

Научная статья
УДК 622.7
DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-4-95-104

Лабораторные исследования раскрываемости минералов карбонатно-флюоритовой руды месторождения «Эгитинское»

Виталий Сергеевич Лабудин¹, Анатолий Николаевич Храмов²

^{1,2}Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия

¹labydinitalii@mail.ru, ²khramov.a53@mail.ru

Информация о статье:

Статья поступила
в редакцию 31.03.2023

Одобрена после
рецензирования 01.11.2023

Принята к публикации
07.11.2023

Ключевые слова:

флюорит, карбонатные
минералы, месторождение,
раскрытие минералов,
карбонатный модуль,
степень измельчения,
флотация, лабораторные
исследования,
гранулометрический
анализ, минералогический
анализ

Руда месторождения «Эгитинское» перерабатывается на обогатительной фабрике ООО «Эгитинский ГОК Плюс» по технологической схеме, включающей: трёхстадиальное дробление, двухстадиальное измельчение, предварительную и поверочную классификацию, флотационный передел, сгущение, фильтрацию и сушку концентратов. Конечными (товарными) продуктами, получаемыми на обогатительной фабрике при переработке руды, являются флюоритовые концентраты марок ФФ-95 и ФФ-97, соответствующие требованиям ГОСТ 29219-91 «Концентраты плавиково-шпатовые кислотные и керамические». Получение высокосортных флюоритовых концентратов при обогащении данных типов руд осложняется вследствие близких физико-химическими свойств флюорита и карбонатных минералов (кальцита, доломита и пр.), а также снижением в исходной руде карбонатного модуля по мере отработки месторождения. Учитывая данные обстоятельства, требуются определять при измельчении не только степень раскрытия флюорита, но и степень раскрытия карбонатных минералов. Объект исследования – карбонатно-флюоритовые руды месторождения «Эгитинское». Предмет исследования – процесс раскрытия минералов на стадии измельчения. Цель исследования – определить оптимальную степень измельчения, обеспечивающего повышение эффективности флотационного обогащения карбонатно-флюоритовой руды месторождения «Эгитинское». Лабораторные исследования по выявлению оптимальной степени измельчения проводились двумя способами: по результатам технологических показателей флотационных тестов и по результатам изучения степени раскрытия минералов (флюорита и кальцита) в зависимости от различной степени измельчения руды. При проведении флотационных тестов установлено, что достаточная степень селективного разделения, как флюорита, так и карбонатных минералов происходит при выходе 70 % готового класса крупности (-0,071 мм). По результатам исследования степени раскрытия минералов выявлена оптимальная степень измельчения с выходом от 70 до 75 % класса – 0,071 мм.

Original article

Laboratory Research of the Opening of Minerals of Carbonate-Fluorite Ore of the Egitinskoye Deposit

Vitaly S. Labudin¹, Anatoly N. Khramov²

^{1,2} Transbaikal State University, Chita, Russia

¹labydinitalii@mail.ru, ²khramov.a53@mail.ru

Information about the article:

Received 31 March, 2023

Approved after reviewing
1 November, 2023

Accepted for publication
7 November, 2023

Ore from the Egitinskoye deposit is processed at the Egitinsky GOK Plus concentrating plant according to a technological scheme including: three-stage crushing, two-stage grinding, preliminary and verification classification, flotation processing, thickening, filtration and drying of concentrates. The end (commercial) products obtained at the processing plant during the processing of ore are fluorite concentrates of the FF-95 and FF-97 grades that meet the requirements of GOST 29219-91 "Fluoric acid and ceramic concentrates". Obtaining high-grade fluorite concentrates during the enrichment of these types of ores is complicated due to the close physical and chemical properties of fluorite and carbonate minerals (calcite, dolomite, etc.), as well as a decrease in the carbonate module in the original ore as the deposit is developed. Considering these circumstances, it is required to determine during grinding not only the degree of fluorite opening, but also the degree of opening of carbonate minerals.

Keywords:

fluorite, carbonate minerals, deposit, mineral disclosure, carbonate module, degree of grinding, flotation, laboratory research, granulometric analysis, mineralogical analysis

The object of research is the carbonate-fluorite ores of the Egitinskoye deposit. The subject of research is the process of opening minerals at the grinding stage. The purpose of the research is to determine the optimal degree of grinding, which ensures an increase in the efficiency of flotation enrichment of carbonate-fluorite ore from the Egitinskoye deposit. Laboratory research to identify the optimal degree of grinding were carried out in two ways: according to the results of technological indicators of flotation tests and according to the results of studying the degree of disclosure of minerals (fluorite and calcite), depending on the different degree of grinding of the ore. When carrying out flotation tests, it was found that a sufficient degree of selective separation of both fluorite and carbonate minerals occurs at the exit of 70 % of the finished size class (-0.071 mm). According to the results of the study of the degree of disclosure of minerals, the optimal degree of grinding was revealed with a yield of 70 to 75 % of the class – 0.071 mm.

