

УДК 622.71 (06)

А.В. Туголуков, И.С. Бармин, В.В. Морозов, В.В. Поливанская
ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА
ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ
АПАТИТ-ШТАФЕЛИТОВОЙ РУДЫ КОВДОРСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Представлены результаты исследований особенностей технологических свойств и обогатимости апатит-штафелитовых руд. Исследованы закономерности измельчения, флокуляции и флотации смеси плотных и рыхлых апатит-штафелитовых руд в соотношении 1:2. Определены основные схемно-технологические параметры рудоподготовки и обогащения, включающие двухстадийное измельчение с разделением на песковую и шламовую фракцию, флотацию объединенного пескового и шламового продукта после операции флокуляции с применением реагентов DB-45 и АККФ. Разработанная оптимизированная схема обогащения апатит-штафелитовых руд позволяет повысить извлечение и содержание пятиоксида фосфора в концентрате.

Ключевые слова: флотация, флокуляция, апатит-штафелитовые руды, схемы обогащения, реагенты флотационные.

Ковдорские апатит-штафелитовые руды (АШР) являются весьма перспективным источником сырья для получения апатитового и баделитового концентратов [1]. Однако, эти руды характеризуются трудной обогатимостью. Особенностью минерального состава является то, что основные фосфорсодержащие минералы (апатит и франколит) существенно отличаются по механическим и технологическим свойствам. Другой особенностью месторождения апатит-штафелитовых руд является наличие участков с существенно отличающейся степенью метаморфизма. Третьей особенностью является весьма неравномерное содержание в руде пятиоксида фосфора.

По физико-механическим свойствам руды подразделяются на преимущественно плотные, и преимущественно рыхлые. Плотные АШР имеют среднюю плотность $2,6 \text{ т/м}^3$, коэф-

фициент крепости по Протогьяконову 4—6 и естественную влажность 7%. Рыхлые АШР имеют среднюю плотность $2,3 \text{ т/м}^3$, и естественную влажность 12%. Проведенными минералогическими исследованиями не выявлено существенных отличий в строении основных фосфорсодержащих минералов в выделенных типах руд.

При невозможности посортной переработки выделенных типов руд был выбран регламент горных работ, предусматривающий технологическое усреднение руды и подачу смеси плотных и рыхлых руд на переработку в соотношении 1:2.

Первоначально предложенная схема измельчения апатит-штафелитовых руд включала стадийное дробление руды, промывку руды с получением первичных шламов, измельчение и классификацию руды с получением вторичных шламов и песковой фракции, направляемой на флотационное

обогащение. Однако высокий выход вторичных шламов при значительной массовой доли пятиоксида фосфора делает такую схему недостаточно рентабельной для эксплуатации. Задачей настоящих исследований был выбор оптимальной схемы и режима измельчения и классификации руд, а также принципиальной схемы флотационного обогащения зернистой и шламовых фракций.

Наиболее важным параметром процесса рудоподготовки является выбор режима измельчения. Результаты проведенных ранее исследований показали преимущество двухстадиальной схемы измельчения перед одностадиальной и трехстадиальной [1].

Результаты исследований показали, что при продолжительности измельчения 18 мин достигается максимум выхода «продуктивного класса» (рис. 1, кривая 3), и в этой же области достигается

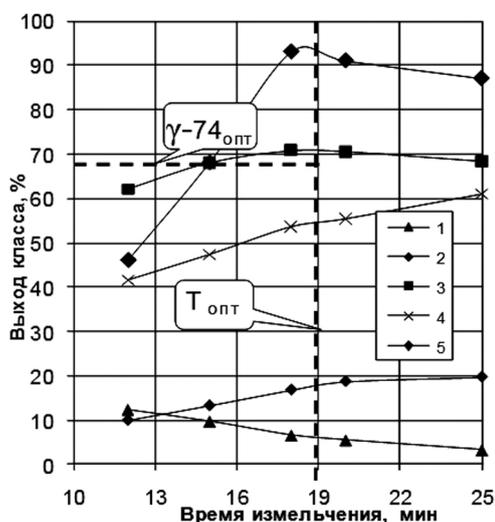


Рис. 1. Изменение granulометрических характеристик апатит-штафелитовой руды при варьировании продолжительности измельчения в шаровой мельнице:
 1 – выход класса +0,15 мм; 2 – выход класса -0,04 мм; 3 – выход класса +0,02 - 0,15 мм; 4 – выход класса -0,074 мм; 5 – извлечение пятиоксида фосфора в концентрат флотации

