

**И.С. Бармин, А.В. Туголуков, В.И. Белобородов, В.В. Поливанская**  
**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ**  
**ТОНКОЗЕРНИСТЫХ СКЛАДИРОВАННЫХ ХВОСТОВ**  
**КОВДОРСКОГО ГОКА**

*Представлены результаты исследований по совершенствованию реагентного режима и схемы обогащения складированных хвостов Ковдорского ГОКа. Было исследовано действие сильных органических ПАВ на растворимость коллоидной формы жирнокислотного собирателя и агрегативную устойчивость тонкодисперсных минералов в процессах сгущения и флотации. Показано, что добавление органического ПАВ Неонол обеспечивает увеличение извлечения фосфатных минералов при флотации за счет повышения растворимости собирателя и стабилизации шламовых классов. Разработана схема и предложен реагентный режим обогащения тонкозернистых складированных хвостов, обеспечивающие получение кондиционного апатитового концентрата и повышение извлечения ценных компонентов.*

*Ключевые слова: складированные хвосты, апатит, сгущение, флотация, жирнокислотные собиратели, мицеллы, шламы, агрегативная устойчивость, неонол.*

---

**П**ерспективным направлением увеличения технико-экономических показателей работы горно-обогатительных комбинатов является вовлечение в переработку отвалных продуктов прежних лет эксплуатации с высоким содержанием ценных компонентов, не извлекавшихся ранее в силу применения неразвитых технологических схем [1]. Однако, переработка лежалых хвостов часто неэффективна и сопровождается снижением технико-экономических показателей вследствие снижения флотуемости ценных компонентов. Причинами потерь апатита и снижения качества концентрата при флотационном обогащении складированных хвостов Ковдорского ГОКа являются высокая степень гипергенных изменений, приведшая к изменению поверхности и увеличению доли тонких классов апатита и породных минералов [2, 3].

Задача повышения эффективности флотации апатита из шламовых классов техногенного сырья была решена

путем применения схем, предусматривающих обновление поверхности измененных зерен минералов и применения реагентов-регуляторов коллоидно-дисперсного состояния дисперсных систем.

В результате проведенных исследований удалось разработать схему и режим обогащения складированных хвостов Ковдорского ГОКа, включающие операции обесшламливания, доизмельчения, оттирки, магнитной сепарации и флотации, позволяющие получить кондиционный концентрат при приемлемой с экономической точки зрения степени извлечения ценных компонентов [3]. В ходе промышленной эксплуатации разработанной схемы и технологического режима было установлено, что тонкие классы фосфатных минералов обладают пониженной флотуемостью, и, в случае существенного увеличения массовой доли шламовых классов, показатели флотации заметно снижаются: извлечение апатита падает на 2,5–5% при

уменьшении массовой доли пятиоксида фосфора в концентрате на 1,5–3% [4].

Морфологический анализ классов крупности песков мелкозернистой части техногенного месторождения показывает значительную массовую долю сростков апатита с породными минералами в классах +0,16 мм (от 6 до 21%) и поверхностно-измененных зерен апатита (от 5 до 18%). Массовая доля поверхностно измененных зерен варьируется в пределах до 18% и возрастает на отметках 260 и 284 м. Анализ фракционного состава хвостов апатитовой флотации показывает, что потери апатита связаны преимущественно с поверхностно измененными зернами (58,2%) и сростками с породными минералами (17,4%).

Поверхностные пленки покрывают до половины поверхности зерна, содержат карбонаты кальция, окислы и гидроокислы железа +3, образовавшиеся в процессе гипергенных преобразований под воздействием продуктов окисления и растворения неустойчивых минералов. На поверхности зерен апатита присутствуют адгезионно закрепившиеся шламовые классы, которые по химическому составу соответствуют минеральному составу исходных песков.

