

УДК 622.765:622.17

В.А. Иванова, Г.В. Митрофанова

ОСОБЕННОСТИ ФЛОТАЦИИ АПАТИТА ИЗ СКЛАДИРОВАННЫХ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВОЙ РУДЫ

Представлены результаты минералого-технологических исследований складированных отходов рудообогащения апатит-нефелиновых руд Хибинского месторождения. Установлено, что при сохранении минеральных фаз имеет место изменение поверхностных свойств минералов. Обоснована необходимость оптимизации схемы и реагентного режима апатитовой флотации. Представлены результаты лабораторных испытаний по флотации апатита из техногенного минерального сырья.

Ключевые слова: апатит-нефелиновая руда, техногенное сырье, минералого-технологическая характеристика, флотация апатита.

Истощение сырьевой базы фосфорсодержащего минерального сырья обусловило необходимость поиска новых перспективных его видов, а также вовлечение в переработку бедных руд и отходов горнопромышленных предприятий.

Крупным техногенным месторождением фосфорсодержащего сырья являются отвалы отходов обогащения апатит-нефелиновых руд ОАО «Апатит», располагающиеся в трех хвостохранилищах и оцениваемые на сегодня в ~ 900 млн тонн.

По содержанию полезных минералов (%) – 58-62 нефелина, 14-15 эгирина, 3,0-3,5 сфена, 2,5 – титаномагнетита, 5-7 апатита отходы являются ценным перспективным минеральным сырьем [1,2].

Цель данной работы — установление возможности доизвлечения из такого вида сырья апатита с получением кондиционного апатитового концентрата.

Объектом исследований явились отходы обогащения, складированные в хвостохранилище АНОФ-2. В отличие от ранее выполненных работ по

оценке возможности использования отходов для дополнительного производства минеральных концентратов [3,4] изучение данного техногенного сырья позволило проследить влияние на его минералого-технологические свойства не только временного фактора и атмосферного воздействия, но и ионно-обменных процессов, протекающих в объеме жидкой фазы и на границе раздела жидкость-минерал в условиях водооборота: перевод АНОФ-2 на обратное водоснабжение был осуществлен 1978-1981гг.

Исследования проводились на пробах, отобранных на пляжах дамбы по глубине складирования хвостов в соответствии с горизонтами хвостохранилища: 150, 156, 160, 170, 180. По результатам грануло-метрического анализа усредненные пробы близки по крупности, и по содержанию в них мелкой (-0,2+0,05 мм) и средней (-1+0,2 мм) фракций, соответственно 33,0-41,6 и 53,9-57,6 %, могут быть классифицированы как мелко- и среднезернистое техногенное сырье [5].

Минералогическими исследованиями проб показано, что, несмотря

Таблица 1

Содержание основных минералов в пробах складированных отходов обогащения апатит-нефелиновой руды АНОФ-2 ОАО «Апатит» по горизонтам

Минералы	Содержание минералов в пробах, % вес					
	№ 150	№ 156	№ 163	№ 170	№ 176	№ 180
Апатит	10,5	10,9	8,2	9,1	7,3	7,2
Нефелин	48,5	48,1	57,0	59,2	57,2	54,2
Полевой шпат	12,8	11,2	7,4	6,3	7,7	7,6
Пироксен	18,0	18,7	17,2	15,5	16,7	18,3
Сфен	3,0	3,3	3,6	3,3	3,8	4,5
Титаномагнетит	3,7	4,1	3,4	3,3	4,0	4,2

на их длительный срок хранения и формирование в условиях водооборота, а также активного техногенного воздействия промышленной зоны расположения хвостохранилища, минеральные фазы крупно- и среднезернистых фракций обнаруживают хорошую сохранность. Установленные при этом основные минералоготехнологические особенности проб, а именно: равномерный гранулометрический состав по всей зоне отбора проб; отсутствие шламов; высокая степень раскрытия апатита (80-85 %); концентрация раскрытого апатита в материале +0,16 мм до 90 %; отсутствие новообразований и окисных пленок на поверхности минералов показывают, что при соответствующей подготовке и использовании комбинированных способов возможно, как и для рудного сырья, их комплексное обогащение с получением наряду с апатитовым нефелинового, сфенового, эгринового и титаномагнетитового концентратов [1].

