

УДК 622.7

Т.А. ОЛЕЙНИК, д-р техн. наук,**Л.В. СКЛЯР**, канд. техн. наук,**М.О. ОЛЕЙНИК**, канд. техн. наук,**Н.В. Кушнирук**, канд. техн. наук,

(Украина, Кривой Рог, Государственное ВУЗ «Криворожский национальный университет»)

ОСОБЕННОСТИ ФЛОТАЦИИ АПАТИТА ИЗ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ GARE AGHAJ

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Мировая промышленность по производству фосфатного сырья, которое используется, главным образом, для получения фосфорсодержащих удобрений (аммофоса, суперфосфата и др.), фосфатной кислоты, жёлтого фосфора, различных солей, кормовых фосфатов, продуктов специального назначения, является одной из важнейших отраслей народного хозяйства.

Так, в странах Марокко, Тунис, Иордания, Сенегал промышленность по производству фосфатного сырья и удобрений из него является основной отраслью экономики, а в США, Китае, России, Бразилии, ЮАР, Австралии, Египте и Алжире эта промышленность занимает лидирующее место в производстве минеральных удобрений [1-4].

Мировые запасы фосфатных руд оцениваются в 63,1 млрд т P_2O_5 , из них 91,6% (57,8 млрд т P_2O_5) – фосфоритовые руды и 8,4% (5,3 млрд т P_2O_5) – апатитовые руды.

Геологические запасы апатитовых руд на порядок ниже, чем запасы фосфоритовых руд; но, в ряде стран (Россия, ЮАР, Бразилия, Финляндия, Зимбабве, Канада) апатитовые руды являются преобладающим или единственным типом фосфатных руд [5-8].

Разведанные запасы апатитовых руд в мире оцениваются в 63067,4 млн т P_2O_5 , в частности 57807,4 млн т фосфоритовых и 5260 млн. т апатитовых руд и сосредоточены в 60 странах. Ресурсы фосфатных руд стран Европы, Азии и Балтии оцениваются более 24,7 млрд т P_2O_5 . Из них 34% приходится на Россию, 32% – на Украину и 30% – на Казахстан. В России три четверти запасов фосфорсодержащих руд сосредоточены в Хибинском месторождении, а основные запасы апатита представлены апатит-нефелиновыми рудами, на базе которых работает комбинат «Апатит». Процессы обогащения руд на ОАО "Апатит" достаточно подробно освещены в литературе [13, 14-16]. Кроме этого апатитовый концентрат, как попутный компонент, получает Ковдорский ГОК [8]. В Казахстане фосфорсодержащее сырье сосредоточено в Каратауском фосфоритовом районе [6-8]. Апатитовые руды Украины составляют почти 90% основных запасов фосфора [8-10].

Современный этап освоения недр связан с вовлечением в промышленное освоение руд новых и малых месторождений, в большинстве случаев, характеризующихся сложным вещественным составом и трудной обогатимостью.

В настоящее время в мире наблюдается устойчивая тенденция вовлечения в эксплуатацию месторождений, представленных бедными и труднообогатимыми апатитовыми рудами, со сложными горно-геологическими условиями их отработки. Разработка таких месторождений без существенного изменения традиционной технологии горного производства экономически нецелесообразна, а переработка бедных и некондиционных руд, помимо значительного увеличения себестоимости товарного продукта, за счет увеличения расхода токсичных реагентов и количества складированных тонкоизмельченных хвостов [4].

Анализ исследований и публикаций. Из-за своей активности в свободном виде фосфор в природе не встречается, а бывает только в соединениях. Важнейшие природные соединения фосфора – фосфориты $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и апатит, который, кроме фосфата кальция, содержит хлорид или фторид кальция – $\text{Ca}_5\text{X}(\text{PO}_4)_3$, где X – фтор, реже хлор или OH-группа. Кальций, входящий в состав фосфатной части молекулы апатита, может изоморфно замещаться стронцием, редкоземельными элементами группы церия и другими элементами. Наиболее распространен в природе фторапатит $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{CaF}_2$ и гидроксоapatит $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ или $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ [19].

