

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.7

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ФЛЮОРИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ПРИ ВТОРИЧНОМ ОБОГАЩЕНИИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Л. А. Киенко¹, О. В. Воронова¹, С. А. Кондратьев²

¹Хабаровский федеральный исследовательский центр ДВО РАН,
E-mail: kienkola@rambler.ru, ул. Тургенева, 51, 680000, г. Хабаровск, Россия

²Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
E-mail: kondr@misd.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

Рассмотрены проблемы получения флюоритовых концентратов из техногенного сырья Ярославской горнорудной компании. Отходы, накопленные в хвостохранилище за продолжительный период работы предприятия, содержат 11.6 – 20.7 % флюорита. Лежалые хвосты обладают отличительными технологическими свойствами из-за физико-химических воздействий на минеральные компоненты при первичной переработке руд и длительного пребывания материала в хвостохранилище. Обосновано применение комплекса сбалансированных воздействий, обеспечивающих селективное извлечение флюорита. Получены концентраты с массовой долей CaF_2 до 95 %. Исследована проблема получения флюоритовых концентратов, максимально очищенных от двуокиси кремния, являющейся строго лимитируемой вредной примесью. Предложены направления совершенствования схемы обогащения и установлена эффективность использования электрохимической обработки жидкой фазы пульпы на заключительных этапах перечисток концентратов. Показана возможность снижения содержания двуокиси кремния в концентратах до 1.25 – 0.99 %.

Техногенное сырье, тонкая вкрапленность, флюорит, флотация, экранирующие покрытия, слюдистые включения, тонкое измельчение, электролизная обработка

DOI: 10.15372/FTPRPI20220616

Флюоритовые концентраты — практически единственный источник для производства широко применяемого в различных областях промышленности фтора и его соединений. Основным объемом производимых в России флюоритовых концентратов используется для получения криолита при производстве алюминия. Соединения фтора широко распространены в сталелитейном производстве, различных секторах химической промышленности, при получении фторсодержащих полимеров, урана высокой чистоты и т. д.

При оценке качества флюоритовых концентратов потребителями за основу принимается содержание главного компонента — фторида кальция, а также массовая доля вредных примесей, главным образом двуокиси кремния. Отрицательное влияние двуокиси кремния в технологии кислотной переработки флюоритовых концентратов заключается в том, что силикаты активно связывают анионы фтора и существенно снижают эффективность производства. Даже при небольшом повышении содержания SiO_2 выход фторидов как готовой продукции химического передела заметно снижается. Поэтому цена на флюоритовые концентраты существенно зависит от содержания в них двуокиси кремния.

Основным производителем флюоритовых концентратов в России продолжительное время был Ярославский горно-обогатительный комбинат (с 2001 г. — Ярославская горнорудная компания, базировавшаяся на переработке руд Вознесенского рудного района). По запасам флюорита данные месторождения относятся к наиболее крупным в мире. Для всех руд массива характерно чрезвычайно тонкое взаимное прораствание слагающих их минералов [1]. При измельчении рудной массы до содержания 85–95 % зерен размером < 0.044 мм достигалось раскрытие минералов не более чем 80–85 %. В настоящее время запасы руд на месторождении отработаны лишь частично. С 2013 г. предприятие остановлено ввиду острого дефицита доступного для добычи сырья. Дальнейшая эксплуатация месторождения возможна после проведения большого объема горно-вскрышных работ, требующих существенных капиталовложений. Один из наиболее перспективных, экономически доступных и экологически целесообразных путей решения проблемы обеспечения производственных мощностей сырьем — вовлечение в переработку техногенных хвостов предприятия. По результатам опробования хвостохранилища обогатительной фабрики предприятия выявлено, что содержание CaF_2 в отходах, складированных в различных участках, колеблется в пределах 13–23 %. Массовая доля кальцита, в значительной мере определяющего селективность флотационного передела при обогащении сырья, составляет 12–14 %.

Накопленный объем отходов обогащения флюоритовых руд в хвостохранилище Ярославской горнорудной компании, по имеющейся оценке, составляет не менее 30 млн т. Согласно оценочным критериям, проскладированные отходы можно рассматривать как техногенное месторождение и реальный сырьевой источник [2, 3].

