

УДК 622.364:622.7

А.В. Туголуков, И.С. Бармин, В.Ф. Попович, В.Н. Лыгач
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
РАЗНОВИДНОСТЕЙ АПАТИТ-ШТАФФЕЛИТОВЫХ
РУД КОВДОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Изучены особенности вещественного состава и технологические свойства основных типов апатит-штаффелитовых руд: каменистых, плотных и мягких, слабоцементированных. Разработана общая схема магнитно-флотационного обогащения апатит-штаффелитовых руд, обеспечивающая получение качественного апатитового концентрата при оптимальном расходе флотационных реагентов. Учет особенностей перерабатываемых руд достигается изменением схемы обогащения: направления на процесс флотации обесшламленной пульпы после операции измельчения и классификации (для мягких руд) наряду с прямым направлением на процесс флотации измельченной руды, минуя операцию классификации в гидроциклонах (для каменистых руд). Одновременно предусматривается возможность корректировки реагентного режима флотации в зависимости от типа перерабатываемой руды.

Ключевые слова: Ковдорское месторождение, магнитно-флотационное обогащение, флотация, апатит-штаффелитовые руды.

Апатит-штаффелитовые руды (АШР) являются для Ковдорского ГОКа важным источником сырья [1]. Однако, достигнутые технико-экономические показатели их обогащения не отвечают имеющимся требованиям, что требует проведения дополнительных исследований. Целью настоящей работы было установить особенности обогатимости основных типов АШР и выбрать технологические решения, позволяющие в наибольшей мере учитывать особенности перерабатываемых руд.

Ковдорское месторождение апатит-штаффелитовых руд (АШР) расположено в 3 км к юго-западу от г. Ковдор, на территории ОАО «Ковдорский ГОК».

Богатые руды собственно апатит-штаффелитового состава составляют 34 % запасов месторождения и в среднем содержат 25 % P_2O_5 , 8,3%

железа, 2,6 % CO_2 . Они представлены плотными разновидностями, а также смесями рыхлых и каменистых руд, сформированными по мономинеральным карбонатитам.

Бедные руды апатит-штаффелит-гидрослюдистого состава составляют 66 % запасов и в среднем содержат 10,65 % P_2O_5 . Они представлены рыхлыми и твердыми разновидностями, а также их смесями, сформированными со значительным количеством реликтов и ксенолитов боковых пород силикатного состава с примесями реликтовых ассоциаций минералов вмещающих пород. Руды характеризуются неравномерным распределением минералов по участкам месторождения.

По физико-механическим свойствам АШР подразделяются на преимущественно плотные, твердые, каменистые и преимущественно

рыхлые, неустойчивые или слабоцементированные.

Каменистые АШР имеют среднюю плотность 2.6 т/м^3 , коэффициент крепости по Протодяконову 2-6 и естественную влажность 7 %. Рыхлые АШР имеют среднюю плотность 2.3 т/м^3 , коэффициент крепости 1 и естественную влажность 12 %.

Для изучения особенностей вещественного состава и разработки адаптированной технологии обогащения апатит-штаффелитовых руд были исследованы две пробы, характеризующие плотную, твердую и богатую по P_2O_5 разновидность (проба 1) и мягкую, рыхлую и бедную по P_2O разновидность (проба 2).

Проба 1 характеризуется присутствием большей доли руд с массивной и пористой текстурой. Преобладающим минералом в этой пробе является франколит (42,5 %). Вместе с апатитом (около 18 %) он и определяет прочность этого типа руды. Относительно высокая крепость руд обусловлена наличием плотных натечных образований радиально-лучистого и массивного франколита, а также остаточного апатита в виде гнезд и линз. Франколит, с одной стороны, развивается в пустотах, а с другой как бы цементирует все слагающие минералы. Содержание вермикулита и глинистых минералов составляет около 21 %. Проба 1 характеризуется максимальным количеством магнетита (неизменного) - более 7 % и минимальным содержанием пироксенов и амфиолов (0.5 %).

Проба 2 представляет собой рыхлую породу рыжего цвета. Мягкость руды обусловлена с одной стороны преобладанием в ней вермикулита (почти половина слагающих минералов), а с другой стороны наличием следов широкого развития гипергенных процессов. В породе фосфаты

представлены франколитом (более 20 %) и апатитом (~8 %). Содержание гидроокислов железа в свободных зернах близкое таковому в пробе 1, однако значительная часть их наблюдается в виде пленок и примазок на других минералах. Особенно это характерно для апатита. Соотношение прозрачных и ожелезненных зерен апатита в пробе 1 составляет примерно 2:1.

Для пробы 2 характерна значительная доля глинистых минералов. Существенное место в пробе занимают также кремнийсодержащие минералы, такие как полевой шпат, кварц, нефелин. Содержание их в пробе составляет около 8 %, тогда как в пробе 1 их менее 1 %.

