Разработка технологии подготовки полевошпатового сырья месторождения Кедровое к флотации

Газалеева Г. И.^{1*}, Бузунова Т. А.¹, Шигаева В. Н.¹

¹ Научно-исследовательский и проектный институт обогащения и механической обработки полезных ископаемых «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: gazaleeva gi@umbr.ru

Реферат

Введение. Выбор эффективных режимов процессов измельчения и обесшламливания полевошпатового сырья является важной задачей при разработке технологии его обогащения.

Цель работы. Целью проводимых исследований являлась разработка схемы подготовки полевошпатового сырья месторождения Кедровое к флотации применительно к технологии обогатительной фабрики Малышевского рудоуправления.

Методология. Исследования проводились с определением кинетики измельчения полевых шпатов в шаровой мельнице и определением степени раскрытия полезных минералов с использованием оптического микроскопа AXIO Imager A1m. Также были проведены исследования по выявлению оптимальной крупности шламов при гидроциклонировании. Объектом исследований являлась представительная проба пегматитов месторождения Кедровое.

Результаты. Результаты исследований показали, что оптимальное время измельчения составляет 30 мин, содержание класса крупности $+0,16$ мм – не более 20–22 %, а оптимальным классом для обесшламливания с минимальными потерями полевого шпата является класс $-0,040$ мм. Наилучшие результаты по классификации продукта получены при давлении на входе в гидроциклон 1,2 бар, диаметре песковой насадки 7 мм. При этом содержание твердого в питании составило 24,15 %, содержание частиц крупностью $-0,040$ мм в сливе – 96,19 %.

Выводы. Исследование процессов измельчения и обесшламливания полевошпатового сырья месторождения Кедровое позволило получить зависимости для оперативного регулирования содержания шлама $-0,040$ мм в сливе гидроциклона с помощью изменения содержания твердого в питании и выявить эффективные режимы измельчения.

Ключевые слова: измельчение; обесшламливание; флотация; гидроциклон; полевой шпат; технологическая схема.

Введение. Полевые шпаты объединяют группу чрезвычайно широко распространенных минералов, по химическому составу представляющих собой алюмосиликаты щелочных и щелочноземельных оксидов, главным образом оксидов калия, натрия и кальция [1–3]. Основным видом полевошпатового сырья является калиевый полевой шпат (ортоклаз или микроклин). Также используются натриевый полевой шпат (альбит), кальциевый полевой шпат (анортит) и плагиоклаз, который относится к изоморфной группе полевых шпатов с крайними членами альбитом и анортитом. В последнее время все более широко применяется пегматит – природная смесь полевого шпата и кварца, содержащая не более 30 % кварца.

Основной вредной примесью в полевошпатовом сырье является железо. Другая нежелательная примесь – кварц, присутствие которого ограничивает области применения полевошпатового концентрата и приводит к нерациональным затратам [4, 5].

Месторождение пегматитов Кедровое расположено вблизи обогатительной фабрики АО «Малышевское рудоуправление» (АО «МРУ») и на сегодняшний день является основным перспективным сырьем предприятия.

Основным методом обогащения полевошпатового сырья на обогатительной фабрике Малышевского рудоуправления является флотация [6]. Технологическая схема включает три основные операции флотации: темноцветную, слюдяную и

Рис. 1. Принципиальная схема обогащения полевошпатовой руды АО «МРУ»
Fig. 1. A schematic diagram of fieldspar ore processing at JSC Malyshevskoye rudoupravlenie

полевошпатовую. Принципиальная технологическая схема переработки полевошпатового сырья на обогатительной фабрике АО «МРУ» приведена на рис. 1. Предприятие получает высококачественный слюдяной концентрат, полевошпатовый концентрат для стекольной промышленности с содержанием Fe_2O_3 – 0,1–0,3 % и для фарфоровой промышленности с содержанием Fe_2O_3 0,2–0,5 %, а также кварцевый концентрат марки КВК-95-3.

Материалы и методы. Целью проводимых исследований являлась разработка схемы подготовки полевошпатового сырья месторождения Кедровое к флотации применительно к технологии обогатительной фабрики АО «МРУ».

Объект исследований – представительная проба пегматитов месторождения Кедровое массой 516 кг.