Все апатитовые руды, несмотря на их разнообразие, обогащаются в основном одним методом – флотацией. Имеются исследования, обосновывающие применение стадийных и комбинированных схем обогащения [14]. В качестве реагентов применяют: собиратели – жирные кислоты (рН 9-9,5), мыла смоляных кислот и сульфатное, масло талловое сырое и дистиллированное, смесь соапстока и сульфатного мыла, окисленные петролатум и керосин, амины и др.; пенообразователи – сосновое масло, спирты, флотанол; регуляторы среды – Na_2CO_3 , NaOH , Na_2SiO_3 ; депрессоры – гексаметафосфат, русифицированный крахмал.

Представляет интерес рассмотреть мировую практику обогащения апатитсодержащих руд учитывая их тип и состав.

В ЮАР на месторождении Phalaborwa добывают три типа апатитсодержащих руд: пироксениты, фосфориты и карбонатиты, содержащие 7-11,5% P_2O_5 . Из полезных минералов, кроме апатита, эти руды содержат магнетит, сульфиды меди, бадделейт. Все три типа руды обогащают на отдельных линиях, извлекая сульфид меди флотацией, а магнетит – магнитной сепарацией. Немагнитную фракцию подвергают фосфатной флотации, из хвостов гравитационным обогащением получают бадделейтовые концентраты. Для руды апатитового комплекса Phalaborwa в ЮАР применяется магнитно-флотационная технология обогащения, предусматривающая магнитную

сепарацию для получения магнетитового концентрата и две стадии флотации для разделения медного и фосфатного концентрата. Разнообразие типов руд и технологических схем их обогащения приводит к тому, что на фосфатной обогатительной фабрике проводят шесть сортов апатитового концентрата, содержащих от 36 до 40% P_2O_5 [18].

В Бразилии на семи предприятиях мощностью 500-1100 тыс.т концентрата в год обогащают апатит-карбонатные руды, содержащие кроме апатита, кальцит, доломит, магнетит, слюду и другие минералы. Руды измельчают до 0,3 мм и магнитной сепарацией выделяют из них магнетитовые концентрат. Немагнитную фракцию обесшламливают по фракции 0,02 мм и подвергают фосфатной флотации с получением апатитовых концентратов. Хвосты, образующиеся при флотации, применяют для изготовления портландцемента, а также используют как мелиорат для раскисления почв [19].

В Финляндии на месторождении Сийлиньярви добывают бедную апатитовую руду (4-5% P_2O_5). Она представлена апатитом (10%), кальцитом и доломитом (20%), флогопитовой слюдой (65%) и другими силикатными минералами (5%). Получаемый апатитовый концентрат, содержащий 35-36% P_2O_5 , в виде кека с содержанием влаги 8% направляют на производство экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК). Хвосты частично используют для производства кальцитового концентрата, применяемого в качестве мелиората, и для производства флогопитовой слюды [20].

В Зимбабве на месторождении Дороу добывают апатитовую руду с примесью магнетита, которая содержит 4-13% P_2O_5 (в среднем 8% P_2O_5). Ее обогащают такими методами, как промывка, избирательное дробление, магнитная сепарация и флотация. Флотируют немагнитную фракцию, измельченную до крупности минус 0,18 мм и обесшламленную по граничному зерну 0,04 мм. До 2000 г на обогатительной фабрике проводили апатитовый концентрат, содержащий 41% P_2O_5 . В последнее время качество концентрата снизилось до 35% P_2O_5 .

При обогащении комплексных апатитсодержащих руд широко распространены магнитно-флотационные схемы. Из исходной руды магнитной сепарацией извлекается магнетитовый концентрат. Из немагнитной фракции флотацией получают апатитовый концентрат. При этом стремятся максимально очистить металлсодержащие концентраты от фосфора и попутно получить апатитовый концентрат.

Например, в Швеции флотируют обесшламленные апатитсодержащие хвосты железорудных фабрик. А, для апатитовой руды месторождения Сокли (Финляндия) разработана схема обогащения, включающая дезинтеграцию и глубокое обесшламливание руды, измельченной до 0,2 мм, магнитную сепарацию в слабом магнитном поле для выделения магнетита, отдельную флотацию немагнитной фракции и доизмельченных промежуточных продуктов контрольной и перечистных операций, доводку полученных флотационных концентратов в сильном магнитном поле. Флотация осуществляется в

присутствии жидкого стекла в щелочной среде собирательной смесью, состоящей из легкого мазута и различных реагентов, таких как алконоламиды, оксиэтилированные спирты, Emulsogev STH (ФРГ) и Flootore R 500 (Англия). Возможно получение концентрата с содержанием 37% P_2O_5 и 3% Fe_2O_3 при извлечении 66% P_2O_5 . По магнитно-флотационным схемам обогащаются также руды месторождений Норвегия (Mo-U-Pana), Швеции (Кируна, Мальмьерчет, Сваннобаара), России (Ковдорское), в Родезии.