Апатит – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2[\text{F},\text{OH}]$ в обеих пробах наблюдается в виде зерен изометричной, часто угловатой формы, размеры которых колеблются от 0.01 до 1 мм. Зерна апатита почти всегда трещиноваты и часто располагаются среди франколитовых или вермикулитовых образований. В рыхлой разновидности (проба 2) апатит чаще всего находится в виде отдельных, сбрекчированных другими минералами зерен. Зерна апатита, как правило, бесцветны, если не покрыты пленками гидроокислов железа, наиболее характерными для рыхлых разновидностей руд.

Франколит – $\text{Ca}_{10}[\text{PO}_4]_6[\text{F}_2,(\text{CO}_3),(\text{OH})_2,\text{O}]$. В шлифах наблюдается преимущественно в виде радиально-лучистых образований, а также в виде сплошных игольчатых масс, пространственно часто связанных с апатитом. В шлифах отчетливо виден натечный характер франколита и позднее его развитие по отношению к другим минералам.

В каменистых рудах (проба 1) франколит наблюдается в виде радиально-лучистых сростков игольчатых кристаллов, которые образуют корки

и почковидные выделения, иногда выступающие в роли цемента в породе. Франколит мономинеральных участков микроигльчатый до скрытокристаллического). Размер большинства кристаллов 0.005-0.05 мм.

Плотность франколита меняется от 2.8 до 3,1 г/см³ и снижается с увеличением в его структуре доли карбонатной группы и воды,

Для оценки промывистости из проб, раздробленных до размера 2 мм, был выделен материал крупностью -2+0.5 мм, на котором проводилось определение размокаемости. Выполненные исследования по определению тонкодисперсных фракций (по ГОСТ Р-50298.2-92) и пластичности (по ГОСТ Р-50298.1-92) лабораторных проб показали, что глины относятся к непластичным. По выходу глинистых и шламовых фракций (-0.1 мм) и по соотношению глинистых и шламовых фракций к песковой, проба 2 относится к труднопромывистым рудам.

Важным параметром руд является их растворимость в водной среде и адсорбционная активность по отношению к флотационным реагентам [2].

Химический состав жидкой фазы рудной суспензии, полученной продолжительным контактированием руды крупностью -2 мм с водой показал, что существенного изменения химического состава жидкой фазы пульпы, в т. ч. концентрации ионов кальция, за счет растворения минералов в воде не происходит.

Анализ сорбционной активности показал, что измельченная руда пробы 2 поглощает жирнокислотные собиратели из растворов реагентов на 45-60 % больше, чем руда пробы 1. Избыточное поглощение собирателя пробой 1 обусловлено повышенной массовой долей в измельченной руде тонких фракций апати-

та и франколита, а так же значительную степень ожелезнения этих минералов (до 35 %).

Исследования обогатимости мытой руды пробы 1 производились по схеме магнитно-флотационного обогащения.

Измельчение мытой руды позволяет получить помолы с содержанием класса -0.074 мм от 47,3 до 55,8%. Измельченная руда подвергалась мокрой магнитной сепарации в слабом поле по схеме с основной сепарацией и двойной перечисткой магнитной фракции. Немагнитная фракция подвергается обесшламливанию с целью удаления наиболее тонких фракций, затрудняющих ведение флотационного процесса.

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±2°С. После выбора оптимального ассортимента реагентов и режимных параметров флотацию осуществляли по схеме замкнутого цикла.

Флотация неагитной фракции пробы 1 собирателем ЖКТМ в смеси с М-246 обеспечила получение апатит-штаффелитовых концентратов с содержанием пятиоксида фосфора от 36,3 до 37,1 % Р₂О₅ при извлечении 90-95 % от операции и 85-89,6 % от исходного. Увеличение расхода М-246 от 0,15 до 0,5 кг/т твердого способствует улучшению селективности процесса, повышению технологических показателей и снижению объема пены. Оптимальный расход М-246 находится в интервале 0,25 – 0,5 кг/т.

Следующим этапом исследований были испытания флотацию руды пробы 1 без операции промывки. Результаты флотационных опытов показали, что флотация измельченной руды в замкнутом цикле в присутствии пер-

вичных шламов (при высокой концентрации в пульпе М-246) устойчиво протекает при малом объеме пены, которая быстро разрушается и легко транспортируется. Получаемый фосфатный концентрат содержит 34,3 % P_2O_5 и 6,8 % Fe_2O_3 (за счет активной флотации магнетита) при извлечении P_2O_5 90,5 %. Последующая магнитная сепарация флотоконцентрата обеспечивает получение кондиционного апатит-штаффелитового концентрата с содержанием P_2O_5 36,5 % при извлечении 89,2 % от исходной руды.