Вторичное обогащение сырья методом флотации — довольно сложная задача [4], так как рудная масса, подвергавшаяся ранее обработке флотореагентами и последующими продолжительными контактами с воздушной и водно-солевой средой хвостохранилищ, существенно отличается по физико-химическим свойствам от свежеизмельченной руды. Важнейшими особенностями являются состояние поверхностного слоя минеральных компонентов, состав и размеры образовавшихся покрытий, играющих экранирующую роль при взаимодействии минералов с реагентами и водной средой, препятствующих их полноценному взаимодействию. Кроме того, недоизвлеченный в процессе первичного обогащения флюорит, как показали результаты минералогических анализов, представлен шламообразными частицами либо сростками с другими минералами. Получение флюоритовых концентратов высокой чистоты из столь сложного сырья — крайне сложная задача.

При разработке технологии вторичного флотационного обогащения лежалых хвостов Ярославской горнорудной компанией необходимо решение комплекса проблем, а именно: обособление минеральных компонентов; достижение доступа к составляющим минерал структурам. Кроме того, в пульпе неизбежно присутствие десорбированных в результате подготовительных операций соединений, влияющих на процесс взаимодействия вновь внесенных реагентов с ми-

нералами. Лишь в условиях эффективной нейтрализации их негативного влияния процесс селекции минералов может протекать успешно. Задача осложняется резко возросшими в последние годы требованиями потребителей к качеству флюоритовых концентратов.

Для оценки состава и обогатимости лежалых хвостов флотации Ярославской обогатительной фабрики из массива хвостохранилища отобрано семь различных по гранулометрическому составу и содержанию основных компонентов проб. Материал основного массива хвостохранилища представлен пробами 1 – 5. Пробы 6, 7 отобраны в зоне концентрации наиболее тонкой части отходов флотации, сливов сгустителей, фильтратов и прочих продуктов с повышенным содержанием шламов. По имеющимся данным, объем такого материала составляет 20 – 25 % общих запасов хвостохранилища. Гранулометрический состав проб техногенных хвостов изучался с помощью лазерного прибора для измерения частиц Analyzette 22 немецкой фирмы Fritsch. Данные анализов пробы 5, представляющей собой усредненную пробу материала, отобранного в разных точках основного массива, и проб 6, 7 с высоким содержанием шламов приведены на рис. 1.

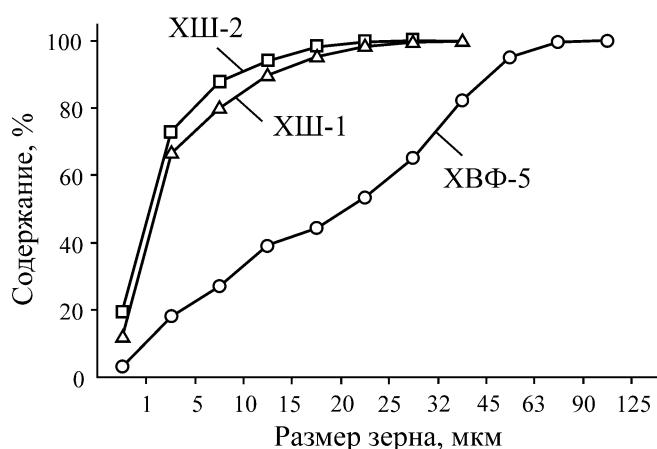


Рис. 1. Гранулометрическая характеристика материала техногенных хвостов различных зон хвостохранилища

Установлено, что все пробы содержат большой объем тонких шламов, разделение которых флотационными методами сопряжено с известными трудностями. Даже в наименее ошламованном материале пробы 5 содержание фракции крупностью < 20 мкм составляет ~ 45 %. В пробах 6, 7 практически все зерна представлены тончайшими шламами, содержание класса размером < 10 мкм составляет в них 80 и 88 % соответственно. В табл. 1 представлены результаты химических анализов семи проб.