В ходе выполнения исследований для минералогического анализа использовались оптический микроскоп AXIO Imager A1m (Карл Цейсс, Германия), рентгеновский дифрактометр порошковых материалов XRD-7000S (Япония) и электронный сканирующий микроскоп EVO MA15 с микрозондовой приставкой (Карл Цейсс, Германия) с применением программных комплексов INCA и AZtec (Великобритания) и «Минерал С7» (Россия). Для исследований процессов измельчения и обесшламливания применялись лабораторная шаровая мельница МЛ-40, гидроциклонная установка Laborant ZLF 50 CH, для процесса флотации – лабораторная механическая флотомашинa. В табл. 1 показан минеральный состав пробы.

Таблица 1. Минеральный состав пегматитов месторождения Кедровое
Table 1. Mineral composition of pegmatite at the Kedrovoe deposit

Минерал	Массовая доля минерала, %
Кварц	31
Полевой шпат:	
Альбит	40
Микроклин	21
Слюда:	
Мусковит	5
Биотит (флогопит)	1
Карбонаты	Менее 1
Каолинит	Менее 1
Гранат	Менее 1
Апатит	Менее 1
Оксиды железа	1
Амфиболы	Менее 1
Прочие	1

Наиболее распространенными минералами в пробе месторождения Кедровое являются минералы из группы полевых шпатов: альбит и микроклин, содержание которых составляет 40 и 21 % соответственно. Менее распространены кварц и мусковит, содержание которых составляет 31 и 5 % соответственно.

Исходя из данных минералогического анализа по определению раскрытия зерен полевого шпата месторождения Кедровое по классам крупности установлено, что начиная с класса $-0,315$ мм частицы имеют достаточно полное раскрытие – 98–100 %. Отсюда следует, что максимальная крупность в измельченном продукте должна составлять не более 0,3 мм.

Результаты и их обсуждение. Кинетика измельчения. В рамках испытаний было проведено четыре эксперимента при разной продолжительности измельчения (10, 20, 30 и 40 мин) с предварительной отмывкой класса $-0,040$ мм. Кинетика измельчения оценивалась по убыванию числа зерен крупного класса $+0,16$ мм в измельченном продукте по сравнению с исходным.

На рис. 2 приведены кривые кинетики измельчения. Данные показывают, что при увеличении времени измельчения от 10 до 40 мин происходят закономерные процессы – выход частиц крупностью более 0,16 мм уменьшается в 4,6 раза, соответственно с 57,03 до 12,37 %.

Количество шламов в измельченном продукте – также немаловажный фактор [7–12]. При длительном измельчении продукта образуется значительное количество тонкого шлама, который теряется при обесшламливании материала, во время флотации и при дальнейшем обогащении другими методами. Вместе со шламами происходят и значительные потери полевого шпата.

Кроме того, по результатам ситового анализа (табл. 2) установлено, что если процесс обесшламливания материала выполнять по классу $-0,045$ мм, а не по $-0,040$ мм, то потери полевого шпата со шламами увеличиваются на 10 %.

На рис. 3 представлена схема испытаний по обогащению полевошпатового сырья месторождения Кедровое, близкая к фабричной и включающая операции измельчения, обесшламливание и флотацию. Схема включает в себя темноцветную флотацию с предварительной агитацией с талловым маслом и содой, отмывку камерного продукта темноцветной флотации, основную и перечистную слюдяные флотации, полевошпатовую флотацию.

Рис. 2. Кинетика измельчения продукта по выделенным классам крупности
Fig. 2. Kinetics of product grinding by grain-size fraction

Номенклатура реагентов принята из числа наиболее распространенных в практике флотации полевошпатового сырья, в частности используемых на фабрике АО «МРУ».

Режим флотации и расходы реагентов приняты приближенными к фабричному АО «МРУ».

Таблица 2. Результаты ситового анализа
измельченного продукта
Table 2. The results of the ground product screen analysis

Класс крупности, мм	Выход, %	
	частный	суммарный
+0,315	0,09	0,09
-0,315+0,160	17,55	17,64
-0,160+0,071	30,75	48,39
-0,071+0,045	15,11	63,50
-0,045+0,040	9,37	72,87
-0,040+0,000	27,13	100,00

Темноцветная флотация:

- температура пульпы в обработке с реагентами – 40 °С;
- продолжительность агитации с реагентами – 10 мин;
- содержание твердого в питании флотации – 30–35 %;
- температура пульпы – не менее 15 °С;

- расход таллового масла – 500 г/т, подается в виде 5 %-ной эмульсии таллата натрия;
- расход трансформаторного масла – 5 г/т, подается в виде 0,1 %-ной эмульсии;
- pH пульпы 9,2 из-за присутствия соды (значение принято из практики обогащения).