Таким образом, выполненные предварительные исследования показали принципиальную возможность исключения из схемы обогащения богатой разновидности АШР операции промывки исходной руды.

Лабораторная проба 2 готовилась к флотационным исследованиям по схеме, включающей промывку исходной руды, классификацию мытой руды по классу $-0,5$ мм и обесшламливание класса $-0,5$ мм в гидроциклоне. При обесшламливании в гидроциклоне выход первичных шламов составил 25,6 % от операции или 16,8 % от руды при содержании в них 7,1 % P_2O_5 и при потерях P_2O_5 со шламами 10,1 % от исходной руды.

Мокрая магнитная сепарация измельченного материала пробы 1 в слабом магнитном поле позволила получить магнетитовый концентрат, содержащий 65,2 – 65,54 % $Fe_{\text{общ.}}$ и 0,55 % P_2O_5 .

После магнитной сепарации предусмотрена операция обесшламливания в гидроциклонах. После удаления вторичных шламов массовая доля P_2O_5 в песках гидроциклона, поступающих на дальнейшую флотацию, составила 12,54 % при извлечении в них 73,9% P_2O_5 от операции или 66,3% от исходной руды.

Флотация фосфатов осуществлялась из обесшламленного материала

пробы 1 технологической схемы, включающей основную, 3 контрольных и 3 пересчетных операций.

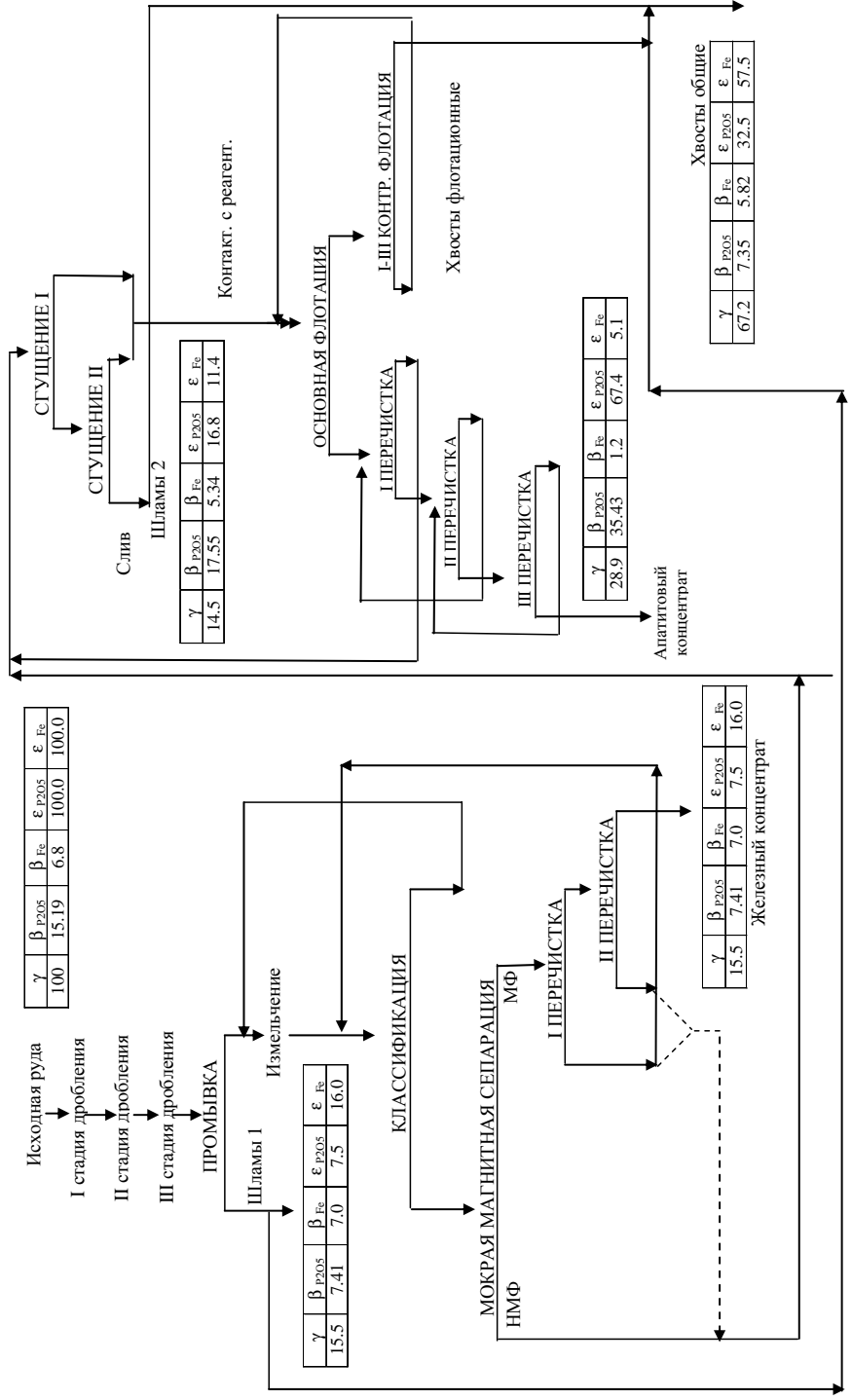
В качестве реагентов-регуляторов среды использовали кальцинированную или каустическую соду и жидкое стекло. В качестве собирателя применяли мыло дистиллированного таллового масла и мыло таллового масла из хвойных пород.