Введение. В настоящее время одной из глобальных проблем, стоящих перед человечеством, является истощаемость природных ресурсов и загрязнение окружающей среды [1; 8]. Это объясняется невозможностью запасов полезных ископаемых в недрах земной коры и прогрессирующими темпами потребления материалов, получаемых из минерального сырья [2; 7; 9]. Усложнение состава перерабатываемых полезных ископаемых, вовлечение в эксплуатацию месторождений новых технологических видов при стремлении к комплексному освоению недр, вызывает необходимость интеграции всех переделов горного производства в единую технологию получения минеральных продуктов [3; 13]. В целом, эффективность какой-либо технологии обогащения полезных ископаемых определяется, главным образом, двумя основными факторами: степенью готовности исходного материала, т. е. степенью раскрытия ценных минералов в поступающем на обогащение минеральном сырье [5], и совершенствованием техники и технологий непосредственного обогащения [4; 9]. Исследованием руд по выбору оптимальной крупности подготовительных процессов занимаются множество зарубежных и отечественных ученых [12; 14; 15].

Распространённым методом при оптимизации параметров измельчения перед флотацией является подготовка продуктов с различной степенью измельчения [5; 6; 11], которые подвергаются дальнейшему флотационному обогащению и таким образом степень измельчения входит в исследование флотиремости в качестве варьируемого параметра [10; 12]. **Объект исследования** – карбонатно-флюоритовые руды месторождения «Эгитинское». **Предмет исследования** – процесс раскрытия флюорита и карбонатных минералов на стадии измельчения. **Цель исследования** – определение оптимальной степени измельчения, обеспечивающей повышение эффективности флотационного обогащения

карбонатно-флюоритовой руды месторождения «Эгитинское».

Основные задачи исследования: изучить измельчаемость карбонатно-флюоритовой руды, установить оптимальную степень измельчения карбонатно-флюоритовой руды месторождения «Эгитинское».

Материалы и методы исследования. Для исследования использовалась представительная технологическая проба руды месторождения «Эгитинское», подготовленная дроблением и грохочением до крупности -2+0 мм, сокращенная до навесок. Перед флотацией исходные навески руды измельчались в лабораторной шаровой мельнице 40 МЛ с поворотной осью при соотношении Т:Ж:Ш 1,5:1:13 (масса навески 850 г, количество воды – 580 мл, масса шаровой загрузки – 7500 г). Флотация измельченной руды проводилась во флотационных машинах «Механобр» с объёмом камер 3,0 и 0,75 литров. Температура пульпы + 25 °С. Время флотации, время агитации с реагентами, необходимое значение pH, расход реагентов и другие параметры флотационного процесса принимались по технологическому регламенту обогатительной фабрики¹. При флотации использованы следующие реагенты: сода кальцинированная в качестве регулятора среды, жидкое стекло и сернокислый алюминий в качестве модификаторов, Берол 8305 как собиратель.

Гранулометрический анализ проводился согласно ГОСТ 24598-81² комбинирован-

¹ Технологический регламент для переработки карбонатно-флюоритовой руды месторождения «Эгитинское».

² ГОСТ 24598-81. Руды и концентраты цветных металлов. Ситовый и седиментационный методы определения гранулометрического состава: государственный стандарт союза ССР: дата введения 1983-01-01 / Министерство цветной металлургии СССР. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024732> (дата обращения: 21.07.2023). – Текст: электронный; ГОСТ 7619.0-81. Шпат плавиковый. Общие требования к методам химического анализа: государственный стандарт союза ССР: дата введения 1981-02-27 / Министерство цветной металлургии СССР. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024996> (дата обращения: 21.07.2023). – Текст: электронный.

ным (мокро-сухим) методом. Рассев класса +0,071 мм, высушенного после мокрого анализа, осуществлялся на ситовом анализаторе АСВ-300 в течение 15 мин. Минералогический анализ выполнен на поляризационном микроскопе Olympus BX53. Химический анализ выполнялся по методикам ГОСТ 7619-81¹. Обработка результатов выполнена методом прикладной математики с использованием программы *Microsoft Excel*.

Результаты исследования и их обсуждение. Проведение лабораторных флотационных исследований осуществлялось в лабораториях кафедры ОПИи ВС горного факультета ЗабГУ.

Особое внимание уделялось прямым флотационным тестам, результаты которых, с одной стороны, представляют наибольший практический интерес, а с другой – позволяют наиболее полно учесть исключительно сложный комплекс особенностей флотационного процесса.

Результаты исследований в полупромышленных условиях показали, что оптимальная степень измельчения руды перед флотацией составляет 68–72 % класса -0,071 мм².

При переработке флюоритовых руд месторождения «Эгитинское» в промышленных условиях на обогатительной фабрике ОАО «Забайкальский ГОК» технологический режим измельчения составлял 75–80 % класса -0,071 мм³.