Отмывку камерного продукта темноцветной флотации вели во флотокамере с подачей оборотной воды, агитацией и декантацией.

Рис. 3. Схема испытаний измельченного продукта
Fig. 3. Ground product test circuit

Слюдяная флотация:

- расход серной кислоты – 1290 г/т;
- расход Флона-2 – 120 г/т в основной операции; 40 г/т – в перечистой.

Полевошпатовая флотация:

- расход плавиковой кислоты – 3000 г/т;
- расход Флона-2 – 170 г/т.

Расчет реагентов в опытах принят в г/т от питания флотации.

В табл. 3 приведены результаты двух опытов с временем измельчения материала 10 и 30 мин.

Таким образом, в результате исследований определено оптимальное время измельчения питания флотации – 30 мин, содержание класса крупности +0,16 мм – не более 20–22 %.

По результатам флотационных испытаний измельченного продукта в одинаковых условиях с различной тониной помола установлено, что с увеличением времени измельчения с 10 до 40 мин происходит увеличение выхода слива в операциях обесшламливании с 12,55 до 26,39 %, или в 2,1 раза, что оказывает значимое влияние на снижение выхода конечных концентратов:

- полевошпатового – в 1,2 раза, или с 42,75 до 36,70 %;
- кварцевого – в 1,5 раза, или с 35,98 до 23,34 %;
- слюдяного – в 2,3 раза, или с 3,84 до 1,70 %.

На рис. 4 представлена зависимость извлечения Fe_2O_3 в общие хвосты от содержания класса крупности +0,16 мм в измельченном материале. Анализ данных показывает, что наиболее высокое извлечение Fe_2O_3 в хвосты (76 %) достигается при флотации измельченного продукта крупностью +0,16 мм 20–22 %. В этой же крупности отмечается наиболее высокое извлечение железосодержащих примесей в хвосты темноцветной флотации (26,58 %), а значит, получение качественного исходного продукта на полевошпатовую флотацию, где массовая доля Fe_2O_3 составляет 0,15 %, соответственно и получен наиболее качественный полевошпатовый концентрат с содержанием Fe_2O_3 0,13 %.

Рис. 4. Зависимость извлечения Fe_2O_3 в хвосты обогащения от массовой доли класса +0,16 мм в питании флотации

Fig. 4. Dependence of Fe_2O_3 winning into the tailings on the mass fraction of +0.16 mm class in flotation feed

Таким образом, для получения высококачественного полевошпатового концентрата из сырья месторождения Кедровое флотационным способом необходимо измельчение исходного продукта до крупности –0,16 мм не менее 80 %. Закрупнение измельченного продукта приведет к недостаточному раскрытию минералов. Переизмельчение продукта приведет к значительным потерям полезных минералов с хвостами.

Обесшламливание. Процесс подготовки продукта к темноцветной флотации на обогатительной фабрике АО «МРУ» осуществляется с помощью обесшламливания слива классификатора в гидроциклонах в две последовательные операции по классу –0,042 мм. Выход слива за две операции обесшламливания на фабрике составляет 13,1 %, содержание в нем частиц крупностью –0,042 мм – 97,2 %, эффективность классификации – 47,2 %. Испытания проводились на лабораторной установке Laborant ZLF 50 CH на двух типах гидроциклонов: диаметром 50 мм и 35 мм. Диаметр песковой насадки составлял 10 мм и 7 мм.

При проведении экспериментов на гидроциклоне одного диаметра постоянными параметрами являлись качество исходного продукта и диаметр песковой насадки, переменными параметрами – давление на входе в гидроциклон и содержание твердой фазы. Система работы установки при испытаниях была настроена в режиме замкнутого цикла.

Эффективность процесса гидроциклонирования оценивалась по содержанию класса –0,040 мм в сливе гидроциклона [13–16].

Более стабильной оказалась работа аппарата при меньшем диаметре самого гидроциклона и меньшем диаметре песковой насадки.