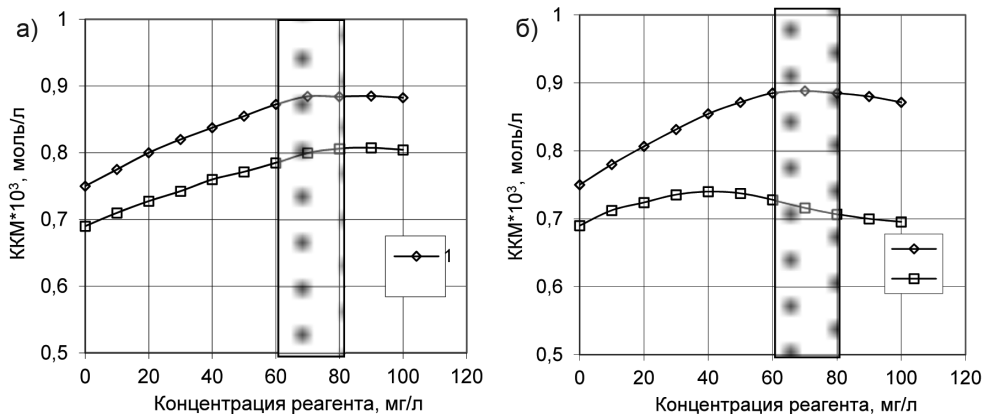
Для повышения эффективности действия собирателя и восстановления поверхностных свойств флотируемых минералов было предложено применение реагентов серии Неонол: сильных ПАВ – регуляторов коллоидно-дисперсного состояния гетерогенных систем [5].

Неонолами называют оксиэтилированные моноалкилфенолы на основе тримеров пропилена, которые представляют собой техническую смесь полиэтиленгликолевых эфиров моноалкилфенолов следующего состава:



где  $C_9H_{19}$  – алкильный радикал изононил, присоединенный к фенолу преимущественно в параположении к гидроксильной группе;  $n$  – усредненное число молей окиси этилена, присоединенное к одному молю алкилфенолов. Основной целью использования добавок Неонолов является повышение растворимости применяемых жирнокислотных собирателей.

Применяемые при флотации апатита собиратели представляют собой смеси предельных и непредельных жирных кислот. Так, применяемые в качестве собирателя жирные кислоты таллового масла (ЖКТМ), преиму-



**Рис. 1. Зависимость критической концентрации мицеллообразования олеата натрия от расхода реагентов Неонол АФ 9-8 (а) и Неонол АФ 9-10 (б): 1 – при температуре 240С; 2 – при температуре 14 °С; – эффективный интервал концентраций реагентов**

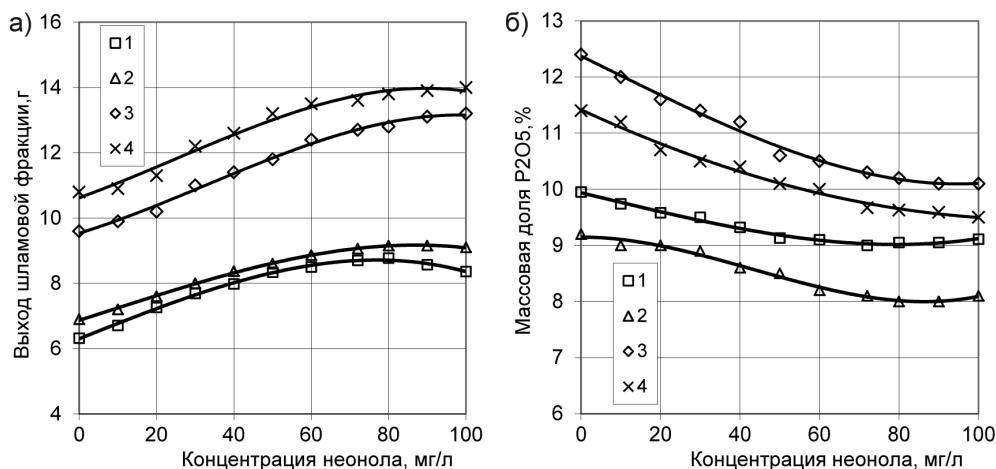
шественно включают непредельные олеиновую ( $C_{17}H_{33}COOH$ ) и линолевою ( $C_{17}H_{31}COOH$ ) кислоты, в сумме 85–90%, и предельные: стеариновую ( $C_{17}H_{35}COOH$ ) и пальмитиновую ( $C_{15}H_{31}COOH$ ) кислоты, в сумме 10–15%. Изучение действия Неонолов на устойчивость коллоидных растворов жирных кислот проводилось на примере олеата натрия.