Исходя из того, что выход готового класса -0,071 мм варьировался в пределах от 68 до

¹ ГОСТ 24598-81. Руды и концентраты цветных металлов. Ситовый и седиментационный методы определения гранулометрического состава: государственный стандарт союза ССР: дата введения 1983-01-01 / Министерство цветной металлургии СССР. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024732> (дата обращения: 21.07.2023). – Текст: электронный; ГОСТ 7619.0-81. Шпат плавиковый. Общие требования к методам химического анализа: государственный стандарт союза ССР: дата введения 1981-02-27 / Министерство цветной металлургии СССР. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024996> (дата обращения: 21.07.2023). – Текст: электронный.

² Отчёт о научно-исследовательской работе (заключительный) «Разработка селективной технологии обогащения сильнокарбонатных флюоритовых руд Эгитинского месторождения» / А. В. Курков. – М., 2002. – 52 с. – URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/87659/1/mssmi_2019_008.pdf (дата обращения: 21.06.2023). – Текст: электронный.

³ Зеленый Э. Н. «Эгитинское месторождение плавикового шпата. Результаты детальной разведки с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.87: отчет Эгитинской ГРП за 1981–1987 гг. / ПГО «Бурятгеология». – Т. 1. – Улан-Удэ, 1987. – URL: <https://rfgf.ru/catalog/docview.php?did=c2038a374b35d33f32d7dec8755d5b42> (дата обращения: 21.06.2023). – Текст: электронный.

80 %, для данного исследования были проведены тесты по определению времени измельчения для обеспечения тонины помола руды с выходом готового класса крупности – 0,071 мм 60; 65; 70; 75 и 80 % с целью обеспечения оптимального измельчения руды перед флотационными опытами. Для данного теста использовались три навески руды по 850 грамм, крупностью -2+0 мм, подготовленные для построения кривой измельчения.

Определялось содержание класса -0,071 мм в исходной руде и измельченной – в течение 15 и 30 мин.

По данным ситового анализа построен график зависимости содержания готового класса -0,071 мм в измельченной пробе руды от времени измельчения по методике с использованием уравнения В. В. Товарова. Полученная графическая зависимость, приведена на рис. 1. Рассмотрен участок от 0 до 15 мин для наглядности построения кривой измельчения.

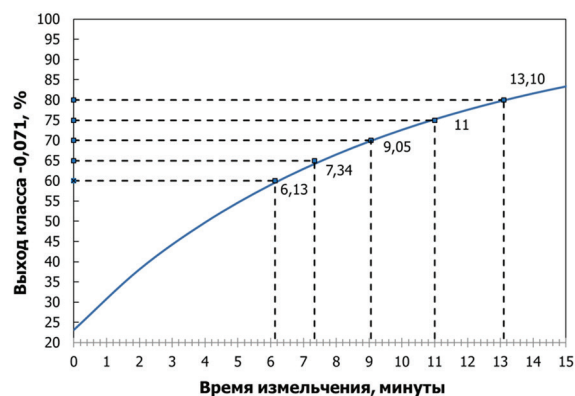


Рис. 1. График зависимости выхода готового класса -0,071мм от времени измельчения руды / **Fig. 1.** Graph of the dependence of the output of the finished class -0.071mm on the time of grinding the ore

По графику (рис. 1) определено необходимое время измельчения для достижения заданной тонины помола технологических пробы, а именно для тонины помола 60 % кл. – 0,071 мм – 6 мин 13 с; 65 % – 7 мин 34 с; 70 % – 9 мин 05 с; 75 % – 11 мин 00 с; 80 % – 13 мин 01 с.

Лабораторные исследования по выявлению оптимальной степени измельчения проводились двумя способами: по результатам технологических показателей флотационных тестов и по результатам изучения степени раскрытия минералов (флюорита и кальцита) в зависимости от различной степени измельчения руды.

Флотационные тесты проводились в параллели и в открытом режиме. Общая технологическая схема проведения тестов представлена на рис. 2.

В ходе исследований переменным фактором являлось различное время измельчения: тест 1 – 9 мин 05 с; тест 2 – 6 мин 13 с; тест 3 – 7 мин 34 с; тест 4 – 11 мин 00 с; тест 5 – 13 мин 01 с. Реагентный режим и технологические параметры флотации при проведении тестов были одинаковыми.

Сводные технологические показатели флотационных тестов № 1–5 в лабораторных условиях в открытом режиме с различной степенью измельчения приведены в табл. 1.