В США из гематит-магнетит-апатитовой руды по комбинированной магнитно-флотационной схеме получают четыре концентрата: первоначально из исходной руды магнитной сепарацией – магнетитовый и последовательно флотацией – пиритный, апатитовый и гематитовый.

В Уганде месторождение Сукулу представлено апатит-магнетитовыми рудами. Схема обогащения руды включает первичную промывку, магнитную сепарацию для извлечения магнетита, обесшламливание и флотацию апатита. Готовый продукт содержит 40,5-41,5% P_2O_5 и 0,7-1,2% Fe_2O_3 .

Проблемами, возникающими при флотационного обогащения апатита, считаются подбор селективных реагентов, снижение потерь, связанных с шламами, и экологические вопросы, направленные на решение проблем сброса оборотной воды.

Постановка задачи. Основной целью работы является разработка нового реагентного режима при флотации апатита из руды месторождения GARE AGHAJ, на основе изучения вещественного состав руд и определения основных параметров процесса для получения апатитового концентрата с массовой долей P_2O_5 не менее 37,5% и извлечением P_2O_5 в концентрат не менее 68,26%.

Изложение материала и результаты. При изучении вещественного состава руды месторождения GARE AGHAJ определено, что содержание апатита находится в пределах 5-6% (в среднем 5,5%). Плагиоклазы находятся в пробе в большом количестве, наравне с оливинами и пироксенами – 18,0%. По результаты химического анализа содержание P_2O_5 в руде 2,28%.

Рассмотрим более подробно эти минералы.

Апатит представлен в руде классическими кристаллами гексагональной сингонии со сглаженными ребрами призмы и дипирамиды. Показатель преломления N_g 1,633. Для апатита характерны тонко призматические кристаллы, реже наблюдаются зерна короткостолбчатого облика. В поперечном сечении (в прозрачных шлифах) апатит образует гексагональные и изометрические зерна. Размер зерен варьирует от 10 микрон до 160 микрон. Характерно, что треть содержания апатита находится в крупности +0,074мм. Мелкие зерна имеют более удлиненный призматический габитус; более крупные зерна в дробленной руде имеют вид обломков призмы. Апатит прозрачный, бесцветный, с гладкой поверхностью, нередко содержит примазки рудного материала, в результате дезинтеграции руды, которые иногда

затягивают крупный апатит в магнитные фракции. Как правило, апатит находится в тесной ассоциации с ильменитом и присутствует в закрытых и открытых сростках с ильменитом. Апатит образует наиболее сложные сростания с ильменитом и, чаще всего, с титаномагнетитом (рис. 1 а), тогда как сростки с силикатами довольно редко встречаются (рис.1 б). Включения в апатите окисных минералов наблюдаются крайне редко.