Результаты исследований (рис. 1) показали, что добавление реагента Неонол АФ 9-8 до концентрации 80 мг/л вызывает при 24 °С увеличение ККМ олеата натрия от  $0,76 \cdot 10^{-3}$  до  $0,89 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Дальнейшее повышение концентрации Неонола АФ 9-8 не ведет к росту ККМ олеата натрия (рис. 1, а). Аналогичная зависимость наблюдается и при температуре 14 °С. При добавлении реагента Неонола АФ 9-9 были получены сходные зависимости. При использовании Неонола АФ 9-10 зависимость ККМ олеата натрия от концентрации реагента при 24 °С носит схожий характер и характеризуется наличием максимума растворимости при концентрациях от 65 до 80 мг/л (рис. 1, б). При темпе-

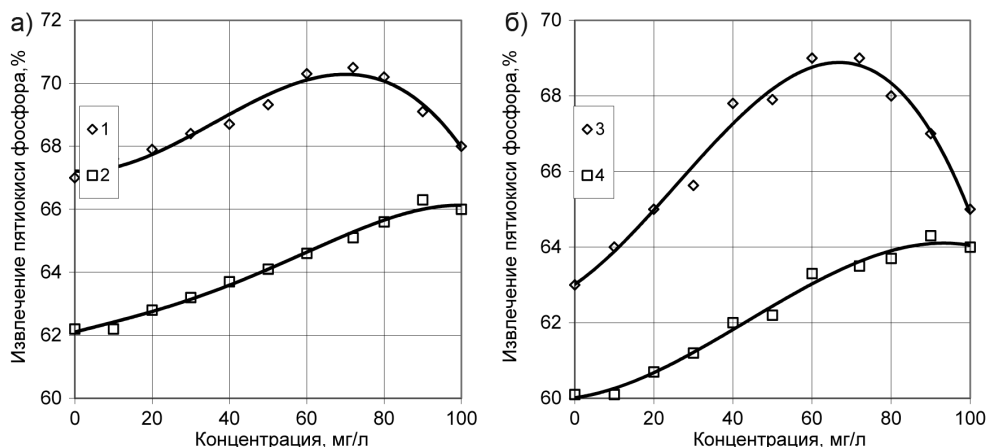
ратуре 14 °С диспергирующая способность Неонола АФ 9-10 существенно меньше (рис. 1, б), что предопределяет его меньшую эффективность при пониженных температурах.

Другим механизмом регулирования флотуемости является удаление шламовых классов с поверхности зерен апатита и других фосфатных минералов [6, 7]. Изменение поверхностных свойств крупных зерен апатита является причиной потерь минерала с хвостами флотации. Одновременно неселективная флокуляция шламовых классов апатита и породных минералов обуславливает потери фосфатных минералов и снижение качества апатитового концентрата [8].

Параметрами, характеризующими агрегативную устойчивость шламовых классов пульпы, являются выход и состав твердой фазы в условно осветленной части суспензии, из которой осели средние и крупные зерна (+1 – 20 мкм). Измерение устойчивости суспензии проводили методом шламового анализа в непроточном цилиндре. Особенность методики заключалась в том, что разделение песков и сли-



**Рис. 2. Влияние расхода реагента «Неонол АФ 9-8 на выход диспергированных шламовых классов (а) и на массовую долю P2O5 в шламовых классах (б):** 1, 2 – при обесшламливании тонкозернистых хвостов; 3, 4 – при обесшламливании сильношламованных хвостов; 1, 3 – при расходе ССБ 300 мг/л; 2, 4 – при расходе ССБ 500 мг/л



**Рис. 3. Зависимости извлечения  $P_2O_5$  в концентрат от концентрации неонла при температуре 24 °С (а) и 14 °С (б): 1, 3 – для тонкозернистых хвостов; 2, 4 – для сильноошламованных хвостов**

ва производилось на фиксированном уровне, заведомо находившимся ниже видимой границы осадок – осветленный слой.