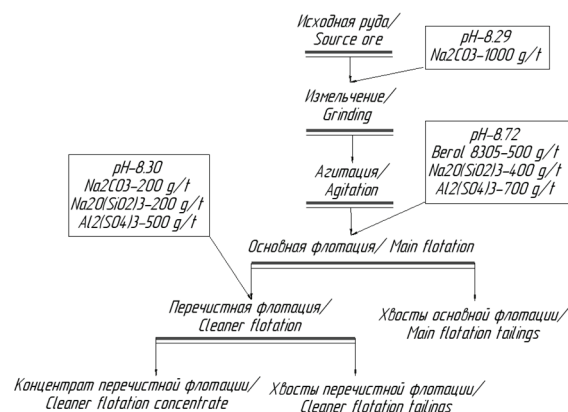


Рис. 2. Общая технологическая схема проведения флотационных тестов / Fig. 2. General technological scheme for conducting flotation tests

Таблица 1 / Table 1

Сводные результаты технологических показателей флотационных тестов № 1–5 в лабораторных условиях в открытом режиме с различной степенью измельчения / Summary results of technological indicators of flotation tests No. 1–5 in laboratory conditions in an open mode with various degrees of grinding

Наименование продуктов/ Name of products	Выход / Exit	Содержание, % / Content, %		Извлечение, % / Extraction, %		Эффективность обогащения, % / Enrichment efficiency, %		Условия проведения теста / Test conditions
		%	CaF ₂	CaCO ₃	CaF ₂	CaCO ₃	CaF ₂	
Тест 2 / Test 2								
Концентрат перечистой флотации / Cleaner flotation concentrate	66,40	75,17	18,06	95,11	83,75	60,4	20,3	Выход готового класса -0,071 мм – 60 % / Finished class -0,071 мм – 60 %
Хвосты перечистой флотации / Cleaner flotation tailings	4,10	11,06	20,77	0,86	5,95			
Хвосты основной флотации / Main flotation tailings	29,50	7,16	5,00	4,02	10,30			
Исходный материал (расчёт) / Source material (calculation)	100,00	52,48	14,32	100,00	100,00			
Тест 3 / Test 3								
Концентрат перечистой флотации / Cleaner flotation concentrate	65,10	75,38	18,07	93,95	81,89	60,4	19,6	Выход готового класса -0,071 мм – 65 % / Finished class -0,071 мм – 65 %
Хвосты перечистой флотации / Cleaner flotation tailings	4,40	13,81	21,96	1,16	6,73			
Хвосты основной флотации / Main flotation tailings	30,50	8,37	5,36	4,89	11,38			
Исходный материал (расчёт) / Source material (calculation)	100,00	52,23	14,36	100,00	100,00			
Тест 1 / Test 1								
Концентрат перечистой флотации / Cleaner flotation concentrate	64,00	76,32	17,10	92,40	75,23	60,3	13,1	Выход готового класса -0,071 мм – 70 % / Finished class -0,071 мм – 70 %
Хвосты перечистой флотации / Cleaner flotation tailings	6,80	22,76	25,09	2,93	11,73			
Хвосты основной флотации / Main flotation tailings	29,20	8,45	6,50	4,67	13,05			
Исходный материал (расчёт) / Source material (calculation)	100,00	52,86	14,55	100,00	100,00			

Окончание табл. 1 / End the table 1

Наименование продуктов/ Name of products	Выход / Exit	Содержание, % / Content,%		Извлечение, % / Extraction, %		Эффективность обогащения, % / Enrichment efficiency, %		Условия проведения теста / Test conditions
	%	CaF ₂	CaCO ₃	CaF ₂	CaCO ₃	CaF ₂	CaCO ₃	
Тест 4 / Test 4								
Концентрат перечистой флотации / Cleaner flotation concentrate	65,00	74,65	18,15	91,96	79,26	57,1	16,8	Выход готового класса -0,071 мм – 75 %/ Finished class -0,071 mm – 75 %
Хвосты перечистой флотации / Cleaner flotation tailings	5,20	14,56	20,45	1,43	7,14			
Хвосты основной флотации / Main flotation tailings	29,80	11,70	6,79	6,61	13,59			
Исходный материал(расчёт) / Source material (calculation)	100,00	52,77	14,88	100,00	100,00			
Тест 5 / Test 5								
Концентрат перечистой флотации / Cleaner flotation concentrate	63,90	75,36	18,34	92,07	80,71	59,1	19,7	Выход готового класса -0,071 мм – 80 %/ Finished class -0,071 mm – 80 %
Хвосты перечистой флотации / Cleaner flotation tailings	5,70	15,73	19,01	1,71	7,46			
Хвосты основной флотации / Main flotation tailings	30,40	10,69	5,65	6,21	11,83			
Исходный материал(расчёт) / Source material (calculation)	100,00	52,30	14,52	100,00	100,00			

На основании результатов исследований по выбору оптимальной степени измельчения в зависимости от показателей флотационных опытов установлено: наилучшие показатели обогащения руды получены при измельчении в течение 9 мин 05 с, что соответствует выходу готового класса крупности (-0,071 мм) – 70 % (эффективность обогащения флюорита составила 60,24 % при минимальной эффективности по кальциту – 13,10 %), что характеризует оптимальную степень раскрытия, как флюорита, так и карбонатных минералов и обеспечивает достаточную степень селективного разделения.

Исследования по выбору оптимальной степени измельчения в зависимости от степени раскрытия минералов включали следующие задачи:

– изучить измельчаемость руды установленной по графику измельчения руды (см. рис. 1);

– установить степень раскрытия минералов (флюорита и кальцита) в продуктах с различным временем измельчения по результатам их гранулометрического, минералогического и химического анализа.