ТАБЛИЦА 1. Результаты анализов техногенных хвостов на основные компоненты, %

Проба	Шифр пробы	Содержание			
		CaF ₂	CaCO ₃	SiO ₂	Zn
1	ХВФ-1	15.20	13.35	32.20	0.49
2	ХВФ-2	20.70	10.20	30.85	0.38
3	ХВФ-3	18.19	11.39	33.65	0.45
4	ХВФ-4	19.00	12.90	33.98	0.42
5	ХВФ-5	18.35	11.67	32.77	0.33
6	ХШ-1	11.56	12.57	34.95	0.34
7	ХШ-2	13.12	10.33	34.60	0.29

Разброс по содержанию флюорита в абсолютных величинах составляет 9.14 %, в относительных $(\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) / \alpha_{\max}$ — 44.15 %, по содержанию кальцита 3.10 и 23.22 % соответственно. Двуокись кремния, по данным минералогических анализов, в пробах представлена полевыми шпатами, гранитом и слюдами. Различия в содержании SiO_2 по исследуемым образцам не существенны. Во всех пробах присутствует сфалерит, что связано с периодической переработкой предприятием цинк-флюоритовых руд. Хвосты их обогащения складировались в одно общее хвостохранилище. Однако массовая доля сфалерита незначительна и по данным проведенных исследований его извлечение в отдельный концентрат не получено.

По результатам исследований установлены технологические параметры измельчения и флотации. При времени измельчения материала проб основного массива в лабораторной шаровой мельнице марки МШЛ 40МЛ 35–45 мин достигалась оптимальная крупность помола (95–96 % класса размером < 44 мк), обеспечивающая при флотации в разбавленных пульпах удовлетворительную для столь сложного сырья селективность флотации. Пробы с высоким содержанием шламов подвергались обработке в мельнице. Здесь целью являлось обновление поверхности минеральных частиц при контакте с мелющей средой, а не снижение их размеров.

Один из важных параметров при разработке технологии флотации вторичного сырья — выбор и обоснование параметров плотности в технологических операциях. Известно [5–7], что при флотации тонкоизмельченных материалов с высоким содержанием шламов параметры, характеризующие разбавление пульпы, влияют на избирательность адсорбционных процессов и на показатели селективности флотации. По данным изучения особенностей флотации техногенных хвостов, подбора концентраций регуляторов среды, эффективно действующих композиций собирателей и модификаторов, найдены наиболее приемлемые технологические режимы для всех исследуемых проб. Получены концентраты, содержащие > 93 % CaF_2 при извлечении в них флюорита 47.7–67.4 % (табл. 2). При повышении содержания флюорита в концентратах до 95 % (на примере пробы 4) снижение извлечения может составлять до 10 %.

ТАБЛИЦА 2. Результаты флотации техногенных хвостов Ярославской горнорудной компании с разным содержанием флюорита, %

Проба		Продукт	Выход	Содержание		Извлечение		Содержание в концентрате SiO_2
Номер	Шифр			CaF_2	CaCO_3	CaF_2	CaCO_3	
1	ХВФ-1	Концентрат	8.35	93.19	0.69	52.53	0.44	1.90
		Питание	100.00	14.81	13.13	100.00	100.00	
2	ХВФ-2	Концентрат	14.93	93.64	1.09	67.41	1.56	1.79
		Питание	100.00	20.74	10.43	100.00	100.00	
3	ХВФ-3	Концентрат	12.25	93.35	1.08	62.83	1.14	1.85
		Питание	100.00	18.20	11.65	100.00	100.00	
4	ХВФ-4	Концентрат	12.33	93.49	0.76	60.07	0.71	1.78
		Питание	100.00	19.19	13.26	100.00	100.00	
4	ХВФ-4	Концентрат	9.84	95.03	0.39	49.53	0.30	1.52
		Питание	100.00	18.87	12.98	100.00	100.00	
5	ХВФ-5	Концентрат	11.59	93.58	1.27	59.09	1.26	1.84
		Питание	100.00	18.36	11.66	100.00	100.00	
6	ХШ-1	Концентрат	6.46	93.16	1.75	52.04	0.89	1.59
		Питание	100.00	11.57	12.66	100.00	100.00	
7	ХШ-2	Концентрат	6.65	93.35	0.98	47.70	0.63	1.70
		Питание	100.00	13.12	10.27	100.00	100.00	

По содержанию двуокиси кремния все полученные концентраты соответствуют требованиям к концентратам марки ФФ-92. Однако в связи с возросшими требованиями основных потребителей к качеству концентратов (особенно по лимиту содержания в них SiO_2) остро встала проблема получения концентратов марок ФФ-95, ФФ-97 с более низкой массовой долей в них двуокиси кремния.

