

А.В. Туголуков, И.С. Бармин, В.В. Морозов, В.В. Поливанская
ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ
ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ТОНКИХ КЛАССОВ
АПАТИТ-ШТАФФЕЛИТОВЫХ РУД

Исследованы закономерности флокуляции в процессах сгущения и селективной флотации апатитсодержащих и установлен характер влияния флотационных реагентов на процесс флокуляции. Показано, что в динамическом режиме сгущения шламового продукта апатит-штаффелитовых руд наиболее эффективными оказались флокулянты Праестол 2530 и Праестол 2540. Показано, что из используемых реагентов стабилизирующими свойствами по отношению к шламам обладает жидкое стекло и кальцинированная сода. Неонол и олеиновая кислота обладают коагулирующим или флокулирующим эффектом. Испытан новый режим, флотации, предполагающий первичное кондиционирование перед подачей пульпы во флотацию с реагентами диспергаторами и последующее кондиционирование с реагентами, обладающими коагулирующим действием. (ЖКТМ, неонол). При использовании процессов сгущения шламовой фракции с использованием флокулянта «Праестол 2530» и стадийного кондиционирования шламов были получены концентраты с содержанием до 38,1% P_2O_5 при извлечении P_2O_5 до 71,9%.

Ключевые слова: апатитсодержащие руды, шламы, сгущение, флокуляция, диспергирование, флотация, флотореагенты.

Задача эффективного обогащения тонких классов апатитовых руд может быть решена путем выбора технологических режимов и схем сгущения и селективной флотации, а также выбора эффективных реагентов, обеспечивающих интенсивное сгущение шламовых фракций и не оказывающих отрицательного влияния на последующий процесс флотации [1]. Решение поставленной задачи потребовало исследований основных закономерностей флокуляции и дефлокуляции в процессах сгущения и селективной флотации апатитсодержащих руд [2].

Было показано, что причинами увеличения потерь пятиоксида фосфора и снижения качества концентрата при флотационном обогащении склонных к ошламованию апатит-штаффелитовых руд является увеличение массовой доли труднообогатяемых тонких

классов крупности (-5 мкм) минералов в измельченной руде, теряемых в процессах сгущения шламовых продуктов и их последующей флотации [3].

Было показано, что при применении флокулянтов серии «Праестол» с содержанием ионогенных звеньев от 17 до 27% достигаются хорошие показатели по извлечению пятиоксида фосфора (80–85%) и качеству флотационного фосфатного концентрата (36–38%). Полученные результаты позволили разработать технологический режим и схему обогащения апатит-штаффелитовых руд, (АШР) включающую предварительную дешламацию, измельчение, разделение на песковую и шламовую части, сгущение шламов, совмещенную флотацию пескового и сгущенного шламового продуктов [4].

Однако опыт эксплуатации разработанного технологического режима показал, что часто наблюдаются повы-

Таблица 1

Показатели флотационного обогащения железно-апатитовых руд (после магнитной сепарации) и измельченных апатит-штаффелитовых руд (АШР) по различным схемам

№	Исходное сырье	Схема измельчения и флотации	Исходное содержание P_2O_5 , %	Содержание P_2O_5 в к-те, %	Извлечение P_2O_5 в к-т, %
1	Хвосты магнитной сепарации железно-апатитовых руд	с обесшламливанием измельченной руды	12,4	38,8	72,6
2	Апатит-штаффелит. руды (каменистые и рыхлые в соотн. 1:2)	без обесшламливания измельченной руды	18,3	27,4	80,5
3		с обесшламливанием измельченной руды	18,4	37,6	72,0

шенные потери пятиокси фосфора со сливами сгущения или снижение качества апатитового концентрата. Такие результаты обусловлены статичностью режима, не учитывающего изменение свойств перерабатываемой руды.

Апатит из железно-апатитовых руд и каменных АШР характеризуется схожей флотируемостью. Апатит рыхлых апатит-штаффелитовых руд извлекается на 4–5% хуже, чем из массивных руд. Штаффелит обладает пониженной относительно апатита флотируемостью (на 3–5%), при этом мелкие классы штаффелита из рыхлых апатит-штаффелитовых руд флотируются хуже (на 4–5%), чем соответствующие классы массивных руд. Это обусловлено в первую очередь тем, что апатит и штаффелит рыхлых АШР в наибольшей степени структурно нарушены и поверхностно ожелезнены вследствие прошедших гипергенных процессов [5].

Анализ результатов флотационных опытов показывает, что флотация необесшламленных АШР характеризуется не только невысоким извлечением пятиокси фосфора, приближающимся к извлечению при последовательном сбросе в хвосты вторичных шламов и флотации зернистой фракции (табл. 1), но и весьма низким качеством апатитового концентрата, не соответ-

ствующего имеющимся требованиям (не менее 37% по P_2O_5).

Фракционный анализ хвостов флотации необесшламленных АШР показал, что значительная часть потерь (до 25%) связана с классом крупности +20–160 мкм. Основными причинами потерь зернистой фракции фосфатных минералов являются высокое поглощение реагентов шламовыми классами, снижение флотируемости зернистой фракции вследствие закрепления шламов на поверхности, низкая плотность пульпы и ее значительная вязкость. Полученные результаты послужили основанием для выбора схемы обогащения апатит-штаффелитовых руд, предусматривающей проведение операции разделения измельченной руды на песковую и шламовую часть.

Эффективное обогащение тонких классов с использованием процесса флотации возможно с использованием предварительного сгущения пульпы до плотности 35–45% твердого [6, 7]. Такая операция позволяет повысить скорость флотации и сократить расход реагентов.

Первая серия опытов была поставлена на анионных флокулянтов на основе ПАА «Праестол» и «Магнафлок» с различной степенью ионогенности, общая формула которых приведена на рис. 1.