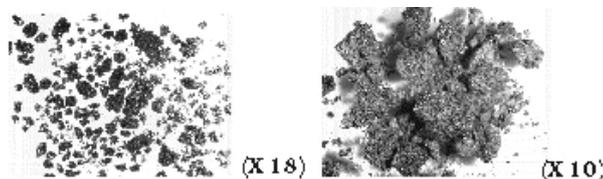
Вместе с тем, содержание основных минералов в пробах показывает (табл.1), что по сравнению с исходной апатит-нефелиновой рудой имеет место значительное изменение соотношения между главными (apatит, нефелин) и второстепенными минералами. Высокое содержание в пробах нефелина (48,1-59,2 %) и пироксенов

(15,5-18,7 %) на фоне низкого содержания апатита (7,2-10,9 %) обуславливают существенные изменения в измельчаемости такого вида сырья в направлении переизмельчения апатита и, особенно, пироксенов, что может привести к снижению эффективности разделения минералов в процессе флотации.

Отрицательное воздействие на технологические свойства исследуемого техногенного сырья возможно за счет содержащихся в нем органических включений в виде искусственных агломератов с минеральными частицами размером до 5 мм (рис.1). Такие агрегаты включают различные по размеру частицы апатита, титаномагнетита и других минералов. Присутствие тонкодисперсного титаномагнетита придает агрегатам магнитные свойства.

С целью определения количества и состава органических включений проведено их выделение методом экстракции. По полученным результатам содержание органического вещества составило 21,4 г/т (проба 150) и 38,6 г/т (проба 180), т.е. прослеживается закономерность его увеличения в пробах при переходе от нижних к верхним горизонтам хвостохранилища.

Для идентификации образцов органического вещества сняты ИК-



Размер агрегатов от 0,05 до 0,5 см

Рис. 1. Агрегаты минеральных частиц с органическими включениями в складированных отходах обогащения

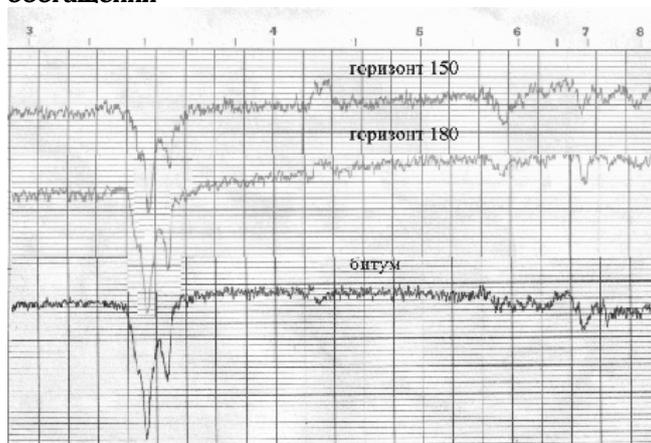


Рис. 2. ИК-спектры органического вещества, экстрагированного с проб (150 и 180) техногенного сырья, и битума

спектры в пленке (рис. 2), которые показывают, что оно представляет собой смесь углеводородов: на спектрах ярко выражены полосы валентных колебаний С-Н для Csp^3 -Н-групп ($2950\text{-}2850\text{ см}^{-1}$) и слабые полосы деформационных колебаний С-Н для Csp^3 -Н-групп (1470 см^{-1}). Полученные спектры идентичны спектру образца битума, используемого в последние годы для закрепления пылящих поверхностей на хвостохранилище АНОФ-2 ОАО «Апатит». Присутствие таких органических соединений может оказывать негативное влияние на селективность флотации за счет избирательной гидрофобизации поверхности минералов в процессе доизмельчения исходного сырья.

Исходя из известной закономерности флотиремости минералов апатит-нефелиновой руды с использованием жирнокислотного собирателя и практики ее обогащения, апатит флотировался непосредственно из доизмельченной пробы без проведения предварительной ее дешламации.