Носителями двуокиси кремния в концентратах являются преимущественно слюдистые компоненты. Высокая флотационная активность слюд обусловлена их типично слоистым строением. В процессе измельчения они расщепляются вдоль плоскостей спайности, обнажают связи, обеспечивающие относительно невысокую гидратацию поверхностей. Снижение их флотационной активности достигается за счет применения комплекса различных реагентов, в том числе разных модификаций жидкого стекла, органических полимеров (крахмала, декстрина, полифосфатов, лигносульфонатов) и их композиций. Весьма перспективно использование электролизной обработки жидкой фазы пульпы, способствующее гидрофилизации силикатных минералов [8–10].

Принято считать, что депрессия несulfидных минералов жидким стеклом обусловлена образованием гидрофильной пленки на поверхности частиц и уменьшением сорбции собирателя. Кроме того, жидкое стекло может десорбировать с поверхности минералов собиратель, закрепившийся в молекулярной форме. При небольших концентрациях на силикатах и кальците оно закрепляется гораздо активнее, чем на флюорите [11, 12].

В результате многолетних исследований и промышленной практики наиболее эффективным депрессором силикатов при флотационном обогащении руд Вознесенского рудного района признано применение сочетаний жидкого стекла с различными соединениями, в том числе органическими продуктами, отходами лесоперерабатывающей промышленности (концентраты барды разного состава), активная часть которого представлена лигносульфонатами [13, 14]. При обогащении вторичного сырья эффективность депрессирующего действия может снижаться из-за особого состояния поверхностей минеральных частиц. Помимо обволакивания вновь образованных поверхностей минеральных частиц гидрофильной пленкой, первостепенное значение приобретает эффективность вытеснения адсорбированных на предыдущей стадии обогащения соединений с разрушением гидрофобных структур. Исследования влияния расходов депрессоров (жидкого стекла и лигносульфонатов) на результаты обогащения, в том числе на возможность снижения в концентратах массовой доли SiO_2 , проводились на материале проб 4, 5. В ходе экспериментов по подбору оптимальных расходов композиций депрессоров, определением точек их подачи и режимов контактирования разработаны рекомендации по эффективной депрессии силикатов и общему повышению селективности флотации.

На рис. 2 отражена зависимость показателей флотации от общего расхода жидкого стекла и лигносульфонатов. Данные по содержанию SiO_2 приведены по результатам анализов концентратов 8-й перечистки. В результате по схеме, включающей в себя основную флюоритовую флотацию и восемь перечисток пенного продукта, в оптимальном режиме получены концентраты, содержащие 95 % CaF_2 и 1.46–1.78 % двуокиси кремния. Извлечение флюорита в концентраты составляло 52–53 %. Данные приведены по результатам опытов в открытом цикле флотации. Обогащение в схемах с замкнутым циклом и перераспределением флюорита, попавшего в промпродукты, может обеспечить некоторый рост извлечения. Однако существует очень высокая вероятность увеличения массовой доли кальцита, в значительной степени концентрирующегося в промпродуктах 1–5. Содержание CaCO_3 в них может составлять 20–51 %.

Даже введение в схему специальной промпродуктовой флотации, цель которой — сброс основной части кальцита, не может в полной мере предотвратить его накопление и, соответственно, снижение селективности флюорита и кальцита. Поэтому разработка схемы флотации вторичного сырья в замкнутом цикле — сложная задача, требующая специальных исследований.