Таблица 3. Качественно-количественная характеристика продуктов обогащения при испытаниях флотацией на разной тонине помола исходного сырья

Table 3. Quality-quantity specification of concentrates when testing by flotation at various fineness of grinding of the source raw material

Наименование продуктов	Выход, %	Массовая доля, %					Извлечение, %				
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
Время измельчения 10 мин											
Поступает:											
Исходный	100,00	73,80	14,40	4,66	4,67	0,82	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Выходит:											
Слив	12,55	70,58	17,51	4,63	4,31	1,95	12,00	15,26	12,47	11,58	29,84
Хвосты	4,88	56,91	20,71	6,72	3,59	3,58	3,76	7,02	7,03	3,75	21,30
Общие хвосты	17,43	66,75	18,41	5,21	4,11	2,41	15,77	22,28	19,50	15,34	51,14
Слюдяной концентрат	3,84	46,63	32,26	10,73	0,97	3,89	2,43	8,60	8,84	0,80	18,22
Полевошпатовый концентрат	42,75	65,90	18,88	6,38	7,31	0,31	38,17	56,05	58,53	66,92	16,16
Кварцевый концентрат	35,98	89,50	5,23	1,70	2,20	0,33	43,63	13,07	13,13	16,95	14,48
Время измельчения 30 мин											
Поступает:											
Исходный	100,00	73,80	14,40	4,66	4,67	0,82	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Выходит:											
Слив	26,07	70,40	16,95	4,60	4,10	1,52	24,87	30,69	25,73	22,89	48,32
Хвосты	5,77	59,32	21,72	7,18	3,52	4,05	4,64	8,70	8,89	4,35	28,50
Общие хвосты	31,84	68,39	17,81	5,07	3,99	1,98	29,51	39,39	34,63	27,23	76,82
Слюдяной концентрат	2,35	49,28	32,27	10,89	1,90	3,76	1,57	5,27	5,49	0,96	10,78
Полевошпатовый концентрат	38,91	65,05	19,10	6,66	7,72	0,13	34,30	51,61	55,61	64,32	6,17
Кварцевый концентрат	26,90	95,00	2,00	0,74	1,30	0,19	34,63	3,74	4,27	7,49	6,23

Наилучшие результаты по классификации продукта получены при давлении на входе в гидроциклон 1,2 бар, диаметре песковой насадки 7 мм. При этом содержание твердого в питании по фактическим измерениям составляло 24,15 %, содержание частиц крупностью $-0,040$ мм в сливе – 96,19 %, эффективность классификации – 40,79 %.

Согласно полученным результатам установлено, что наиболее значимое влияние на эффективность разделения продуктов в гидроциклоне оказывает содержание твердой фазы в питании, т. е. при более плотной пульпе эффективность классификации значительно снижается.

По результатам экспериментов определена зависимость содержания частиц крупностью $-0,040$ мм в сливе гидроциклона от содержания твердого в питании (рис. 5).

Рис. 5. Зависимость содержания частиц крупностью $-0,040$ мм в сливе от содержания твердого в питании гидроциклона

Fig. 5. Dependence of $-0,040$ mm particles in the drain on the content of solid in hydrocyclone feed

График позволяет определить наиболее эффективное содержание твердого в пульпе для обесшламливания продукта по классу $-0,040$ мм. В данном случае – 21 %. Зависимость носит линейный характер, коэффициент корреляции составляет 0,83.

Выводы. Исследование кинетики измельчения полевошпатового сырья месторождения Кедровое показало, что оптимальное время измельчения составляет 30 мин, содержание класса крупности $+0,16$ мм – не более 20–22 %. При этом в процессе последующей флотации достигается максимальное извлечение основной вредной примеси – оксида железа – в общие хвосты (76 %).

Доказано, что оптимальным классом для обесшламливания с минимальными потерями полевого шпата является класс $-0,040$ мм.

Наилучшие результаты по классификации продукта получены при давлении на входе в гидроциклон 1,2 бар, диаметре песковой насадки 7 мм. При этом содержание твердого в питании составило 24,15 %, содержание частиц крупностью $-0,040$ мм в сливе – 96,19 %.