Определены оптимальные параметры измельчения проб: содержание классов $+0,16\text{ мм}$ – 13-14 % и минус $0,071\text{ мм}$ – 38,8-40,8 %, обеспечивающие полное раскрытие минералов и одновременно кондиции получаемого апатитового концентрата по крупности. Флотация апатита осуществлялась на оборотной воде хвостохранилища АНОФ-2, содержащей, мг/л: 412 взвешенных частиц; 741 общих солей; $18,9\text{ Ca}^{2+}$; 320 SO_4^{2-} ; 20 Cl; 174 HCO_3^- ; $17,6\text{ SiO}_2$; рН оборотной воды – 8,9. Обратную воду использовали в измельчении и во всех операциях флотации. За основу был принят реагентный режим апатитовой флотации АНОФ-2, который предусматривает использование жидкого стекла (ЖСт) как депрессора сопутствующих апатиту минералов и собирательной смеси (ФСС), состоящей из мыл кислот талловых масел и моноалкилбензолсульфокислоты (АБСК) – 13,5 %. Флотация проводилась при рН=9,7-9,8, что создавалось добавлением едкого натра.

Результаты флотации в открытом цикле с проведением основной (ОФ), контрольной (КФ) флотаций и двух-

Таблица 2

Показатели флотации апатита из складированных отходов обогащения апатит-нефелиновой руды АНОФ-2 ОАО «Апатит» на оборотной воде в открытом цикле

ЖСт	Расход реагентов, г/т			Пенный ОФ, % P ₂ O ₅		Апатитовый концентрат, % P ₂ O ₅		P ₂ O ₅ в хвостах флотации, %	Кол-во перечисток
	Неонол	тип	ОФ+КФ	β	ε	β	ε		
Проба 150; 4,35 % P ₂ O ₅									
50	10	ФСС	150+30	33,65	82,0	39,33	71,4	0,86	3
75	-	ЖКТМ	90+30	35,21	78,5	39,24	75,8	0,86	2
-	5	СС ₁	150+30	30,00	90,3	39,67	66,6	0,46	2
-	-	СС ₂	160+30	31,08	87,9	39,87	65,1	0,55	2
Проба 170; 3,7 % P ₂ O ₅									
50	5	ФСС	140+30	31,72	80,6	39,97	74,5	0,70	3
75	-	ЖКТМ	90+30	33,40	77,6	39,02	73,8	0,50	3
-	5	СС ₁	140+30	23,40	92,0	39,32	71,1	0,30	2
-	-	СС ₂	150+30	24,30	91,9	39,65	72,0	0,31	2
Проба 180; 3,0 % P ₂ O ₅									
75	-	ФСС	150+30	25,44	58,2	37,61	52,8	1,45	3
75	5	ФСС	150+30	31,43	50,3	39,00	43,6	1,61	3
100	-	ЖКТМ	90+30	30,04	68,5	39,58	59,7	0,85	3
-	5	СС ₁	130+30	24,12	83,5	39,17	76,4	0,51	3
-	5	СС ₂	150+30	27,89	85,1	39,20	73,8	0,44	2

трех перечисток пенного продукта ОФ и использованием различных реагентных режимов представлены в таблице 2 на примере проб нижнего (150), среднего (170) и верхнего (180) горизонтов.

В процессе флотационного выделения апатита установлена задепрессированность минералов, что косвенно подтверждается необходимостью повышенных расходов собирателя, а также высокой чувствительностью флотации к традиционно применяемым реагентам-регуляторам (ЖСт, Неонол). Это связано с повышенной гидратированностью поверхности минералов, являющейся следствием ионообменных и адсорбционных процессов, протекающих в хвостохранилище, в том числе и с участием жидкого стекла, используемого также для предотвращения пыления его поверхностей.

Депрессорирующее действие применяемых регуляторов по отношению к апатиту проявляется в меньшей степени, если используется собиратель с более высокими коллекторными свойствами, например, жирнокислотная фракция таллового масла (ЖКТМ). Низкие расходы регуляторов или исключение их применения возможны при использовании собирательных смесей, в состав которых наряду с кислотами талловых масел взамен АБСК вводится полиалкилбензолсульфокислота – ПАБСК в количестве 20 % (СС₁) и 30 % (СС₂).