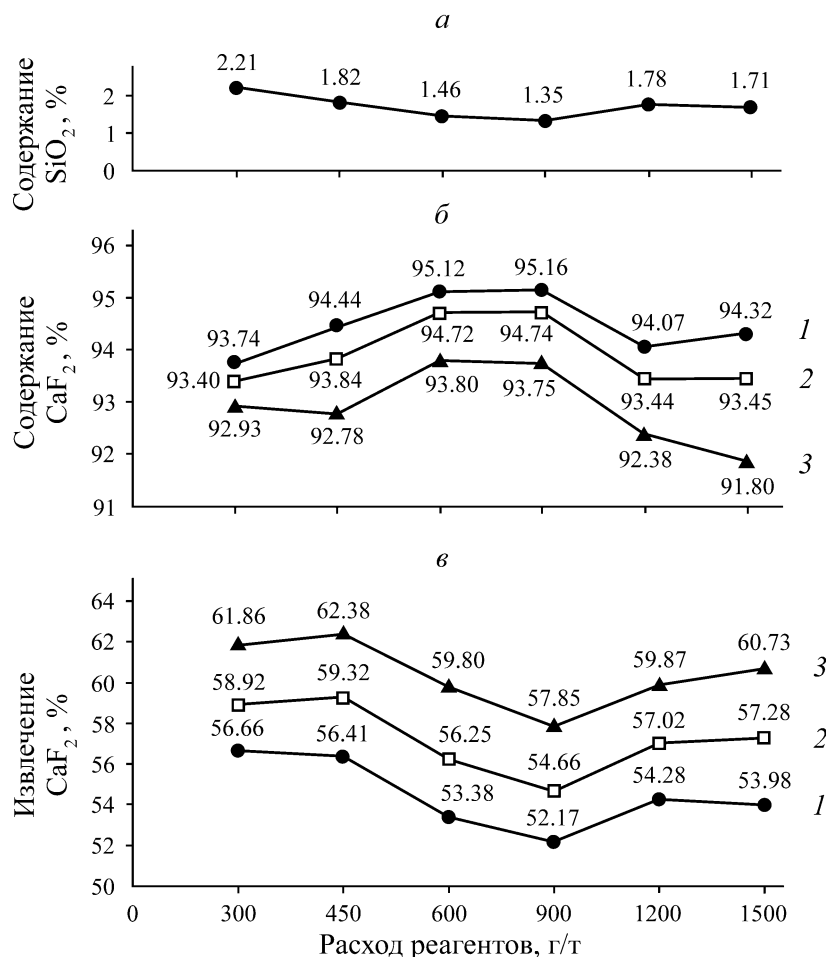


Рис. 2. Зависимость технологических показателей от общего расхода жидкого стекла и лигно-сульфонатов: 1 — концентрат 8-й перечистки; 2 — концентрат 7-й перечистки; 3 — концентрат 6-й перечистки

По существующим ГОСТам и требованиям потребителей в высокосортных концентратах с содержанием CaF_2 95 % и более массовая доля SiO_2 не должна превышать 1 %. Получение концентратов высокой чистоты, исключающей присутствие примесей, из сырья Вознесенского рудного района затруднено в течение всего периода эксплуатации месторождения, что связано со структурно-текстурными характеристиками руд. Тонкое взаимное прорастание минералов, наличие тончайших вкраплений силикатов в зернах флюорита не позволяло достичь эффективного сброса компонентов, содержащих двуокись кремния без существенных потерь флюорита по извлечению. В техногенном сырье проблема еще более усугубляется, так как материал перегружен наиболее загрязненными, трудно раскрываемыми тесно ассоциированными с флюоритом сростками. Увеличение времени измельчения материала и повышение тонины помола позволяет повысить содержание в концентратах флюорита, однако массовая доля двуокси кремния в них остается довольно высокой (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. Результаты флотации флюорита из техногенных хвостов четвертой пробы при разном времени измельчения в условиях повышенного разжижения пульпы, %