При проведении минералогического анализа изучались классы крупности +0,071 мм и -0,071 мм каждой пробы, измельченных с

различным временем. В качестве примера в данной статье приведены фото и описание пробы, измельченной до 70 % выхода готового класса. Установлено, что срастания с кальцитом единичны, содержание не достигает 0,2 %. Абсолютно раскрытые зерна флюорита составляют 95 %, остальной флюорит представлен сростками с тонкими глинисто-слюдистосодержащими агрегатами кальцит-хлорит-кварцевого состава. Степень соотношения флюорита в сростках от 35–40 %, до практически полностью флюоритового зерна с тонкими каймами смешанного состава. 40 % флюорита имеют в составе включения. Внешне материал больше загрязнён глинисто-слюдистосодержащими агрегатами кальцит-хлорит-кварцевого состава. Фотографии минералогического анализа классов крупности +0,071 и -0,071 мм пробы, измельченной до 70 % выхода готового класса представлены на рис. 3 и 4.

Результаты гранулометрического и химического анализа продуктов измельчения руды при различном времени измельчения приведены в табл. 2. Графические зависимости извлечения минералов (флюорита и кальцита) по классам крупности +0,071 мм, -0,071 мм, +0,020 мм и -0,020 мм от выхода готового класса представлены на рис. 5–7.

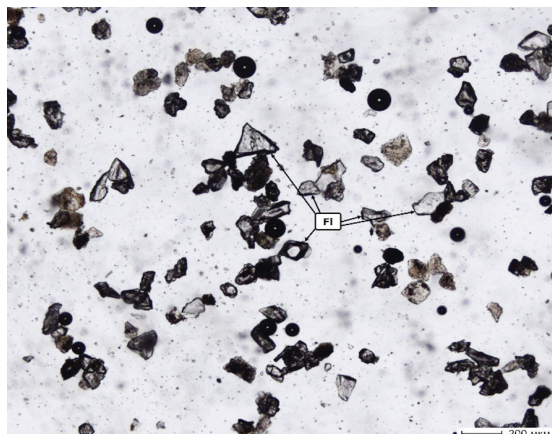


Рис. 3. Класс крупности +0,071 мм при выходе 70 % готового класса крупности (-0,071 мм), F1-флюорит / **Fig. 3.** Size class +0.071 mm at the output of 70 % of the finished size class (-0.071 mm) FI-fluorite

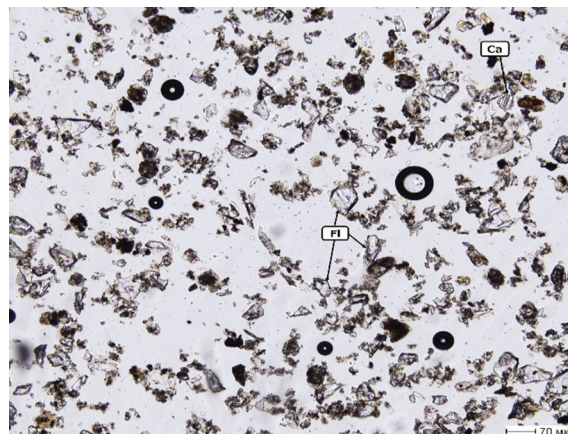


Рис. 4. Класс крупности -0,071 мм при выходе 70 % готового класса крупности (-0,071 мм), F1-флюорит, Са-кальцит / **Fig. 4.** Size class -0.071 mm at the output of 70 % of the finished size class (-0.071 mm) FI-fluorite, Ca-calcite

Таблица 2 / Table 2

Гранулометрический и химический состав продуктов измельчения при различном времени измельчения / Granulometric and chemical composition of grinding products at different grinding times

Выход готового класса -0.071 мм, % / Finished class -0.071 mm, %	Класс крупности, мм / Size class, mm	Выход / Exit		Содержание, % / Content, %		Распределение, % / Distribution, %	
		гр	%	CaF ₂	CaCO ₃	CaF ₂	CaCO ₃
60	+0,071	342	40,3	50,9	12,0	40,4	34,4
	-0,071+0,020	277,1	32,6	42,5	17,5	27,3	40,6
	-0,020+0	230	27,1	60,5	13,0	32,3	25,0
	Итого / Total	849,1	100,0	50,8	14,1	100,0	100,0
65	+0,071	295	34,7	55,5	11,9	37,5	32,9
	-0,071+0,020	328,7	38,7	43,3	12,8	32,6	39,4
	-0,020+0	225,6	26,6	57,8	13,1	29,9	27,7
	Итого / Total	849,3	100,0	51,4	12,6	100,0	100,0
70	+0,071	251,3	29,6	34,9	12,2	20,3	28,0
	-0,071+0,020	312,6	36,8	57,5	13,6	41,6	38,8
	-0,020+0	285,2	33,6	57,8	12,8	38,1	33,3
	Итого / Total	849,1	100,0	50,9	12,9	100,0	100,0
75	+0,071	210,4	24,8	35,6	13,1	17,2	25,3
	-0,071+0,020	356,6	42,0	56,2	13,1	46,0	42,8
	-0,020+0	281,4	33,2	57,0	12,3	36,8	31,8
	Итого / Total	848,4	100,0	51,4	12,8	100,0	100,0
80	+0,071	170,1	20,0	24,2	17,8	9,3	26,0
	-0,071+0,020	331,2	39,0	58,0	12,4	43,3	35,3
	-0,020+0	348,3	41,0	60,5	12,9	47,5	38,6
	Итого / Total	849,6	100,0	52,3	13,7	100,0	100,0