максимальное извлечение фосфатов в концентрат флотации (рис.1, кривая 5), чем обеспечиваются наилучшие технологические показатели флотации апатит-штафелитовой руды. Учитывая, что продолжительность измельчения не может быть использована в виде параметра процесса, в качестве критерия оптимизации был использован классический параметр содержания класса -74 мкм. Результаты измерений показали, что оптимальная крупность измельчения руды при таком режиме составляет приблизительно 55 % класса - 74 мкм (рис.1, кривая 4).

Данная крупность измельчения была рекомендована в качестве базовой при проведении опытно-промышленных испытаний. Результаты опытно-промышленных испытаний показали, что при крупности измельчения 54-56 % наблюдается максимум извлечения пятиоксида фосфора и максимум качества получаемого концентрата.

Другой важной задачей является выбор параметров процесса обогащения шламовых фракций. Первичные шламы представляют собой тонкие минеральные частицы, образовавшиеся в период формирования месторождения. В основном это глинистые включения, первичные окислы, относительно хрупкие минералы. Гранулометрическая характеристика и химический состав первичных шламов представлен в табл. 1. Результаты экспериментов показали, что при их флотационном обогащении не удается получить кондиционных концентратов [3].

Отличительной особенностью вторичных шламов является повышенное содержание P_2O_5 (22,0-24,0 %). Образовавшиеся в процессе рудоподготовки вторичные шламы по первоначальной проектной схеме теряются со сливом гидроциклонов.

Эффективное обогащение шламовых фракций флотацией возможно с использованием процесса флокуляции шламов. При использовании процесса флокуляции удается получить осадением сгущенный материал относительно высокой плотности с наиболее крупными классами твердой фазы. Весьма важной задачей является проведение процесса флокуляции с максимальным связыванием зерен фосфатных минералов.

Для исследования физико-химических процессов коагуляции и флокуляции шламов применялась лабораторная установка с одновременным механическим перемешиванием пульпы в 6 стаканах. Объем пульпы в каждом стакане составлял 650 мл, количество твердого (шламов) 5 г. Пульпу перемешивали в течение 1 минуты одновременно в 6 стаканах с разными расходами реагента — флокулянта. После окончания агитации и остановки мешалок визуально определяли степень осадения. В качестве реагентов — флокулянтов исследовали: железный купорос ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), АККФ (алюмокремниевый коагулянт-флокулянт), флокулянты ФО 4440 и DB-45 французской фирмы «SNF FLOERGER» и анионный флокулянт «Praestol».

Анализ выполненных исследований показал, что оптимальные расходы флокулянтов для формирования осадка составили: ФО — 4440 50 - 100 г/т; железного купороса — 1500 - 3000 г/т; АККФ — 600-700 г/т; Praestol — 25-50 г/т; DB 45 — 150-300 г/т. Выраженная зона осветления наблюдалась через 8 минут при добавлении в пульпу флокулянтов ФО 4440, Praestol и АККФ.

На основании опытов по определению эффективности осадения шламов с различными расходами флокулянта, были проведены исследования по изучению скорости осаж-

дения шламов АШР при оптимальных расходах реагентов-флокулянтов. Анализ результатов исследований (рис.3) показал, что в течение 6-и минут осадения (динамический режим) наибольшая высота осветленного слоя (235 мм) наблюдается при добавлении флокулянта DB-45. При ведении процесса сгущения при времени отстаивания 20 мин, наибольшая высота осветленного слоя (275 мм) наблюдается при добавлении флокулянта АККФ. К 28-ой минуте зона осветления во всех цилиндрах стабилизируется, за исключением опытов с железным купоросом. Полученные результаты позволяют рекомендовать использовать флокулянты DB-45 и АККФ для процесса сгущения вторичных шламовых фракций как в динамическом, так и в статическом режиме осадения.