Анализ результатов экспериментов, приведенных на рис. 2, показывает, что добавление Неонла АФ 9-8 при концентрации от 60 до 80 мг/л в присутствии сульфит-спиртовой барды ведет к стабилизации шламовых классов породных минералов и снижению их массовой доли в песковой фракции.

Результаты исследований позволили рекомендовать реагенты Неонол АФ 9-8, Неонол АФ 9-9, Неонол АФ 9-10, при расходах от 60 до 85 мг/л для стабилизации шламовых фракций для тонкозернистых и сильноошламованных хвостов с применением сульфит-спиртовой барды.

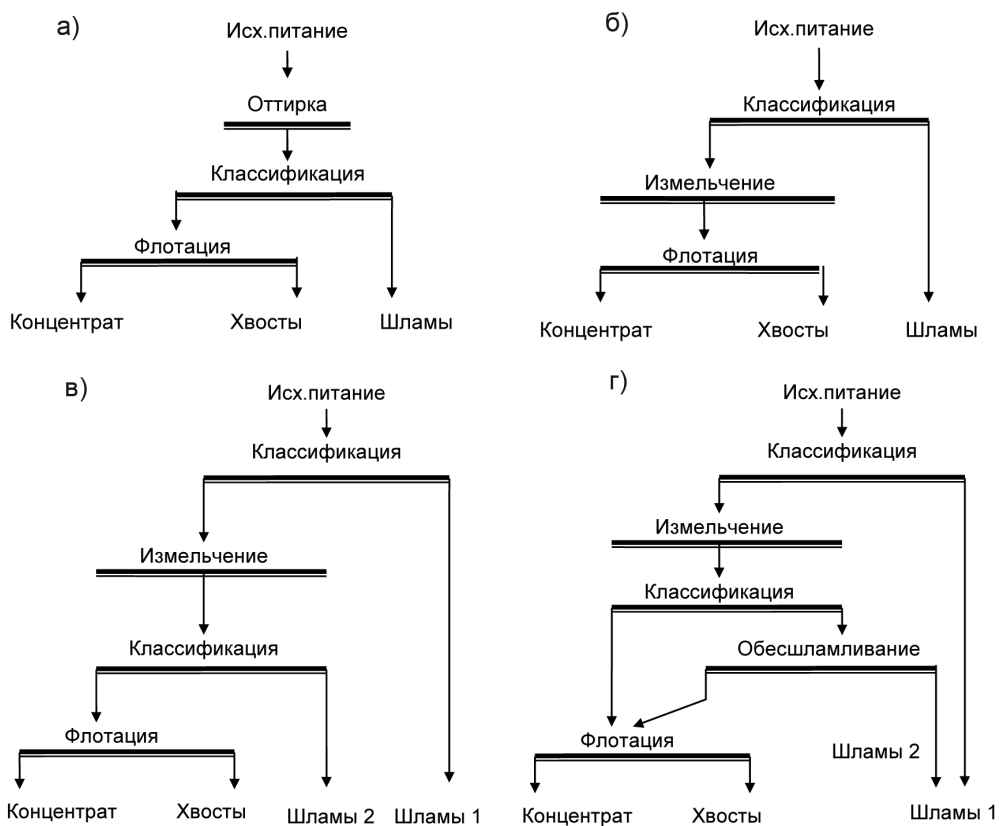
Заключительной частью эксперимента являлось изучение флотуемости фосфатных минералов в условиях добавок реагента-регулятора. Исследования флотации апатита из пробы хвостов при варьировании расходов неонла показали следующее. При температуре 24 °С максимум извлечения апатита в концентрат (70–71%) достигается при концентрации реагента Неонол АФ 9-8 от 70 до 80 мг/л

(рис. 3, а). При температуре 14 °С максимум извлечения апатита в концентрат (67,1–68,8%) достигается при концентрации реагента Неонол АФ 9-8 от 67 до 75 мг/л (рис. 3, б). При флотации сильноошламованных хвостов максимум извлечения в концентрат пятиокси фосфора достигается при больших концентрациях неонла.