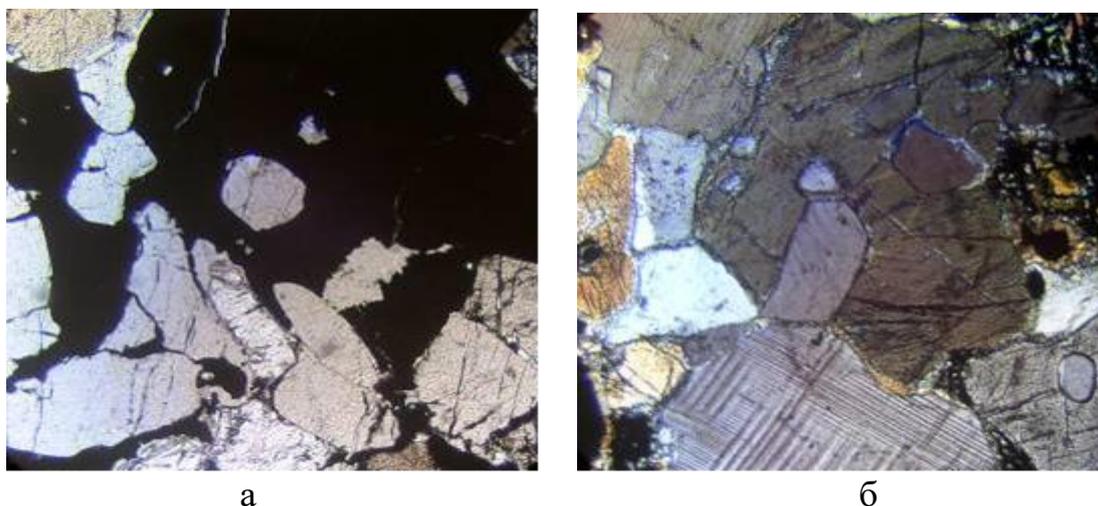


Рис. 1. Морфологические и структурные особенности нерудных минералов. Николи скрещены. (Ol – оливин; Ap – апатит):
 а – сростания апатита с рудными минералами. Ув. 80х;
 б – морфологические особенности апатита (продольное и поперечное сечения) в зерне оливина, рядом зерно плагиоклаза с решетчатыми двойниками. Ув. 83х

Плагиоклаз в изоморфном ряду альбит+анортит занимает №55, то есть это лабрадор. Показатель преломления $N_m \sim 1,555-1,558$, что соответствует содержанию анортитовой молекулы ($CaAl_2Si_2O_8$) в изоморфном ряду – 55%. Образует как таблитчатые зерна, так и обломки зерен. Бесцветный и молочно-белый. Свободные зерна наблюдаются даже в классе +0,5-1,0мм. Кристаллы встречаются в виде неправильных, таблитчатого облика зерен (рис. 1 б). Размер зерен изменяется от 0,036 до 5 мм, преобладающий размер составляет 0,5-2,5 мм. Характерны вторичные изменения плагиоклаза, а именно – серицитизация, в результате чего большая часть зерен полупрозрачна до непрозрачной. В таких зернах наблюдается тонкая вкрапленность гидроксидов железа. Сростки с рудным наблюдаются редко. Чаще встречаются сростки с амфиболом.

Исследования по разработке технологии флотационного обогащения апатита из руды месторождения Gare Aghaj проводилось в лабораторных условиях на водопроводной воде с использованием в качестве собирателей анионных реагентов Floys. Питанием флотации служили немагнитные продукты титаномагнетитового цикла, измельченные до крупности 99 % класса минус 0,045 мм. Химический состав водопроводной воды приведен в табл. 1.

Таблица 1

Ионно-солевой состав водопроводной воды иранского исследовательского центра

pH	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ²⁻	Щелочность
8,13	2	41	290	<5	<0,06	<5	19	290

Перед флотацией апатита был выполнен седиментационный анализ пробы питания апатитовой флотации. Результаты представлены в табл. 2.