Исследования обогатимости апатит-штафелитовой руды производились по схеме магнитно-флотационного обогащения. Лабораторные опыты по флотации проводились в открытом цикле, в машинах механического типа при Т:Ж = 1:5 в основной и в перечистных операциях при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$. После выбора оптимального ассортимента реагентов и режимных параметров флотацию осуществляли по схеме замкнутого цикла.

При проведении замкнутых опытов были испытаны три схемы рудоподготовки и флотации. Исходная проба апатит-штафелитовой руды была подготовлена путем смешивания плотной и рыхлой фракций в соотношении 1:2. По первой схеме на флотацию направлялась измельченная необесшламленная руда (рис. 4, а). По второй схеме измельченная руда подвергалась обесшламливанию, шламовый продукт сгущался с применением реагентов — флокулянтов и направлялся

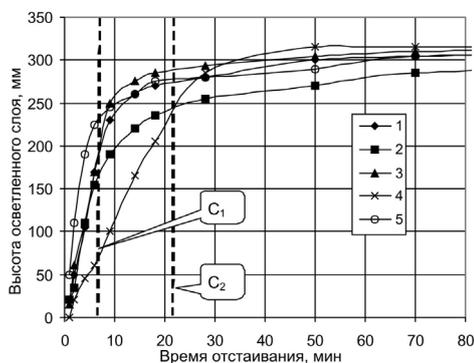


Рис. 3. Зависимость высоты осветленной зоны от времени отстаивания при использовании флокулянтов: 1 – Praestol; 2 – ФО – 4440; 3 – АККФ; 4 – Железный купорос; 5 – DB-45; C₁ – динамический режим сгущения; C₂ – обычный режим сгущения

на шламовую флотацию (рис. 4, б). По третьей схеме (рис.4в) шламовый продукт после сгущения с применением реагентов – флокулянтов направляется на флотацию вместе с зернистой фракцией измельченной руды (песками классификации).

В качестве реагентов-регуляторов среды использовали кальцинированную или каустическую соду и жидкое стекло. В качестве собирателя применяли мыло дистиллированного таллового масла и мыло таллового масла из хвойных пород.

Результаты укрупненных лабораторных флотационных опытов, представленные в табл. 2, показали большую эффективность третьей технологической схемы, которая позволяет получить как более богатый концентрат, так и достичь большего извлечения в него пятиоксида фосфора.

При переходе к полупромышленным исследованиям наблюдалось значительное снижение технологических показателей флотации, связанное в первую очередь с нерегулируемым пенообразованием, приводящим к нарушению

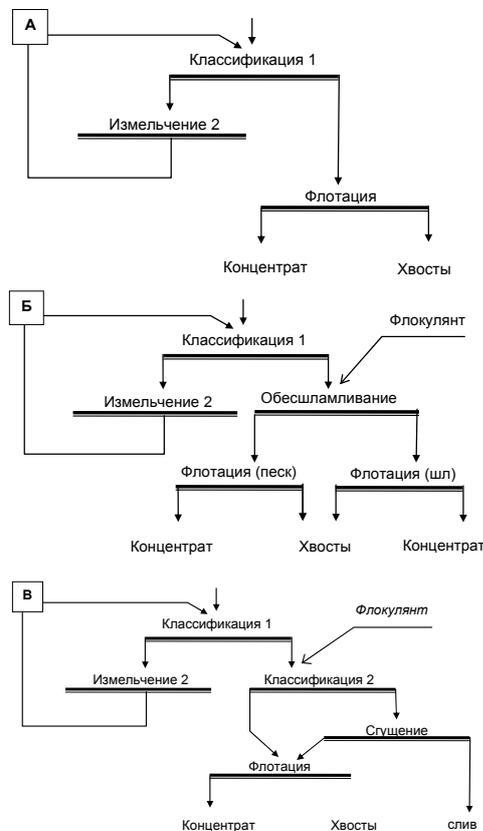


Рис. 4. Принципиальные схемы измельчения и флотации апатит-штафелитовых руд: а — с флотацией необесшламленного материала; б — с раздельной песковой и шламовой флотацией; в — с совместной флотацией песков и сгущенного шламового продукта