Для восстановления поверхностных свойств апатита, который находился длительное время в химически активной среде и подвергся гипергенным изменениям, необходима активация. Первоначальная подготовка песков к флотации предполагает сочетание операций механической активации и отмывки песков с выводом из процесса обедненных апатитом тонкодисперсных шламов, представленных преимущественно глинистыми фракциями.

Были испытаны различные методы подготовки тонких классов хвостов перед флотацией: оттирка, совмещенная с отмывкой в разбавленных и плотных пульпах, доизмельчение с предварительной и поверочной классификацией, с дополнительным обесшламливанием (рис. 4).

Оттирка проводилась в активаторе импеллерного типа. Измельчение



**Рис. 4. Схемы подготовки хвостов к флотации: а) с применением операции оттирки; б), в) с применением операции доизмельчения; г) с двухстадийным обесшламливанием**

проводилось в лабораторной мельнице при соотношении Т:Ж = 1:0,6. Содержание  $P_2O_5$  в исходном питании составляло 10,2%. Флотация проводилась в механических флотомашинах по схеме с основной, контрольной и переричистой операциями с применением следующих реагентов: сода – 1000 г/т; ССБ – 250 г/т; ЖКТМ – 200 г/т; Неонол – 75 г/т; М-246 – 50 г/т.

Сравнение результатов экспериментов показало, что наилучшим решением, позволяющим восстановить флотирруемость зерен апатита, является схема, предполагающая первичное обесшламливание, измельчение, вторичное обесшламливание (рис. 4, г, таблица). Использование операции пред-

варительного измельчения хвостов в шаровой мельнице позволило достичь раскрытия сростков апатита с породными минералами и разрушить адгезионные шламовые пленки на поверхности минералов. В результате удалось обеспечить оптимальные условия подготовки питания флотации и повысить контрастность поверхностных свойств разделяемых минералов.

Анализ зависимости извлечения апатита в концентрат от выхода минерального класса в операции вторичного обесшламливания показал, что обоснованной степенью обесшламливания следует считать выход шламов из доизмельченного продукта от 8 до 12%. Уменьшение выхода твердого в сливе

**Показатели сравнительных опытов по подготовке и флотации проб лежалых хвостов**

№	Параметры	Схемы			
		а	б	в	г
1	Содерж. $P_2O_5$ в питании флотации	12,2	12,18	12,26	12,20
2	Содерж. $P_2O_5$ в концентрате флотации	33,5	35,2	38,15	37,82
3	Извлеч. $P_2O_5$ в питании флотации	85,4	85,12	82,4	84,4
4	Извлеч. $P_2O_5$ в конц. флотации (от операц.)	62,2	65,6	77,2	76,5
5	Потери со сливами вторич. обесшл.	–	–	8,2	6,2
4	Извлеч. $P_2O_5$ в конц. флотации (от питания)	52,9	55,8	57,4	58,9

обесшламливания питания флотации менее 8% ведет к снижению технологических показателей – увеличению суммарных потерь фосфатов с 45 до 47,2%. Увеличение выхода твердого в сливе обесшламливания от 12 до 20% приводит к увеличению суммарных потерь  $P_2O_5$  до 48,5%.

Однако при высокой массовой доле шламов в исходном питании выбранная схема и технологический режим не позволяют получить желаемых результатов. Причиной снижения извлечения пятиоксида фосфора и снижения качества апатитового концентрата является высокая вязкость пульпы, не позволяющая вести процесс обесшламливания. Одновременно, значительная часть потерь была обусловлена высокой массовой долей пятиоксида фосфора (до 15%) в сбрасываемых вторичных шламах.