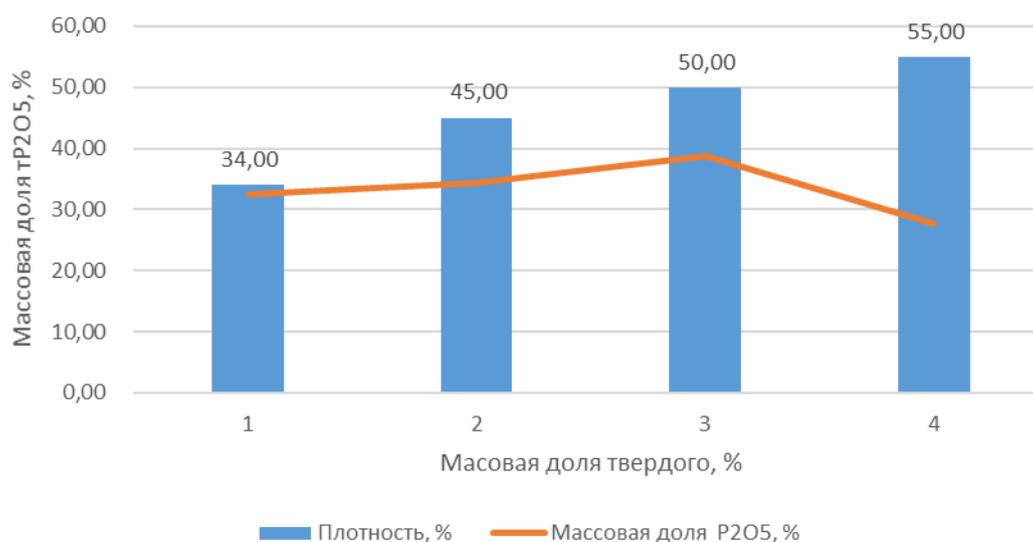
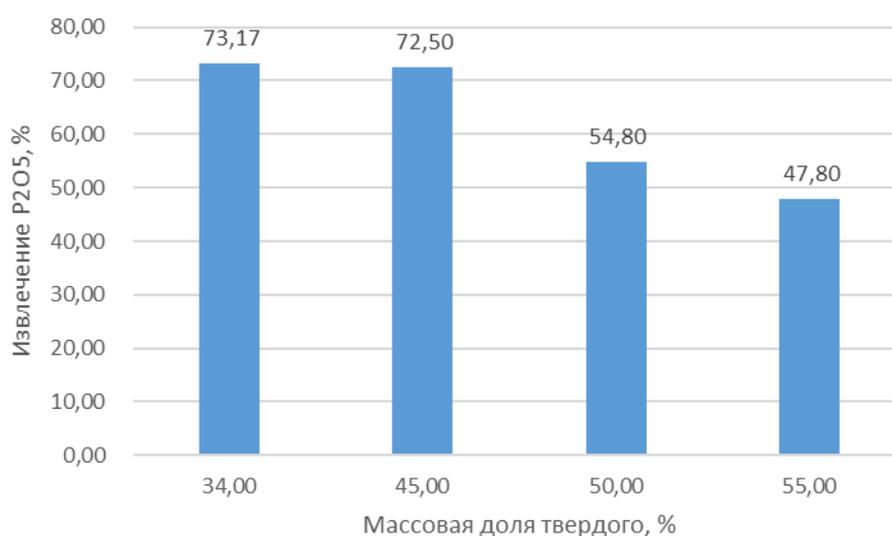
Таблица 2

Седиментационный анализ пробы питания флотации апатита

Наименование продукта	Выход, %	Наименование полезных компонентов, %			
	От фракции	Fe _{общ}	TiO ₂	P ₂ O ₅	SiO ₂
Фракция +38	29,38	19,61	8,49	1,12	28,27
Фракция CS1 -38+28,8 мкм	5,71	28,75	20,05	1,41	20,72
Фракция CS2 -28,8+20,3 мкм	13,90	21,96	7,79	2,66	30,49
Фракция CS3 -20,3+14,7 мкм	18,69	19,40	5,91	2,57	33,32
Фракция CS4 -14,7+10,5 мкм	13,35	18,77	5,58	2,52	33,91
Фракция CS5 -10,5+8,1 мкм	6,78	18,57	5,63	2,43	33,48
Фракция -8,1+0	12,20	18,37	5,63	2,43	33,48
Итого	100	20,19	7,76	2,03	30,67

Согласно результатам седиментационного анализа со сливами (фракция -0,0081 мм) при сгущении без использования флокулянта может уйти до 6,11% материала. Потери по P₂O₅ составят в пределах 7,73 %, по TiO₂ – в пределах 4,3%.

Технологическая схема состояла из основной флотации и четырех перечисток при использовании в качестве собирателя Floys. Проведены эксперименты при разной плотности суспензии в основной флотации апатита. Был испытан следующий реагентный режим: в качестве реагента – собирателя подавался анионный реагент Floys при расходах 600 г/т; pH при флотации поддерживалось в пределах 8,2-8,4. Температура суспензии 17,7-22,3 °С. Результаты экспериментов по флотации апатита представлены на рис. 2 и 3.

Рис. 2. Зависимость массовой доли P₂O₅ от плотностиРис. 3. Зависимость извлечения P₂O₅ в концентрат от плотности

Анализ проведенных экспериментов показал, что не целесообразно плотность флотации в основной флотации поднимать выше 45 % твердого.