Как видно из табл. 2, результаты гранулометрического состава измельченных продуктов подтвердили данные кривой кинетики измельчения руды месторождения «Эгитинское» (см. рис. 1), т. е. при измельчении в течение 6 мин 13 с выход готового класса – 0,071 мм составил 59,7 %, при 7 мин 34 с –

65,3 %, при 9 мин 05 с – 70,4 %, при 11 мин – 75,2 %, при 13 мин 10 с – 80 % готового класса. Кроме того, с учётом данных таблицы построены графические зависимости распределения минералов (флюорита и кальцита) в классы крупности от степени измельчения, представленные на рис. 5, 6, 7.

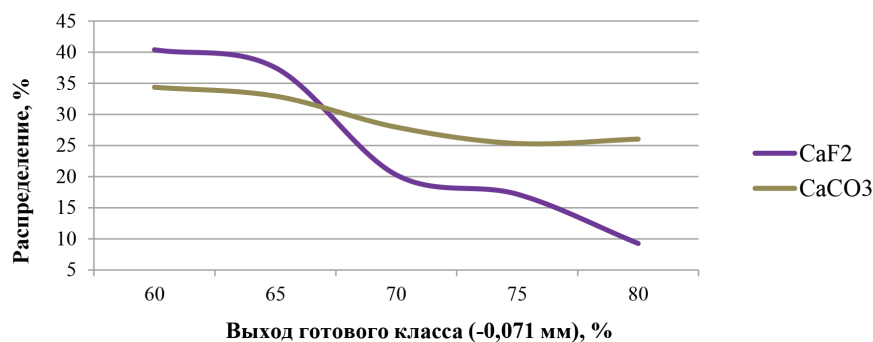


Рис. 5. Графики зависимости распределения минералов (флюорита и кальцита) по классам крупности +0,071 мм от степени измельчения / **Fig. 5.** Graphs of dependence of minerals (fluorite and calcite) distribution by size classes +0.071 mm on the degree of grinding

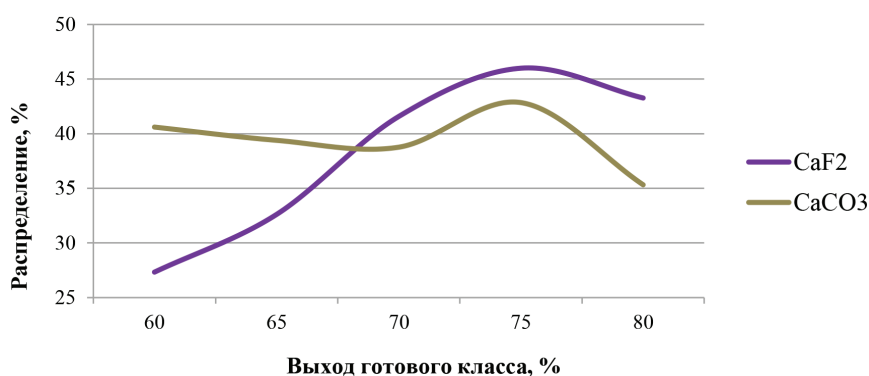


Рис. 6. Графики зависимости распределения минералов (флюорита и кальцита) по классам крупности -0,071+0,020 мм от степени измельчения / **Fig. 6.** Graphs of dependence of mineral (fluorite and calcite) distribution by size classes -0.071+0.020 mm on the degree of grinding

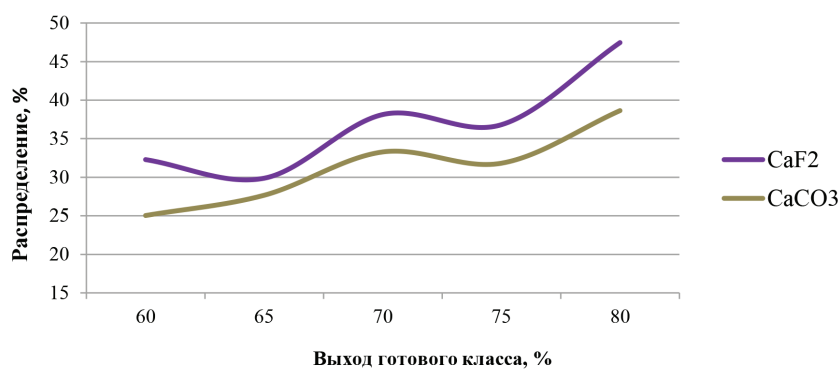


Рис. 7. Графики зависимости распределения минералов (флюорита и кальцита) по классам крупности -0,020+0 мм от степени измельчения / **Fig. 7.** Graphs of dependence of minerals (fluorite and calcite) distribution by size classes -0.020+0 mm on the degree of grinding