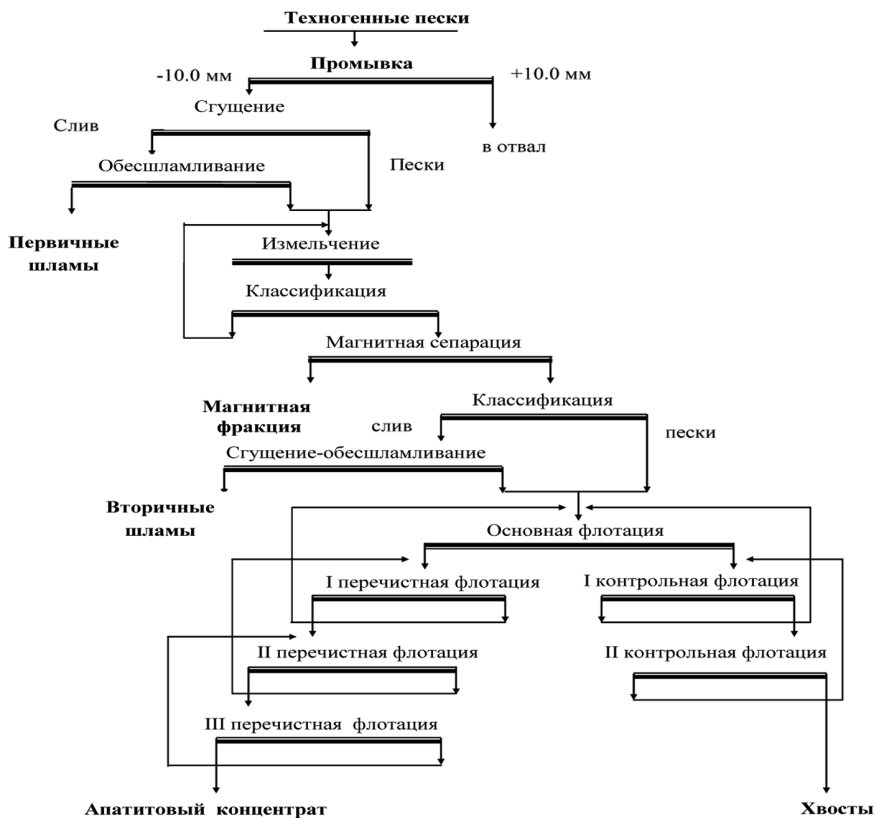
Одним из путей повышения извлечения фосфатных минералов из тонких классов складированных хвостов является повышение эффективности классификации, способствующее возврату класса промежуточной крупности (+1 -10 мкм) во флотацию. Для повышения эффективности классификации целесообразно использовать многостадийные схемы, а также применить процесс сгущения с использованием флокулянтов. Операция сгущения необходима для получения и

возврата в процесс флотации осадка требуемой плотности (40–45% тв.).

Были испытаны две схемы, в которых ставилась задача получения питания флотации заданной плотности при минимальных потерях пятиоксида фосфора с вторичными шламами. Согласно первой схеме проводились последовательно операции классификации в гидроциклоне и сгущения-обесшламливания. По второй схеме последовательность операций была обратной.

Результаты исследований показали, что обе схемы позволяют получить приемлемые результаты, однако при использовании первой схемы наблюдается повышенный расход флокулянта.

В дальнейшем для сильноошламованных руд была исследована схема с последовательными операциями классификации и сгущения-обесшламливания с использованием добавок флокулянтов для интенсификации процесса сгущения. Согласно выбранной схеме опыта слив измельчения поступал на операцию классификации в гидроциклон, где отделялась песковая фракция. Слив гидроциклона направлялся в радиальный сгуститель, где с использованием флокулянтов получали сгущенный продукт высокой плотности и обедненный пятиокисью фосфора слив, в котором концентрировались шламы породных минералов. Данная схема характеризуется снижением



**Рис. 5. Схема обогащения складированных хвостов Ковдорского ГОКа**

потеря пятиоксида фосфора на 1,5% и одновременным снижением качества флотационного концентрата на 0,33%.