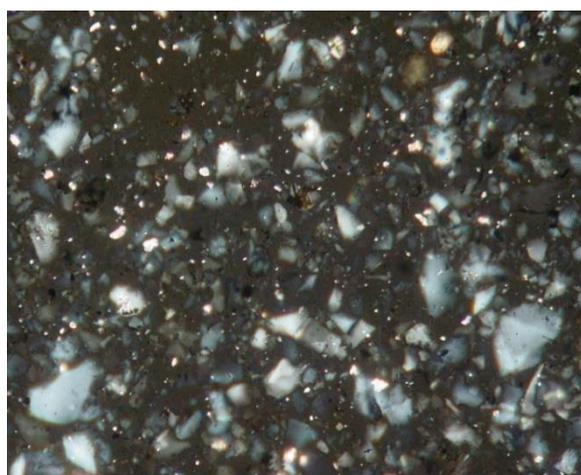
Минералогический анализ апатитовых концентратов показал, что концентраты, полученные при времени основной флотации 25 минут независимо от плотности проведения флотации представлены на 98-99% апатитом с примесью рудных зерен 0,1-0,2%, плагиоклаза 0,1%, карбоната – 0,5%. Кроме того, присутствуют шламовые зерна карбоната размером менее 5 микрон, которые в сумме увеличивают примесь карбоната. Апатит свободный, приблизительно 10% апатита имеют рудные примазки и пленки в результате дезинтеграции. Усредненные результаты лабораторных исследований приведены в таблице 3

Таблица 3

Результаты экспериментов по флотации апатита

Наименование продуктов	Выход, %	Массовая доля полезных компонентов, %				Извлечение полезных компонентов, %			
		Fe _{total}	TiO ₂	P ₂ O ₅	SiO ₂	Fe _{total}	TiO ₂	P ₂ O ₅	SiO ₂
Пенный (апатитовый концентрат)	4,3	2,21	0,53	34,3	4,81	0,5	0,3	72,5	0,7
Камерный основной флотации (хвосты)	69,8	21,49	8,45	0,23	32,08	74,3	76,0	7,9	73,0
Камерный I перечистки	23,1	19,94	7,16	0,92	31,85	22,8	21,3	10,5	24,0
Камерный II перечистки	1,5	20,30	8,24	2,94	28,23	1,5	1,6	2,2	1,4
Камерный III перечистки	0,8	16,13	5,80	7,67	24,53	0,6	0,6	3,0	0,6
Камерный IV перечистки	0,5	11,02	3,61	15,84	18,58	0,3	0,2	3,9	0,3
Итого	100,0	20,19	7,76	2,03	30,67	100,0	100,0	100,0	100,0

На рис. 4 (а) показан апатитовый концентрат в проходящем свете в параллельных николях, на котором все поле зрения представлено апатитом, с незначительной примесью чешуек шламового материала (карбонат, силикаты). На рис. 4 (б) показан апатитовый концентрат в скрещенных николях, где часть зерен апатита – на погасании.



а



б

Рис. 4. Апатитовый концентрат:
а – в проходящем свете в параллельных николях;
б – в проходящем свете в скрещенных николях

Хвосты флотации апатита представлены смесью породообразующих минералов и шламов. При этом апатита присутствует до 1-2%, рудного минерала до 12-17%. Распределение апатита по камерным продуктам флотации следующее: в камерном I перечистки содержание находится на уровне 2-3%, в камерном II перечистки – на уровне 7-9%, в камерном III перечистки – на уровне 15-20%, в камерном IV перечистки – на уровне 37-40%.

Для реализации замкнутого цикла флотации апатита рекомендуется камерные продукты основной флотации и первой перечистки выводить из процесса на флотацию ильменита, а камерные продукты II, III, IV заворачивать соответственно в I, II, III перечистки.

Так как плотность слива гидроциклона в цикле измельчения немагнитных продуктов до крупности 99% класса минус 0,044 мм находится в пределах 13-15%, очень остро стоит вопрос сгущения этих продуктов. Поэтому при выполнении исследований по флотации апатита был изучен вопрос влияния флокулянта по показателю апатитовой флотации.

Расход анионного флокулянта типа Floam для сгущения питания флотации апатита составлял 7, 35, 70 г/т твердого. Сгущение материала с 15 до 65% произошло соответственно за 6, 3, 1 минуты. Из-за недостатка материала на сгущенном продукте была проведена только основная флотация апатита. Результаты экспериментов приведены в табл.4. Результаты оценивались по потерям P₂O₅ с хвостами. Анализ результатов исследований показал, что добавка анионного флокулянта 70 г/т перед сгущением не оказывает отрицательного влияния на результаты основной флотации апатита. Для более качественного разделения минералов время основной флотации должно быть более 15 минут, а плотность рудной суспензии не менее 30 %. При малых расходах флокулянта наблюдалось значительное снижение апатита в пенный продукт основной флотации. Для получения более конкретных выводов по малым расходам флокулянта необходимо проведение дополнительных исследований.

