для БПВ; 4 – уран в концентрате для ГМТ/

Fig. 5. Distribution of uranium in the ore mass according to grades in the process of underground ore dressing: 1 – total uranium in mined ore mass; 2 – uranium in tailings of ore dressing; 3 – uranium in concentrate for ISL; 4 – uranium in concentrate for HMT

Баланс горной массы по использованию в различных технологиях приведен в табл. 4.

Таблица 4/ Table 4

**Баланс горнорудной массы по использованию в различных технологиях
Balance of ore mass for use in various technologies**

Тип горнорудной массы/ Type of ore mass	Масса, т/ Weight, t	Доля типа, %/ Share of type, %
Сырье для сухой закладки/ Materials for dry backfill	4917,8	55,2
Сырье для БПВ/ Materials for ISL	1261,7	14,2
Сырье для ГМТ/ Materials for HMT	2723,5	30,6
Итого/ Total	8903,0	100,0

Таким образом, сырье для сухой закладки составляет 55 %, сырье для БПВ – 14 %, сырье для ГМТ – 31 %.

Список литературы

1. Иванов В. Г., Култышев В. И., Колесаев В. Б. [и др.]. Оптимизация разработки сложноструктурных урановых месторождений. М.: МГУ, 2007. 265 с.
2. Кобзев А. С. Радиометрическое обогащение минерального сырья. М.: Горная книга, 2015. 125 с.
3. Култышев В. И., Колесаев В. Б., Литвиненко В. Г. [и др.]. Повышение эффективности подземной разработки урановых месторождений. М.: МГИУ, 2007. 212 с.
4. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / под ред. М. К. Роко, Р. С. Уильямса и П. Аливисатоса. М.: Мир, 2002. 292 с.
5. Овсейчук В. А., Тирский А. В., Подопригора В. Е., Бейдин А. В. [и др.]. Отчет об исследовательских испытаниях сортируемости урановых руд месторождений Стрельцовского рудного поля. Чита, 2013. 104 с.
6. Овсейчук В. А., Тирский А. В., Подопригора В. Е., Бейдин А. В. [и др.]. Отчет об предварительных испытаниях сортируемости урановых руд месторождений Стрельцовского рудного поля. Чита, 2013. 109 с.
7. Овсейчук В. А., Тирский А. В., Подопригора В. Е., Бейдин А. В. [и др.]. Отчет об приемочных (опытно-промышленных) испытаниях сортируемости урановых руд месторождений Стрельцовского рудного поля. Чита, 2015. 52 с.
8. Скорина М. Л., Юртов Е. В. Нанотехнология в материалах сайтов сети Интернет // Химическая технология, 2003. № 1. С. 39–43.
9. Шурыгин С. В., Овсейчук В. А. Влияние размера куска на сортируемость урановых руд радиометрическими методами // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: Горная книга, 2016. № 4. С. 354–366.

10. Чантурия В. А. Теоретические основы повышения контрастности свойств и эффективности разделения минеральных компонентов // Цветные металлы. 1998. № 9. С. 11–17.
11. Lessard J., Bakker J., McHugh L. Development of ore sorting and its impact on mineral processing economics // Minerals Engineering, Volume 65, 15 October 2014, P. 88-97.