В оптимальных условиях при расходах собирателя 250-375 г/т и реагента – регулятора М-246 200-400 г/т были получены фосфатные концентраты с массовой долей P_2O_5 36,4-36,65 % при извлечении 85,95-89,0 % (от операции).

Для пробы 2 также были проведены исследования по флотации фосфатов из не обесшламленной пульпы. При использовании в качестве собирателя мыла дистиллированного таллового масла (750 г/т руды), а в качестве регуляторов реагента М-246 (400 г/т) и реагента ОКР (10 г/т) были получены фосфатные концентраты с массовой долей P_2O_5 33,9 – 34,05 % при извлечении 79,9-86,2 % (от операции).

Проведенные исследования позволяют считать, что технологическая схема с флотацией необесшламленной пульпы является весьма перспективной для руды пробы 2, так как позволяет снизить потери P_2O_5 со вторичными шламами с 26 % до 7 %. Однако, получаемый апатитовый концентрат по качеству не является кондиционным и необходимо его смешивание с концентратом, полученным при обогащении каменистых, плотных руд.

В результате проведенных исследований на смесях обеих типов руд установлена предпочтительность схемы магнитно-флотационного обогащения предварительно промытой апатит-штаффелитовой руды (рисунок), которая обеспечивает получение качественного апатитового концентрата



Технологическая схема обогащения апатит-флюоритовых руд (АФР)

при наименьшем расходе флотационных реагентов. Выделение магнетита магнитной сепарацией перед флотацией повышает селективность последней, что выражается в снижении содержания в апатитовом концентрате оксида железа, являющегося в данном случае основной вредной примесью.

Учет особенностей технологических свойств перерабатываемых руд состоит в обеспечении возможности изменения схемы обогащения в зависимости от технологических свойств руд. Для мягких, рыхлых руд предусмотрена схема с направлением на процесс флотации обесшламленной пульпы после операции измельчения и классификации, а для твердых, каменистых руд предусмотрено направление на процесс флотации измельченной руды минуя операцию классификации в гидроциклонах. Одновременно предусматривается возможность корректировки реагентного режима флотации в зависимости от типа перерабатываемой руды.

Генеральное опробование разработанной технологической схемы и режима обогащения проходило на смеси проб 1 и 2 в соотношении 2:3. В результате обогащения смешанной пробы был получен апатит-штафф-

фелитовый концентрат с содержанием 36-36,9 % P_2O_5 при извлечении 65,0 % от руды и железный концентрат с содержанием 64-65 % $Fe_{обш.}$

В результате проведения опытно-промышленных испытаний в условиях ОАО «Ковдорский ГОК» была разработана и апробирована аппаратурно-технологическая схема обогащения АШР, рекомендуемая для промышленного внедрения. Оптимизированная рудоподготовка и флотационная схема с усовершенствованным реагентным режимом дали возможность получить из апатит-штаффелитовой руды содержанием 16,6 % P_2O_5 и 8,5 % $Fe_{обш.}$ с использованием оборотной воды действующего хвостохранилища ОАО «Ковдорский ГОК» апатит-штаффелитовый концентрат с содержанием 36,9 % P_2O_5 при извлечении 65 %, и железорудный концентрат с содержанием 64-65 % $Fe_{обш.}$ при извлечении 46,7 %.

Результаты исследований показали, что получаемый апатит-штаффелитовый концентрат является кондиционным фосфатным сырьем как для получения экстракционной фосфорной кислоты, так и для производства высококачественных фосфорсодержащих удобрений.

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 //

Горный информационно-аналитический бюллетень, № 5. -2007. С.384-388.

2. Барский Л.А., Кононов О.В., Ратмирова Л.И. Селективная флотация кальцийсодержащих минералов. - М.: Недра, 1979. - 232 с. **ПАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Туголуков А.В. – Минерально-химическая компания «ЕвроХим», info@eurochem.ru,

Бармин И.С. – Минерально-химическая компания «ЕвроХим», info@eurochem.ru,

Попович В.Ф. – начальник отдела развития, Ковдорский ГОК,

Лыгач В.Н. – кандидат технических наук, профессор, Ассоциация "Промышленные Минералы" info@minpro.ru