Таблица 4

Результаты экспериментов по флотации апатита с использованием флокулянта

Наименование продуктов	Выход, %	Массовая доля полезных компонентов, %				Извлечение полезных компонентов, %			
		Fe _{total}	TiO ₂	P ₂ O ₅	SiO ₂	Fe _{total}	TiO ₂	P ₂ O ₅	SiO ₂
Количество флокулянта – 7 г/т									
Пенный	3,67	11,58	3,74	16,60	18,63	2,2	2,2%	26,5	2,1
Камерный основной флотации (хвосты)	96,33	19,64	6,39	1,75	33,50	97,8	97,8	73,5	97,9
Итого	100	19,34	6,29	2,295	32,95	100,0	100,0	100,0	100,0
Количество флокулянта – 35 г/т									
Пенный	10,9	16,80	5,47	7,05	27,14	9,5	9,2	33,1	9,2
Камерный основной флотации (хвосты)	89,1	19,67	6,60	1,74	32,61	90,5	90,8	66,9	90,8
Итого	100	19,36	6,48	2,32	32,01	100,0	100,0	100,0	100,0

Флотация

Количество флокулянта – 70 г/т									
Пенный	41,74	18,70	6,5	4,10	29,30	39,7	40,9	77,6	38,1
Камерный основной флотации (хвосты)	58,26	20,38	6,73	0,85	34,08	60,3	59,1	22,4	61,9
Итого	100	19,68	6,63	2,21	32,08	100,0	100,0	100,0	100,0

На заключительном этапе исследований сравнивались собирательные свойства анионных коллекторов Floys и Атрак 1650 (фирмы Акзо Нобель). Расход Атрак 1650 составлял 720 г/т. Эксперименты проводились с депрессором – жидкое стекло 750 г/т и без него. При проведении экспериментов рН при флотации поддерживалось в пределах 8,2-8,4. Температура суспензии 17,7-22,3 °С.

Установлено, что при использовании жидкого стекла в основной флотации необходимо меньшее количество перечисток. При сравнении двух собирателей Floys и Атрак 1650, следует отметить, что при использовании последнего флотация протекает быстрее (время флотации 10 минут) и извлечение P_2O_5 в концентрат в открытом цикле на 14,95 % выше. Однако количество перечисток пенного продукта для получения качественного концентрата в последнем случае больше – семь против четырех.

Время основной флотации при использовании Атрак 1650 – 15 минут по сравнению с 25 минутами при использовании Floys.

Таким образом, реагент Атрак 1650 является более селективным по сравнению с реагентом Floys и обладает сильными собирательными свойствами к апатиту месторождения GARE AGHAJ.

Химический состав апатитового концентрата приведен в таблице 5.

Таблица 5

Химический состав апатитового концентрата																	
Массовая доля компонентов, %																	
Fe _{общ.}	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	F	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	п.п.п.	S _{общ.}	CO ₂	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	Сум ма
0,9	1,15	0,36	0,03	0,6	0,6	0,59	0,70	54,64	0,016	0,19	37,5	3,25	0,042	2,53	-	0,02	99,65

В результате анализа химического состава апатитового концентрата установлено, что массовая доля P_2O_5 – 37,5%, что удовлетворяет поставленным целям исследований. В концентрате выявлено незначительное наличие оксидов металлов (железа, титана, ванадия).

Гранулометрическая характеристика апатитового концентрата представлена в табл.6.

Таблица 6

Гранулометрическая характеристика апатитового концентрата				
Крупность, мм	-0,075+0,045	-0,045+0,038	-0,038+0	итого

Выход, %	3,20	7,86	88,94	100,0
----------	------	------	-------	-------

Результаты гранулометрического состава апатитового концентрата показали, что апатитовый концентрат представлен на 88,94 % фракцией крупностью минус 0,038 +0 мм. Материал в такой крупности может непосредственно (без доизмельчения) использоваться для производства минеральных удобрений и фосфорной кислоты.