Данные табл. 2 показывают, что из всех исследуемых проб получены качественные (39,0-39,97 % P₂O₅) апатитовые концентраты. При этом, если на пробах 150 и 170 такие концентраты при извлечении 70-75 % P₂O₅ получены при использовании всех рассматриваемых собира-

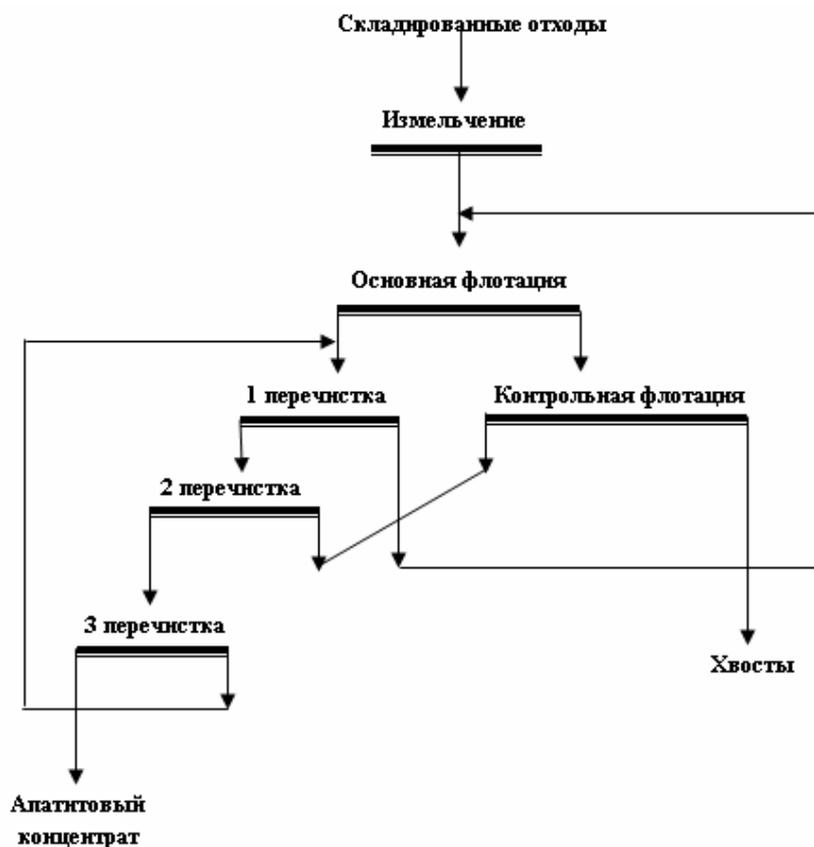


Рис. 3. Принципиальная схема флотации апатита из складированных отходов обогащения апатит-нефелиновой руды в замкнутом цикле

Таблица 3

Результаты флотации складированных отходов по схеме рис. 3

Расход реагентов, г/т		Технологические показатели, %					Пена ОФ		Пена III пер.		М, %	
ЖСт	собиратель	α	γ	P_2O_5		θ	Кп	Кр	Кп	Кр	ОФ	III пер.
				β	ϵ							
Проба 150												
75	80	4,40	9,5	39,00	84,5	0,76	1,1	0,64	0,7	0,71	48,4	42,7
Проба 170												
75	70	3,70	8,4	39,18	88,6	0,50	1,8	0,67	0,9	0,67	44,1	38,6

телей, в том числе и ФСС, то на пробе 180 эти показатели обеспечило лишь применение смесей СС₁ и СС₂. Трудность получения апатитового концентрата из этой пробы можно объяснить более высоким со-

держанием в ней органических веществ (38,6 г/т), их концентрацией в пенном продукте основной флотации – до 454 г/т и неэффективностью дальнейших перецистных операций. При предварительной подготовке

сырья к обогащению такие агрегаты должны быть максимально удалены. Применение собирателя CC_1 и CC_2 на всех пробах обеспечивает наиболее полное выделение апатита: содержание P_2O_5 в хвостах флотации составляет 0,3-0,5 %.

Основная флотация апатита протекает достаточно эффективно: степень концентрации при извлечении P_2O_5 80-90 % составляет 7-9; содержание P_2O_5 в хвостах флотации – 0,4-0,8 %. Получаемый при этом апатитовый продукт с содержанием 25-30 % P_2O_5 может быть направлен на дообогащение в соответствующий цикл переработки апатит-нефелиновой руды и обеспечить выпуск дополнительной конечной продукции.

Учитывая низкие содержания P_2O_5 в промпродуктах обогащения (камерный перечисток, пенный КФ), получение кондиционного апатитового концентрата (39 % P_2O_5) в самостоятельном цикле проводилось по флотационной схеме, приведенной на рис.3. Представленные в таблице 3 результаты флотации показывают на возможность получения апатитовых концентратов с содержанием 39,0-39,2 % P_2O_5 при извлечении 84,5-88,6 %. Процесс характеризуется низкой циркуляционной нагрузкой – 4-6 %.