плотностных режимов перечистных операций и, как следствие, к увеличенным потерям ценных компонентов. Поэтому дальнейшие исследования были связаны с применением реагентов-регуляторов процесса пенообразования.

Результаты полупромышленных исследований показали, что флотация объединенной песковой и шламовой фракций с использованием реагента М-246 устойчиво протекает при малом объеме пены, которая быстро разрушается и легко транспортируется. Получаемый фосфатный концентрат со-

Таблица 2

Результаты укрупненных лабораторных исследований по обогащению смеси руд с применением различных схем отделения и обогащения шламовых фракций

№	Схема измельчения и флотации	Извлечение P_2O_5 в концентрат (от операции/от питания), %	Содержание P_2O_5 в концентрате, %
1	С флотацией необесшламленного материала	87,25/67,5	36,2
2	С отдельной песковой и шламовой флотацией	89,27/69,2	36,4
3	С совмещенной флотацией песков и сгущенного шламового продукта	92,55/72,5	37,6

держит от 35,3 % до 36,5 % P_2O_5 при извлечении P_2O_5 89,2 от 90,5 % (от операции). Оптимальный расход М-246 составляет 0,25 – 0,5 кг/т.

Таким образом, выполненные предварительные исследования показали принципиальную целесообразность применения технологической схемы, предусматривающей использование в операции сгущения шламовых фракций реагентов-флокулянтов и совместную флотацию песков гидроциклонирования и сгущенной шламовой фракции.

В результате проведения опытно-промышленных испытаний в условиях действующей обогатительной фабрики ОАО «Ковдорский ГОК» было показано, что оптимизированная схема

и технологический режим рудоподготовки и флотации позволяют получить апатит-штаффелитовый концентрат с содержанием 37,9 % P_2O_5 при извлечении 72,5 % от исходного питания и железорудный концентрат с содержанием 64-65 % $Fe_{общ}$ с извлечением 60,5 %. Получаемый апатит-штаффелитовый концентрат является кондиционным фосфатным сырьем как для получения экстракционной фосфорной кислоты, так и для производства высококачественных фосфорсодержащих удобрений.

Достигнутый уровень извлечения пятиоксида фосфора и железа позволяет реализовать разработанную технологию обогащения АШР с высокими технико-экономическими показателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыгач В.Н., Ладыгина Г.В., Саморукова В.Д., Космина А.Н., Бармин И.С. Особенности вещественного состава и обогатимости бедных апатит-штаффелитовых руд спецотвала Ковдорского ГОКа // ГИАБ. — № 5. -2007. С.384-388.

2. Ганбаатар З., Авдохин В.М. Повышение эффективности раскрытия минеральных комплексов в процессах рудоподготовки

медно-молибденовых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2003. -№1. - С.55-57.

3. Захарова И.Б. Белобородов В.И. Андронов Г.П. Филимонова Н.М. Флотация апатит-штаффелитовой руды с повышенным содержанием шламов при использовании анионного флокулянта // Тезисы Конгресса обогатителей стран СНГ. – 2007. – С.78-81. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Туголуков А.В. — аспирант, ОАО «Минерально-химическая компания «ЕвроХим»», e-mail: info@eurochem.ru;

Бармин И.С. — ОАО «Минерально-химическая компания «ЕвроХим»», e-mail: info@eurochem.ru;

Морозов В.В. — Московский государственный горный университет, e-mail: dchmggu@mail.ru;

Поливанская В.В. — Московский государственный горный университет, e-mail: valeripolyvanska@mail.ru.