References

1. Ivanov V. G., Kultyshev V. I., Kolesaev V. B. [and others]. *Optimizatsiya razrabotki slozhnostrukturnykh uranovykh mestorozhdeniy* [Optimization of the development of complex-structure uranium deposits]. Moscow: MGGU, 2007. 265 p.
2. Kobzev A. S. *Radiometricheskoe obogashhenie mineralnogo syriya* [Radiometric enrichment of mineral raw materials]. Moscow: Mining book, 2015. 125 p.
3. Kultyshev V. I., Kolesaev V. B., Litvinenko V. G. [and others]. *Povyshenie effektivnosti podzemnoy razrabotki uranovykh mestorozhdeniy* [Efficiency increase of underground development of uranium deposits]. Moscow: MSIU, 2007. 212 p.
4. *Nanotehnologiya v blizhayshe desyatiletii. Prognoz napravleniya issledovaniy* [Nanotechnology in the next decade. Forecast direction of research]; Ed. M. K. Roco, R. S. Williams and P. Alivisatos. Moscow: Mir, 2002. 292 p.
5. Ovseychuk V. A., Tirsky A. V., Podoprigora V. Ye., Beydin A. V. [and others]. *Otchet ob issledovatel'skikh ispytaniyakh sortiruемости uranovykh rud mestorozhdeniy Strel'tsovskogo rudnogo polya* [Report on research tests of the sorption of uranium ore deposits of the Strel'tsov ore deposit]. Chita, 2013. 104 p.
6. Ovseychuk V. A., Tirsky A. V., Podoprigora V. Ye., Beydin A. V. [and others]. *Otchet ob predvaritel'nykh ispytaniyakh sortiruемости uranovykh rud mestorozhdeniy Strel'tsovskogo rudnogo polya* [Report on preliminary tests of the sorption of uranium ore deposits of the Strel'tsov ore deposit]. Chita, 2013. 109 p.
7. Ovseychuk V. A., Tirsky A. V., Podoprigora V. Ye., Beydin A. V. [and others]. *Otchet ob priemochnykh (opytno promyshlennykh) ispytaniyakh sortiruемости uranovykh rud mestorozhdeniy Strel'tsovskogo rudnogo polya* [Report on acceptance (pilot industrial) tests of the uranium ores sorption from the fields of the Strel'tsov ore deposit]. Chita, 2015. 52 p.
8. Skorina M. L., Yurtov E. V. *Himicheskaya tehnologiya* (Chemical Technology), 2003, no. 1, pp. 39–43.
9. Shurygin S. V., Ovseychuk V. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information-analytical bulletin), 2016, no. 4, pp. 354–366.
10. Chanturia V. A. *Tsvetnye metally* (Non-ferrous metals), 1998, no. 9, pp. 11–17.
11. Lessard J., Bakker J., McHugh L. Development of ore sorting and its impact on mineral processing economics // Minerals Engineering, Volume 65, 15 October 2014, P. 88-97.

Коротко об авторах

Бейдин Алексей Владимирович, ст. преподаватель кафедры «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых», Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: физико-техническая и физико-химическая геотехнологии, геофизические методы сортировки руд, геомеханика
beydin@mail.ru

Овсейчук Василий Афанасьевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых», Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: геология, физико-техническая и физико-химическая геотехнологии, охрана окружающей среды, радиационная безопасность, геофизические методы сортировки руд
mks3115637@yandex.ru

Морозов Александр Анатольевич, канд. техн. наук, начальник Центральной научно-исследовательской лаборатории ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение», г. Краснокаменск, Россия. Область научных интересов: физико-техническая и физико-химическая геотехнологии, охрана окружающей среды, геофизические методы сортировки руд
morozovaa@ppgho.ru

Briefly about the authors

Alexey Beydin, senior teacher, Underground Mining of Mineral Deposits department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: physical-technical and physical-chemical geotechnology, geophysical methods of ore separation, geomechanics

Vasily Ovseychuk, doctor of technical sciences, professor, Underground Mining of Mineral Deposits department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: geology, physical-technical and physical-chemical geotechnology, environment preservation, radiation security, geophysical methods of ore separation

Alexander Morozov, candidate of technical sciences, chief of the Central Research laboratory, Priargunsk Industrial Mining and Chemical Union (PJSC «PIMCU»), Krasnokamensk, Russia. Sphere of scientific interests: physical-technical and physical-chemical geotechnology, environment preservation, geophysical methods of ore separation

Образец цитирования

Бейдин А. В., Овсейчук В. А., Морозов А. А. Исследования сортируемости руд, добытых камерными системами, в зависимости от размера куска сортируемой горнорудной массы // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2017. Т. 23. № 8. С. 33–40. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-8-33-40.

Beydin A., Ovseychuk V., Morozov A. Researches on washability of ores, produced by chambered systems, depending on dimension of a chunk of sorted ore mining mass // Transbaikal State University Journal, 2017, vol. 23, no. 8, pp. 33–40. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-8-33-40.

Дата поступления статьи: 12.08.2017 г.
Дата опубликования статьи: 31.08.2017 г.