Выводы и направления дальнейших исследований

1. В результате проведенных лабораторных исследований разработана технологическая схема флотации апатита, которая состоит из основной флотации и четырех перечисток пенного продукта, при использовании в качестве собирателя анионного реагента Floys – расход 600 г/т. Депрессор не предусматривается. рН при флотации составляет 8,2-8,4. Температура суспензии – 17,7-22,3 °С.

2. В разработанной схеме в лабораторных условиях в открытом цикле получен апатитовый концентрат с массовой долей оксида фосфора 32,5-38,84% при извлечении 73,17-47,8%.

3. Установлено не целесообразность увеличения плотности питания основной флотации апатита выше 45% твердого.

4. Определено, что время основной флотации апатита должно быть не менее 25 минут

5. Установлено, что добавка анионного флокулянта Floram 905 перед сгущением при расходе 70 г/т не оказывает отрицательного влияния на результаты основной флотации апатита.

Список литературы

1. Олюнін В.В. Визначення промиваємості матеріалу і необхідного часу його промивання, В. КН.: Технологія виробництва нерудних будівельних і облицювальних матеріалів. – М., 1985.

2. Вивчення речового складу і розробка технології збагачення фосфоритів Осиківської ділянки: Звіт про НІР/ Ін-т Мінеральних ресурсів; Ю.Н. Брагин № УП Б.П.Е 59/100.15 – Сімферополь, 1989 – 187 с.

3. Классея В.І. Збагачення руд хімічної сировини – М.: Надра 1979 – 240с.

4. Чантурия В.А., Вайсберг Л.А., Козлов А.П. Приоритетные исследования в области переработки минерального сырья // Обогащение руд. – 2014. – С. 3-9.

5. Тимченко А., Соколов А. Из глубины российских руд // Химия и бизнес. – 1998. – № 28. – С.18-20.

6. Ангелова М.А. Динамика и прогноз мирового производства фосфатного сырья // Химическая промышленность. – 1997. – №3. – С.14-19.

7. Steen I. Phosphors availability in 21 century Management of a nonrenewable recourse // Phosphorus and Potassium. – 1998. – № 217. – P. 24-27.

8. Олейник Т.А., Скляр Л.В. Перспективы развития сырьевой базы фосфора Украины // Вісник Криворізького технічного університету. – 2006. – Вип. 11. – С.34-38.

9. Коваленко Д. Н., Семенов В. Г. Фосфориты Украины.– К.: Наукова думка, 1964-178

10. Галецький Л.С., Богай Л.В. Мінералогія та прогнозна оцінка території України. Мінеральні ресурси України. – 1995. – №2 – С. 4-7.
11. Куліш Е. О., Лебідь М. І., Суходольский К. О. Неметалічна мінеральна сировина для чорної металургії Мінеральні ресурси України. – 1995. – №2 – С. 13-16.
12. Полькин С.И., Адамов Э.В. Обогащение руд цветных металлов. – М.: Недра, 1983. – 473 с.
13. Минеральные ресурсы России и других стран СНГ // Справочник. – М.: ГНПП Аэрология, – 2000. – С. 263-269.
14. Внешнеэкономический комплекс России: современное состояние и перспективы // Информационно-аналитический журнал. – 2000. – № 1. – С. 22-25.
15. Минеральные ресурсы России и других стран СНГ. Министерство природных ресурсов РФ // Справочник. – М.: ГНПП Аэрология, 2000. – С. 263-269.
16. Минеральные ресурсы России и других стран СНГ. Министерство природных ресурсов РФ // Справочник. – М.: ГНПП Аэрология, 2000. – С. 173-177.
17. Иванов В.А, Масленикова Л.В., Пудовкин М.Г., Бредермоин И.В. Создание эффективных реагентов и реагентных режимов для флотации апатита из комплексных Ковдорских руд // Технология промышленного освоения комплексных железных руд. – Апатиты. – 1986. – С. 38-44.
18. Зверев А.С. Геология месторождений апатита. Методика их прогнозирования и поиска. – М.: Недра, 1980. – 79 с.
19. Юрк Ю.Ю., Гуров Е.П. Особливості мінералогії фтору Українського кристалічного щита. – К.: Наукова думка, 1973. – 49 с.
20. Тимченко А., Соколов А. Из глубины российских руд // Химия и бизнес. – 1998. – № 28. – С. 18-20.

© Олейник Т.А., Скляр Л.В., Олейник М.О., Кушнирук Н.В., 2018

*Надійшла до редколегії 21.09.2019 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*