Выводы. Из анализа графиков видно, что при увеличении тонины помола (выхода готового класса) наблюдается следующее:

– в классе крупности +0,071 мм (см. рис. 5) происходит снижение извлечения флюорита и кальцита, что очевидно;

– в классе крупности -0,020 мм (см. рис. 7) при увеличении времени помола повышается извлечение флюорита и кальцита, т. е. наблюдается процесс шламообразования, более интенсивно происходит переход флюорита в шламы при выходе готового класса 80 %;

– в классе крупности -0,071+0,020 мм (рис. 6) происходит увеличение извлечения флюорита до 75 % готового класса, далее (при 80 %) происходит снижение извлечения флюорита; по кальциту, эта зависимость слабо выражена, т. е. экстремум кривой гра-

фика характеризует оптимальную область степени измельчения по выходу готового класса крупности -0,071 мм и составляет 70–75 %.

Результаты проведенных лабораторных исследования раскрываемости минералов карбонатно-флюоритовой руды месторождения «Эгитинское» следующие:

1. При проведении флотационных тестов установлено, что достаточная степень селективного разделения, как флюорита, так и карбонатных минералов происходит при выходе 70 % готового класса крупности (-0,071 мм).

2. При анализе результатов гранулометрического и минералогического исследований по степени раскрытия минералов, выявлена оптимальная степень измельчения с выходом от 70 до 75 % класса -0,071 мм.

Список литературы

1. Аксенова Г. Я. Количественная оценка степени раскрытия минералов при измельчении руд // Обогащение руд. 2005. № 3. С. 14–18.
2. Фатьянов А. В., Никитина Л. Г., Глотова Е. В. Технология обогащения флюоритовых руд: монография. Новосибирск: Наука, 2006. 196 с.
3. Авдохин В. М. Основы обогащения полезных ископаемых: в 2 т. Т. 1: Обогащительные процессы. М.: Горная книга, 2008. 416 с.
4. Астахов Р. Я., Никифоров К. А., Мохосоев М. В. Селективная флотация флюориткарбонатных руд. Новосибирск: Наука, 1983. 137 с.
5. Марченко А. А., Зашихин А. В., Воскресенская Е. Н., Южанников А. Ю. Разработка технологии обогащения флюоритовых руд Нижне-Березовского месторождения (Красноярский край) // Успехи современного естествознания. 2013. № 12. С. 20–25.
6. Гордиенко П. С., Ярусова С. Б., Крысенко Г. Ф. Переработка флюоритсодержащего минерального сырья и отходов Ярославского горно-обогатительного комбината: монография. Ярославль: РИОР, 2018. 215 с.
7. Купцова А. В., Мезенцева О. П., Храмов А. Н. Применение минералого-аналитических методов определения параметров раскрытия минералов // Горный журнал. 2014. № 11. С. 35–39.
8. Смольяков А. Р. Раскрытие минералов при измельчении руды // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2007. № 8. С. 224–234.
9. Лысенко А. А., Кутлин Б. А., Храмов А. Н., Щекотов Н. Д. Предварительное обогащение руд на предприятиях «Монголросцветмет» (Монголия) // Горный журнал. 2000. №2. С. 28–30.
10. Бадамсурэн Х., Кутлин Б.А., Болдбаатар М. Совершенствование технологии обогащения руд на ОФ ГОКа Бор-Ундур // Горный журнал. Улан-Баатар, 2003. №3. С. 16–19.
11. Храмов А. Н. Алгоритм исследования раскрываемости ценных компонентов и его технологические возможности применения при измельчении руд // Вестник Забайкальского государственного университета. 2012. Т. 81, № 2. С. 36–41.
12. Храмов А. Н., Костромина И. В. Способ определения оптимальных параметров процессов рудоподготовки // Вестник Забайкальского государственного университета. 2017. Т. 23, № 9. С. 45–52.
13. Мязин В. П., Храмов А. Н. Повышение эффективности технологии переработки плавикошпатового сырья путем совершенствования предварительного обогащения // Вестник ЧитГУ. 2011. № 3. С. 40–45.
14. Barry A. Wills, James Finch. Mineral Processing Technology. 8th Edition, 2016.
15. Wills B. A., Barley R. W. Mineral Processing at a Crossroads. Problems and Prospects. New York: Springer, 1986. 429 p.

References

1. Aksenova G. Ya. Quantitative assessment of the degree of mineral disclosure during ore grinding. Ore enrichment, no. 3, pp. 14–18, 2005. (In Rus.).
2. Fatyanov A. V., Nikitina L. G., Glotova E. V. Technology of fluorite ore enrichment: monograph. Novosibirsk: Nauka, 2006. (In Rus.).