Опытно-промышленные испытания по обогащению лежалых хвостов проводились на укрупненной флотационной установке ОАО «Ковдорский ГОК» и в дальнейшем были скорректированы в процессе запуска участка по промышленной переработке. Конечная Технологическая схема принципиально соответствовала изображенной на рис. 5 схеме обогащения, реализованной на опытной установке.

Исходные пески измельчались в шаровой мельнице, работающей в замкнутом цикле с гидроциклоном. Стадия измельчения предусматривает раскрытие минеральных зерен апатита, об-

новление поверхности с минимальной степенью переизмельчения полезного компонента. В схеме (рис. 5) предусмотрена двухстадийная магнитная сепарация слива гидроциклона, позволяющая выделить магнетитовый продукт с содержанием железа 61,0–62,0%. При укрупненных лабораторных испытаниях немагнитная фракция сгущалась последовательно в гидроциклоне и полочном сгустителе, с выводом вторичных шламов, выход которых составил в период испытаний от 8 до 14%.

Сгущенный продукт с плотностью 45–50% твердого направлялся на флотацию. Содержание класса  $-0,071$  мм в питании флотации составляло от 55 до 62%, массовая доля  $P_2O_5$  – 10,5–12,0%.

Схема флотации включала операции кондиционирования пульпы в контактных чанах, основной, контрольной и перечистой флотации с направлением камерных продуктов перечисток в камеры предыдущих операций. Ведение процесса на опытной установке позволяло менять параметры процесса флотации в широких диапазонах. В качестве флотационных реагентов использовались: жирнокислотная фракция таллового масла (ЖКТМ), регулятор пенообразования М-246, регулятор среды – кальцинированная сода, депрессор породных минералов – сульфит-спиртовая барда (ССБ), и регулятор коллоидно-дисперсного состояния Неонол 9-8. Выбор рационального реагентного режима был осуществлен путем статистической обработки результатов опробования технологического процесса в условиях варьирования основных параметров процессов измельчения, классификации и флотации. В результате построения

и анализа зависимостей показателей процесса от его параметров были выбраны рациональные интервалы расходов реагентов: ЖКТМ – 300–350 г/т; кальцинированной соды – 360–400 г/т; Неонола 9-8 – 70–90 г/т; ССБ – 300–360 г/т. При повышении массовой доли шламовых классов и содержания в них пятиоксида фосфора рекомендовалось увеличение расхода ССБ и неонла на 10–15% и добавление в процесс сгущения-обесламливания флокулянта.

При промышленном использовании разработанной технологии обогащения в период отработки техногенного месторождения лежалых хвостов было достигнуто существенное повышение показателей обогащения. За счет применения нового реагентного режима обогащения было обеспечено получение кондиционного апатитового концентрата (38,1%  $P_2O_5$ ) и повышение извлечения пятиоксида фосфора в концентрат на 1,7%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников Н.Н., Ганза Н.А., Митрофанова Г.В., Петров А.А. Сохранение и освоение техногенных месторождений горно-промышленного комплекса для расширения минерально-сырьевой базы региона // Обогащение руд. – 2010. – № 9. – С. 88–92.

2. Лыгач В.Н., Лядыгина 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. – 2007. – № 5. – С. 384–388.

3. Белобородов В.И., Захарова И.Б., Андронов Г.П., Филимонова Н.М., Бармин И.С. Опыт обогащения техногенного фосфорсодержащего сырья в ОАО «Ковдорский ГОК» // Горный журнал. – 2010. – № 9.

4. Бармин И.С., Сединин В.Ф., Белобородов В.И. Повышение эффективности извлечения апатита из техногенного месторождения отвалных хвостов Ковдорского ГОКа / Материалы международной конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». – Екатеринбург

(13–17 апреля 2011 г.). – Екатеринбург, 2011. – С. 155–158.

5. Бармин И.С., Белобородов В.И., Сединин Д.Ф. Повышение эффективности флотации апатита с применением оксизтирированных моноалкилфенолов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 4. – С. 130–132.