Полученные зависимости позволяют оперативно регулировать содержание шлама $-0,040$ мм в сливе гидроциклона с помощью изменения содержания твердого в питании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эйгельс М. А. Обогащение неметаллических полезных ископаемых. М.: Промстройиздат, 1952. 563 с.
2. Справочник по обогащению руд. Том 2. Основные и вспомогательные процессы / под ред. О. С. Богданова. М.: Недра, 1974. 451 с.
3. Ревнивцев В. И. Обогащение полевых шпатов и кварца. М.: Недра, 1970. 128 с.
4. Кутенев А. А. Технология сухого обогащения пегматитов и пегматоидных гранитов для получения кварц-полевошпатовых и слюдяных концентратов: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2012. 142 с.
5. Sun Chuan-Yao. Handbook for mineral processing engineers (the fourth fascicle). Metallurgical Industry Press, Bei Jing, 2015. 339 p.
6. Boeree C. R. Upscaling of froth flotation equipment. Master Degree in Resource Engineering. Netherlands: Delft University of Technology. URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:660e58d7-a82d-46d9-a8ff-1bfba42b2b05/datastream/OBJ> (Accessed 22 February 2018).
7. Тихонов Н. О. Интенсификация двухстадиальной схемы измельчения колчеданных медно-цинковых руд: дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2015. 151 с.
8. Цыпин Е. Ф. Обогащение в стадиях рудоподготовки: монография. Екатеринбург: УГГУ, 2015. 303 с.
9. Горная энциклопедия. Рубидий. URL: <http://www.mining-enc.ru/r/rubidij/>
10. Шемякин В. С., Скопов С. В., Маньковский Р. В., Красильников П. А., Мамонов Р. С. Предварительное обогащение кварцевого сырья // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 8. С. 74–79.
11. Batterham R. J. The mine of the future – even more sustainable // Minerals Engineering. 2017. Vol. 107. P. 2–7.
12. Газалеева Г. И. Теория, технология и техника измельчения минерального сырья. Екатеринбург: АМБ, 2017. 351 с.
13. Carrasco C., Keeney L., Napier-Munn T. J., Bode P. Unlocking additional value by optimizing comminution strategies to process Grade Engineering streams // Minerals Engineering. 2017. No. 103–104. P. 2–10.
14. Hitch M., Geo P., Dunbar W. S. Paths of innovation in the mining industry. Norman B Keevil School of Mining Engineering. 2015. 61 p.
15. King D., Adair B. Innovation in action. A step change in the energy, production and water signatures at the MSC site in Bolivia. IMARC 2017, International Mining and Resources Conference. 2017.
16. Shi F., Zuo W., Manlapig E. Pre-concentration of copper ores by high voltage pulses. Part 2. Opportunities and challenges // Minerals Engineering. 2015. No. 79. P. 315–323.

Поступила в редакцию 26 августа 2020 года

Сведения об авторах:

Газалеева Галина Ивановна – доктор технических наук, заведующая отделом рудоподготовки и специальных методов исследований Научно-исследовательского и проектного института обогащения и механической обработки полезных ископаемых «Уралмеханобр». E-mail: gazaleeva_gi@umbr.ru

Бузунова Татьяна Александровна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории обогащения редких металлов и неметаллического сырья Научно-исследовательского и проектного института обогащения и механической обработки полезных ископаемых «Уралмеханобр». E-mail: umbr@umbr.ru

Шигаева Варвара Николаевна – научный сотрудник лаборатории обогащения редких металлов и неметаллического сырья Научно-исследовательского и проектного института обогащения и механической обработки полезных ископаемых «Уралмеханобр». E-mail: shigaeva_vn@umbr.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-8-52-61

Developing the technology of feldspar raw materials pre-flotation conditioning at the Kedrovoe deposit

Galina I. Gazaleeva¹, Tatiana A. Buzunova¹, Varvara N. Shigaeva¹

¹ Uralmekhanobr OJSC, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. When developing the technology of feldspar raw material processing, it is essential to select efficient modes of grinding and desliming.

Research aim is to develop the technology of feldspar raw materials pre-flotation conditioning at the Kedrovoe deposit as applied to the technology of JSC Malyshevskoye rudoupravlenie.

Methodology. Feldspar grinding kinetics in a ball mill was determined, and useful minerals disclosure degree was determined using AXIO Imager A1m optical microscope. The optimal size of sludge in

hydrocycloning has also been identified. The object of research was a representative sample of pegmatites from the Kedrovoye deposit.

Results. The research results showed that the optimal grinding time is 30 minutes, the content of the +0.16 mm size class is no more than 20–22%, and the optimal class for desliming with minimal losses of feldspar is minus 40 microns. The best results for product classification were obtained at a pressure at the inlet of the hydrocyclone of 1.2 bar, a sand packing diameter of 7 mm. The solids content in the feed was 24.15%, the content of particles with a size of minus 40 microns in the drain was 96.19%.