Опыт	Продукт	Выход	Содержание		Извлечение CaF ₂	Примечание
			CaF ₂	CaCO ₃		
1	Концентрат 8-й перечистки	11.23	93.26	0.85	55.32	Измельчение 35 мин, + 0.044 мм – 8.3 %, SiO ₂ 2.18 %
	Концентрат 7-й перечистки	11.84	92.59	1.15	57.89	
	Исходный продукт	100.00	18.92	13.08	100.00	
2	Концентрат 8-й перечистки	12.05	94.70	0.75	59.97	Измельчение 40 мин, + 0.044 мм – 6.42 %, SiO ₂ 1.65 %
	Концентрат 7-й перечистки	12.83	94.04	1.12	63.45	
	Исходный продукт	100.00	19.02	13.04	100.00	
3	Концентрат 8-й перечистки	11.39	95.22	0.59	57.61	Измельчение 45 мин, + 0.044 мм – 5.59 %, SiO ₂ 1.51 %
	Концентрат 7-й перечистки	12.13	94.77	0.71	61.08	
	Исходный продукт	100.00	18.83	13.19	100.00	
4	Концентрат 8-й перечистки	12.03	94.67	0.59	60.24	Измельчение 50 мин, + 0.044 мм – 3.97 %, SiO ₂ 1.61 %
	Концентрат 7-й перечистки	12.67	94.12	0.88	63.09	
	Исходный продукт	100.00	18.90	13.04	100.00	
5	Концентрат 8-й перечистки	11.04	94.76	0.56	55.02	Измельчение 60 мин, + 0.044 мм – 2.55 %, SiO ₂ 1.42 %
	Концентрат 7-й перечистки	11.56	94.48	0.71	57.44	
	Исходный продукт	100.00	19.01	12.9	100.00	
6	Концентрат 8-й перечистки	11.70	95.26	0.52	58.50	Измельчение 45 мин, доизмельчение пенного продукта 3-й перечистки 10 мин, SiO ₂ 0.99 %
	Концентрат 7-й перечистки	12.30	94.94	0.74	61.30	
	Исходный продукт	100.00	19.05	12.95	100.00	

Примечание. Содержание SiO₂ анализировалось в концентрате 8-й перечистки.

Заметную эффективность обеспечивает введение в схему обогащения дополнительного межциклового измельчения. Для этого пенный продукт 3-й перечистки доизмельчался в течение 10 мин и подвергался еще пяти перечисткам по обычной схеме. Содержание двуокиси кремния в конечном концентрате (95.26 % CaF₂) снизилось до 0.99 %. Полученный высоко-сортный концентрат отвечает действующим требованиям по содержанию как флюорита, так и основной вредной примеси.

Одно из перспективных направлений снижения флотируемости силикатных минералов — использование электрохимической обработки воды, применяемой при флотации. Электролитическая диссоциация молекул воды обеспечивает формирование в ней ионов гидроксония и гидроксил-ионов, активно влияющих на процессы формирования пленочной воды на границе раздела фаз. Атомы кислорода, находящиеся в верхних слоях гидрофильных минералов, в том числе семейства кварца, образуют с ионами водорода, контактирующих с ними слоев воды, относительно прочные водородные связи. Повышение гидрофильности силикатно-слюдистых минералов является фактором, обеспечивающим снижение флотируемости силикатов и снижение содержания в концентратах SiO₂ [15, 16]. Однако возникает проблема повышения активности флотации кальцита. Карбонатные минералы взаимодействуют с водой с образованием карбонатных комплексов с высвобождением протонов, которые перемещаются в одном направлении и сближают связанные с ними молекулы воды, способствуя образованию на определенных участках прочных пленок. В следующем слое воды, контактирующей с поверхностью этих минералов, высвобожденные протоны, сталкиваясь со связанными в молекулы атомами кислорода и водорода дальних слоев воды, передают им импульс, формируя зону разряжения и способ-

ствуя гидрофобизации кальцита. Активация кальцита за счет этого — крайне негативное побочное явление, не позволяющее использовать обработанную электрохимическим способом воду с головных операций схемы.

Эксперименты с применением электрохимической обработки воды проводились на пробе 5. Подготовка воды осуществлялась в электролизере с получением отдельно католита и анолита. Камеры аппарата разделялись мембраной, электроды располагались по обе стороны от мембраны. Несмотря на то, что флотация флюорита проходит только в щелочной среде, в экспериментах проверялось влияние на процесс католита и анолита, так как активность взаимодействия десорбированных с поверхностей минералов покрытий с собирателями в присутствии дополнительного количества положительно заряженных частиц может снизиться, что положительно повлияет на селективность флотации.