6. Классен В.И., Розанова О.А. Влияние тонких шламов и жидкого стекла на флотацию апатита // Химическая промышленность. – 1953. – № 8. – С. 10–12.

7. Брыляков Ю.Е., Шишкин С.П., Кострова М.А. Влияние диспергирующих свойств реагентов на флотацию апатита в условиях обратного водоснабжения / V Конгресс обогатителей стран СНГ: Сборник материалов. Т. 3 – М.: МИСиС, 2005.

8. Туголуков А.В., Бармин И.С., Морозов В.В., Поливанская В.В. Исследование и оптимизация процесса флотационного обогащения апатит-штаффелитовой руды Ковдорского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 4. – С. 165–169. **ИИАС**



Туголуков Александр Владимирович – кандидат технических наук, технический директор, ОАО «Еврохим»,  
Бармин Игорь Семенович – кандидат технических наук, главный обогатитель, ОАО «Еврохим»,  
Белобородов Виктор Иннокентьевич – кандидат технических наук, главный научный сотрудник, Горный институт (Гои) КНЦ РАН,  
Поливанская Валерия Владимировна – аспирант, НИТУ «МИСиС».

---

UDC 622.765.4

### INCREASE OF EFFICIENCY OF CONCENTRATION STOCKPILED FINE-GRAINED TAILS OF GOK KOVDOR

Tugolukov A.V.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Technical Director,  
Barmin I.S.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Chief Dresser,  
Beloborodov V.I., Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher,  
Mining Institute of Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences,  
184209, Apatity, Russia, e-mail: root@goi.kolasc.net.ru,  
Polivanskaya V.V., Graduate Student,  
National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia,  
<sup>1</sup> JSC «EuroChem», Moscow, Russia.

---

*The article presents the results of research on improving reagent regime and scheme of enrichment tailings stockpile of Kovdor concentrator. The results of the research of activities of strong organic surfactant on solubility of colloidal form fatty acid collector and aggregate stability of fine minerals in the process of thickening and flotation. It was shown that the addition of an organic surfactant Neonol provides increasing of recovery of phosphate minerals in flotation by increasing the solubility of the collector and by stabilizing slurry classes. The flowsheet and reagent regime for enrichment of fine-grained tailings stockpiled was developed, which providing production of standard apatite concentrate and increasing the recovery of valuable components.*

*Key words: store tails, apatite, thickening, flotation, fatty acid collectors, micelles, sludge, aggregate stability, neonol.*

### REFERENCES

1. Mel'nikov N.N., Ganza N.A., Mitrofanova G.V., Petrov A.A. *Obogashchenie rud*. 2010, no 9, pp. 88–92.
2. Lygach V.N., Ladygina G.V., Samorukova V.D., Kos'mina A.N., Barmin I.S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2007, no 5, pp. 384–388.
3. Beloborodov V.I., Zakharova I.B., Andronov G.P., Filimonova N.M., Barmin I.S. *Gornyy zhurnal*. 2010, no 9.
4. Barmin I.S., Sedinin V.F., Beloborodov V.I. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii «Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syr'ya»*. Ekaterinburg (13–17 aprelya 2011 g.) (Proceedings of International Conference on Science and Practice of Ore and Technogenic Materials Processing. Ekaterinburg, April 13–17, 2011), Ekaterinburg, 2011, pp. 155–158.
5. Barmin I.S., Beloborodov V.I., Sedinin D.F. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 4, pp. 130–132.
6. Klassen V.I., Rozanova O.A. *Khimicheskaya promyshlennost'*. 1953, no 8, pp. 10–12.
7. Brylyakov Yu.E. Shishkin S.P., Kostrova M.A. *V Kongress obogatiteley stran SNG: Sbornik materialov*. T. 3 (CIS Dressers' Congress V: Proceedings, vol. 3), Moscow, MISiS, 2005.
8. Tugolukov A.V., Barmin I.S., Morozov V.V., Polivanskaya V.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 4, pp. 165–169.