Conclusions. Investigation of feldspar raw materials grinding and desliming at the Kedrovoye deposit made it possible to obtain dependencies for the effective control of the sludge content of minus 40 microns in the hydrocyclone discharge by changing the solids content in the feed and to identify effective grinding modes.

Key words: grinding; desliming; flotation; hydrocyclone; feldspar; flow chart.

REFERENCES

1. Eigels M. A. *Nonmetallics processing*. Moscow: Promstroizdat Publishing; 1952. (In Russ.)
2. Bogdanov O. S. (ed.) *Reference on ore processing. Vol. 2. Basic and secondary processes*. Moscow: Nedra Publishing; 1974. (In Russ.)
3. Revnivitsev V. I. *Feldspar and quartz processing*. Moscow: Nedra Publishing; 1970. (In Russ.)
4. Kutenev A. A. *Dry preparation technology for the pegmatites and pegmatoidal granites to obtain quartz-feldspar and micaceous concentrate: PhD in Engineering diss.* Ekaterinburg; 2012. (In Russ.)
5. Sun Chuan-Yao. *Handbook for mineral processing engineers (the fourth fascicle)*. Metallurgical Industry Press, Bei Jing, 2015. 339 p.
6. Boeree C. R. *Upscaling of froth flotation equipment. Master Degree in Resource Engineering*. Netherlands: Delft University of Technology. Available from: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:660e58d7-a82d-46d9-a8ff-1bfba42b2b05/datastream/OBJ> [Accessed 22 February 2018].
7. Tikhonov N. O. *Intensifying the two-stage grinding circuit of sulphide copper-zinc ore: PhD in Engineering diss.* St. Petersburg; 2015. (In Russ.)
8. Tsylin E. F. *Processing in the stages of ore dressing: monograph*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2015. (In Russ.)
9. *Mining encyclopedia. Rubidium*. Available from: <http://www.mining-enc.ru/r/rubidij/> (In Russ.)
10. Shemiakin V. S., Skopov S. V., Mankovskii R. V., Krasilnikov P. A., Mamonov R. S. Quartz preconcentration. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2016; 8: 74–79. (In Russ.)
11. Batterham R. J. The mine of the future – even more sustainable. *Minerals Engineering*. 2017; 107: 2–7.
12. Gazaleeva G. I. *Theory, technology and the technique of grinding mineral raw material*. Ekaterinburg: AMB Publishing; 2017. (In Russ.)
13. Carrasco C., Keeney L., Napier-Munn T. J., Bode P. Unlocking additional value by optimizing comminution strategies to process Grade Engineering streams. *Minerals Engineering*. 2017; 103–104: 2–10.
14. Hitch M., Geo P., Dunbar W. S. Paths of innovation in the mining industry. *Norman B Keevil School of Mining Engineering*. 2015. 61 p.
15. King D., Adair B. Innovation in action. A step change in the energy, production and water signatures at the MSC site in Bolivia. *IMARC 2017, International Mining and Resources Conference*. 2017.
16. Shi F., Zuo W., Manlapig E. Pre-concentration of copper ores by high voltage pulses. Part 2. Opportunities and challenges. *Minerals Engineering*. 2015; 79: 315–323.

Received 26 August 2020

Information about authors:

Galina I. Gazaleeva – DSc (Engineering), Head of Ore Preparation and Special Research Methods Department, Uralmexhanobr JSC. E-mail: gazaleeva_gi@umbr.ru

Tatiana A. Buzunova – PhD (Engineering), senior researcher, Laboratory of Rare Metal Ore and Nonmetallic Raw Material Concentration, Uralmexhanobr JSC. E-mail: umbr@umbr.ru

Varvara N. Shigaeva – Researcher, Uralmexhanobr JSC. E-mail: shigaeva_vn@umbr.ru

Для цитирования: Газалеева Г. И., Бузунова Т. А., Шигаева В. Н. Разработка технологии подготовки полевोшпатового сырья месторождения Кедровое к флотации // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 8. С. 52–61. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-8-52-61

For citation: Gazaleeva G. I., Buzunova T. A., Shigaeva V. N. Developing the technology of feldspar raw materials pre-flotation conditioning at the Kedrovoye deposit. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 8: 52–61 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-8-52-61