В табл. 4 представлены результаты экспериментов с использованием подготовленной электролизом воды на различных этапах флотационного обогащения.

ТАБЛИЦА 4. Показатели флотации флюорита из техногенных хвостов с использованием воды, подготовленной в электролизере, %

Опыт	Продукт	Выход	Содержание		Извлечение		Содержание SiO ₂
			CaF ₂	CaCO ₃	CaF ₂	CaCO ₃	
31	Без электролизной обработки воды						1.58
	Концентрат 8-й перечистки	10.95	94.62	0.59	56.60	0.55	
	Концентрат 7-й перечистки	11.92	92.66	2.15	60.36	2.17	
32	Электролизная обработка воды для флотации полностью (анолит)						1.10
	Концентрат 8-й перечистки	10.71	86.06	9.43	49.94	8.60	
	Концентрат 7-й перечистки	11.67	84.75	10.33	53.63	10.27	
33	Электролизная обработка воды для флотации полностью (католит)						1.44
	Концентрат 8-й перечистки	12.17	80.65	13.36	53.64	14.25	
	Концентрат 7-й перечистки	13.44	78.51	15.13	57.68	17.83	
34	Электролизная обработка воды для 5 – 8-й перечисток (католит)						1.25
	Концентрат 8-й перечистки	10.96	95.36	0.48	57.09	0.45	
	Концентрат 7-й перечистки	11.81	94.23	1.31	60.80	1.33	

Примечание. Содержание SiO₂ анализировалось в концентрате 8-й перечистки.

Результаты экспериментов показали, что содержание CaF₂ в концентратах при использовании в большей части схемы подготовленной электролизом воды, довольно низкое. Массовая доля CaCO₃ в них составляет 9–13 %, свидетельствуя об активирующем действии электролизных газов на кальцит, снижении общей селективности процесса. Вместе с тем имеется тенденция к снижению содержания в них двуокиси кремния. В опытах 32, 33 при содержании флюорита в концентратах лишь 80.6–86.0 % массовая доля SiO₂ составила 1.10–1.44 %. Для данного вида сырья столь низкие содержания двуокиси кремния с трудом удастся получить даже в качественных концентратах с массовой долей CaF₂ свыше 93–95 %.

Оптимальный вариант положительного влияния подготовленной электролизом воды — подача ее в той части схемы флотации, где основная часть кальцита уже сброшена с камерными продуктами первых 4–5 перечисток. В опыте 34 католит использовался лишь после четырехкратной перечистки пенного продукта. В результате получены достаточно высокие качественные результаты как по содержанию и извлечению флюорита, так и по двуокиси кремния.

Извлечение флюорита в концентраты 7-й и 8-й перечисток, содержащие 94.78–95.36 % CaF_2 , составило 60.80–57.09 % соответственно. В концентрате 8-й перечистки содержится 1.25 % SiO_2 . Выбранное направление можно отнести к весьма перспективному.

ВЫВОДЫ

Исследована возможность получения высококачественных флюоритовых концентратов из техногенных хвостов обогащения Ярославской горнорудной компании. Установлено, что при тонком измельчении материала и последующей флотации в условиях пониженных плотностей пульпы рациональный подбор параметров процесса может обеспечить получение флюоритовых концентратов, содержащих 94–95 % CaF_2 . Извлечение флюорита составляет 63.0–57.6 %, массовая доля в них двуокиси кремния — не менее 1.4–1.6 %, что не отвечает существующим требованиям. Введение в схему обогащения дополнительного межциклового доизмельчения пенного продукта 3-й перечистки позволяет снизить содержание двуокиси кремния в конечном концентрате с содержанием CaF_2 95.26 до 0.99 %.