3. Avdokhin V. M. Fundamentals of mineral enrichment: in 2 vol. Vol. 1: Enrichment processes. Moscow: Mining Book, 2008. (In Rus.).
4. Astakhov R. Ya., Nikiforov K. A., Mokhosoev M. V. Selective flotation of fluorite carbonate ores. Novosibirsk: Nauka, 1983. (In Rus.).
5. Marchenko A. A., Zashikhin A. V., Voskresenskaya E. N., Yuzhannikov A. Yu. Development of technology for the enrichment of fluorite ores of the Nizhne-Berezovsky deposit (Krasnoyarsk Krai). Successes of modern natural science, no. 12, pp. 20–25, 2013. (In Rus.).
6. Gordienko P. S., Yarusova S. B., Krysenko G. F. Processing of fluorite-containing mineral raw materials and waste of the Yaroslavl Mining and Processing Plant: monograph. Yaroslavl: RIOR, 2018. (In Rus.).
7. Kuptsova A. V., Mezentseva O. P., Khramov A. N. Application of mineral-analytical methods for determining the parameters of mineral disclosure. Mining Journal, no. 11, pp. 35–39, 2014. (In Rus.).
8. Smolyakov A. R. Opening of minerals during ore grinding. MIAB Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal), no. 8, pp. 224–234, 2007. (In Rus.).
9. Lysenko A. A., Kutlin B. A., Khramov A. N., Shchekotov N. D. Preliminary enrichment of ores at the enterprises of "Mongolrosvetmet" (Mongolia). Mining Journal, no. 2, pp. 28–30, 2000. (In Rus.).
10. Badamsurzhan X., Kutlin B. A., Boldbaatar M. Improving ore enrichment technology at the Bor-Undur Mining and Processing Plant. Mining Journal, no. 3, pp. 16–19, 2003. (In Rus.).
11. Khramov A. N. Algorithm for investigating the disclosure of valuable components and its technological possibilities of application in ore crushing. Bulletin of the Trans-Baikal State University, vol. 81, no. 2, pp. 36–41, 2012. (In Rus.).
12. Khramov A. N., Kostromina I. V. Method for determining optimal parameters of ore preparation processes. Bulletin of the Trans-Baikal State University, vol. 23, no. 9, pp. 45–52, 2017. (In Rus.).
13. Myazin V. P., Khramov A. N. Increasing efficiency of fluor-spar raw materials processing technology by perfection of preliminary enrichment. Bulletin of Transbaikal State University, vol. 70, no. 3, pp. 40–45, 2011. (In Rus.).
14. Barry A. Wills, James Finch. Technology of mineral processing. 8th ed. 2016. (In Eng.).
15. Wills B. A., Barley R. V. Processing of minerals at the crossroads. Problems and prospects. New York: Springer, 1986. (In Eng.).

Информация об авторах

Лабудин Виталий Сергеевич, соискатель кафедры обогащения полезных ископаемых и вторичного сырья, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; labydinvitallii@mail.ru. Область научных интересов: инновационные процессы рудоподготовки.

Храмов Анатолий Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры обогащения полезных ископаемых и вторичного сырья, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; khramov.a53@mail.ru. Область научных интересов: инновационные процессы рудоподготовки и сушки концентратов при переработке минерального сырья.

Information about the authors

Labudin Vitaly S., postgraduate, Processing Minerals and Secondary Raw Materials department, Transbaikal State University, Chita, Russia; labydinvitallii@mail.ru. Research interests: innovative processes of ore preparation.

Khramov Anatoly N., candidate of technical sciences, associate professor, Processing Minerals and Secondary Raw Materials department, Transbaikal State University, Chita, Russia; khramov.a53@mail.ru. Research interests: innovative processes of ore preparation and drying of concentrates while processing of mineral raw materials.

Вклад авторов в статью

В. С. Лабудин – обработка результатов лабораторных исследований, сбор материалов, библиографии, написание текста.

А. Н. Храмов – организация работ при проведении лабораторных исследований, разработка методологии исследования, сбор, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста.

The authors' contribution to the article

V. S. Labudin – processing of laboratory research results, collection of materials, bibliography, writing the text.

A. N. Khramov – organization of work during laboratory research, development of research methodology, collection, analysis and interpretation of the data obtained, preparation and editing of the text.

Для цитирования

Лабудин В. С., Храмов А. Н. Лабораторные исследования раскрываемости минералов карбонатно-флюоритовой руды месторождения «Эгитинское» // Вестник Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 29, № 4. С. 95–104. DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-4-95-104.

For citation

Labudin V. S., Khramov A. N. Laboratory research of the opening of minerals of carbonate-fluorite ore of the Egitinskoye deposit // Transbaikal State University Journal. 2023. Vol. 29, no. 4. P. 95–104. DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-4-95-104.