Кп, Кр –коэффициенты соответственно пенообразования и разрушения пены; М –минерализация пены, %.

Выводы

Показано, что при сохранности минеральных фаз мелко- и среднезернистой части складированных отходов обогащения апатит-нефелиновой руды имеет место повышенная гидратированность поверхности минералов, являющаяся следствием ионно-обменных и адсорбционных процессов, протекающих в хвостохранилище.

Установлено негативное влияние на флотацию содержащихся в отходах органических соединений битума, используемого для предотвращения пыления на откосах хвостохранилища.

Научно обоснованы и разработаны технологические решения и реагентные режимы выделения апатита, позволяющие из мелко- и среднезернистых песков складированных отходов, содержащих 3,0-4,3 % P_2O_5 , получать кондиционные апатитовые концентраты (39 % P_2O_5) при извлечении 85-88 % P_2O_5 и отвальные хвосты с содержанием 0,5-0,8 % P_2O_5 .

Разработанные режимы и схема флотации требуют дальнейшей проверки применительно к флотации апатита из тонкозернистой части складированных отходов обогащения апатит-нефелиновой руды.

Складированные отходы обогащения являются ценным фосфорсодержащим техногенным сырьем и в перспективе — потенциальным источником получения дополнительной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев А.В., Шаль Э.Э. Экологические аспекты развития ОАО «Апатит» // Горный журнал. – 1999. – №9.

2. Техногенные месторождения – дополнительный источник минерального сырья / Мельников Н.Н., Козырев А.А., Гершенкоп А.Ш., Калашник А.И. // Фундаментальные проблемы комплексного использования природного и техногенного сырья Баренце-

ва региона в технологии строительных материалов: Материалы межд. научн. конференции. – Апатиты: КНЦ РАН, 2003.

3. Гершенкоп А.Ш., Маслов А.Д. Влияние временного фактора и расположения хвостохранилищ на технологические показатели переработки отходов ОАО «Апатит» // Плаксинские чтения: Тез. докл. межд. совещания. – Иркутск, 1999.

4. *Комплексное обогащение отходов апатитового производства и их гидрометаллургическая переработка* / Николаев А.И., Гершенкоп А.Ш., Герасимова Л.Г. и др. // *Химия и химическая технология в освоении природных ресурсов: Тез. докл. научной конференции.* – Апатиты: КНЦ РАН, 1999.

5. *Иванова В.А., Рухленко Е.Д.* Оценка минералого-технологических свойств складированных отходов обогащения апатит-нефелиновых руд // *Горный журнал.* – 2010. – №9.

6. *Дудкин О.Б.* Технологическая минералогия комплексного сырья. — Апатиты, 1996. **ПИАВ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Иванова Валентина Алексеевна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Митрофанова Галина Викторовна — кандидат технических наук, доцент,
Горный институт Кольского научного центра РАН, e-mail: gera@goi.kolasc.net.ru.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

СНИЖЕНИЕ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Петров Иван Васильевич — доктор экономических наук, профессор, Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru

Коробова Ольга Сергеевна — кандидат экономических наук, доцент, Российский университет дружбы народов, rudn@rudn.ru.

Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). — 2012. — № 1. — 24 с.— М.: издательство «Горная книга».

Приведены последствия выбросов парниковых газов на элементы социально-эколого-экономической системы. Предложена экономико-математическая модель определения дополнительного дохода предприятий при внедрении мероприятий, способствующих снижению эмиссии парниковых газов.

Ключевые слова: потенциал снижения парниковых газов, экономико-математическая модель, углепромышленный регион.

DECREASE IN ISSUE OF HOTBED GASES AT THE EXPENSE OF INTRODUCTION OF ENERGY SAVING TECHNOLOGIES

Petrov I.V., Korobova O.S.

Consequences of emissions of hotbed gases on elements social- ecology-economic system are given. The economic-mathematical model of definition of the additional income of the enterprises is offered at introduction of the actions promoting decrease in issue of hotbed gases.

Keywords: potential of decrease in hotbed gases, economic-mathematical model, coal-mining region.