Использование для разбавления пульпы воды, предварительно подготовленной электрохимическим способом, на завершающих этапах перечистных операций способствует снижению флотуемости силикатов и позволяет снизить содержание двуокиси кремния в конечных концентратах на 0.2–0.4 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киенко Л. А., Воронова О. В. К проблеме расширения сырьевой базы для производства флюоритовых концентратов в Приморском крае // Горн. журн. — 2015. — № 2. — С. 69–71.
2. Чантурия В. А., Шадрунова И. В. Инновационные процессы глубокой и экологически безопасной переработки техногенного сырья в условиях новых технологических вызовов // Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья: материалы Междунар. совещ. (Плаксинские чтения). — Владикавказ, 2021. — С. 3–8.
3. Горлова О. Е., Шадрунова И. В. Развитие методологических оснований и обоснование параметров ресурсосберегающей экологически ориентированной переработки горно-промышленных отходов по комбинированным технологиям // Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья: материалы Междунар. совещ. (Плаксинские чтения). — Владикавказ, 2021. — С. 454–459.
4. Киенко Л. А., Воронова О. В., Кондратьев С. А. Влияние состава собирательных комплексов на результаты флотационного обогащения техногенных отходов Ярославской горнорудной компании // ФТПРПИ. — 2021. — № 4. — С. 153–161.
5. Кондратьев С. А., Ростовцев В. И., Коваленко К. А. Развитие экологически безопасных технологий комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья // Горн. журн. — 2020. — № 5. — С. 39–46.
6. Киенко Л. А., Саматова Л. А., Воронова О. В., Плюснина Л. Н. Применение смесей собирателей при флотации тонковкрапленных карбонатно-флюоритовых руд // Обогащение руд. — 2009. — № 3. — С. 25–28.
7. Шепета Е. Д., Игнаткина В. А., Кондратьев С. А., Саматова Л. А. Флотация кальциевых минералов сочетанием реагентов разной молекулярной структуры // ФТПРПИ. — 2019. — № 6. — С. 124–139.

8. Секисов А. Г., Лавров А. Ю., Рассказова А. В. Фотохимические и электрохимические процессы в геотехнологии. — Чита: ЗабГУ, 2019. — 306 с.
9. Нефедов В. Г., Атапин А. Г. Анализ условий образования зародыша пузырька при электролизе воды // Вопросы химии и хим. технологии. — 2019. — № 4. — С. 120–126.
10. Чантурия В. А., Медяник Н. Л., Шадрюнова И. В., Мишурина О. А., Муллина Э. Р. Исследование условий формирования пузырьков газа в процессе электролитической флотации // ФТПРПИ. — 2019. — № 3. — С. 80–86.
11. Герасимов А. М., Арсентьев В. А. Слоистые силикаты и их влияние на процессы обогащения полезных ископаемых // Обогащение руд. — 2018. — № 5. — С. 22–28.
12. Киенко Л. А., Воронова О. В. Проблемы снижения содержания двуокиси кремния во флюоритовых концентратах при обогащении техногенного сырья // ГИАБ. — 2019. — Вып. 30. — С. 50–56.
13. Zhang G., Gao Y., Chen W., and Liu D. The role of water glass in the flotation separation of fine fluorite from fine quartz, *Miner.*, 2017, Vol. 7, No. 9. — P. 157–168.
14. Zhou W., Moreno J., Torres R., Valle H., and Song S. Flotation of fluorite from ores by using acidized water glass as depressant, *Miner. Eng.*, 2013, Vol. 45. — P. 142–145.
15. Копылова А. Е., Прохоров К. В. Исследование возможности переработки техногенного минерального сырья электрофлотационным методом // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: материалы Междунар. науч. школы молодых ученых и специалистов. — М., 2021. — С. 259–263.
16. Пат. 2744685 РФ, МПК В03Д 1/02 В03В 7/00. Способ флотационного обогащения склонных к шламообразованию руд / К. В. Прохоров, А. Г. Секисов; заявитель и патентообладатель ФГБУН ХФИЦ ДВО РАН, № 2020128840; заявл. 31.08.2020 г. // Оpubл. в БИ. — 2021. — № 2.

Поступила в редакцию 19/X 2022

После доработки 20/XI 2022

Принята к публикации 24/XI 2022