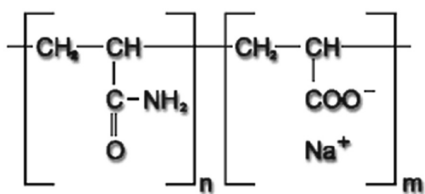


Рис. 1. Молекулярная структура анионного полиакриламида



Рис. 2. Последовательность операций комбинированного опыта по сгущению и флотации шламов

При использовании анионных полиакриламидов наблюдается эффект устойчивого повторения эффекта флокуляции, в т.ч. при разбавлении исходной пробы, что обусловлено интенсивным образованием крепких мостиковых связей между частицами и образованию устойчивых агрегатов.

Такие агрегаты образуются и в последующем процессе флотации. В этом случае процесс флокуляции (вторичной) является нежелательным, поскольку он ведет к неселективному выносу зерен породных минералов в пенный слой, а фосфатных минералов – во флотационные хвосты.

Для исследования закономерностей вторичной флокуляции поставленные опыты предполагали контроль параметров повторного осаждения репульпированного и взмученного сгущенного шламового продукта при добавлении в жидкую фазу набора флотационных реагентов. Одновременно используемая методика предполагала флотацию осажденного шламового продукта и контроль продуктов флотации (рис. 2).

Для исследования процессов сгущения шламов применялась лабораторная установка с механическим перемешиванием и последующим отстаиванием пульпы в 6 стаканах, позволяющая определить параметры процесса осаждения шламовых продуктов, в т.ч. высоты осветленной зоны и скорости осаждения твердого (по границе осветленной зоны). После разделения исходного питания и декантации слива определялись параметры процесса сгущения при заданном времени осаждения.

Результаты опытов по сгущению шламовых классов апатит-штаффелитовых руд показали следующее. В контрольном опыте (без применения флокулянтов) осаждение протекает с низкой скоростью, практически не изменяющейся в течение первых десяти минут

Таблица 2

Расходы реагентов при флотации шламового класса АШР

№	Параметры процесса	Расход реагента, г/т руды
1	ЖКТМ	430
2	Жидкое стекло,	655
3	Кальцинированная сода	780
5	М-246	250

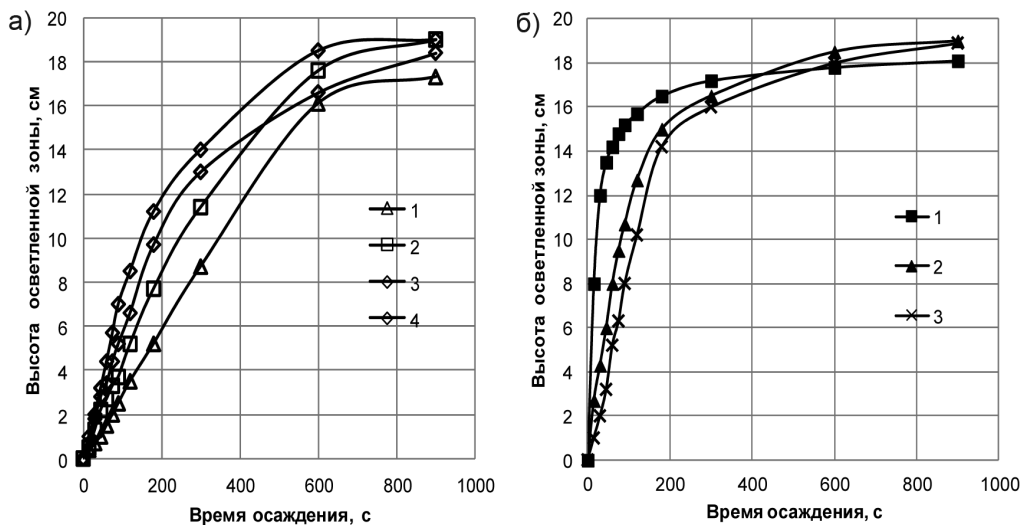


Рис. 3. Седиментационные кривые при сгущении шламов АШР в различных режимах: а): 1 – осаднение исходных шламов (без флокулянта); 2 – вторичное осаднение шламов (без реагентов); 3 – первичное осаднение шламов в присутствии флокулянта и флотационных реагентов; 4 – вторичное осаднение в присутствии флотореагентов; б): 1 – первичное осаднение шламов с добавлением флокулянта; 2 – вторичное осаднение шламов в присутствии флокулянта; 3 – вторичное осаднение шламов в присутствии флокулянта и флотационных реагентов

опыта (рис. 3, а, кривая 1). Вторичная седиментационная кривая (рис. 3, а, кривая 2) отличается от кривой первичной большей (на 40–55%) скоростью осаднения. Увеличение скорости седиментации после удаления слива и репульпации пробы, по-видимому, обусловлено снижением вязкости суспензии из-за удаления наиболее тонкодисперсных классов.

Добавление в жидкую фазу при первичной и вторичной седиментации набора флотационных реагентов при типовых расходах увеличивает скорость осаднения в обоих процессах на 9–15% (рис. 3, а, кривые 3, 4).

При использовании анионного флокулянта Праестол 2530 скорость осаднения возрастает в 3,5–4 раза. Скорость осаднения при вторичной седиментации меньше (на 50–60%), чем при первичной (рис. 3, б, кривая 2). Также установлено, что применяемые флотационные реагенты оказывают стабилизирующее действие на шламы,

осажденные с использованием анионного флокулянта, о чем говорит уменьшение скорости осаднения (рис. 3 б, кривая 3).

На стадии сгущения шламовых классов апатит-штаффелитовых руд стояла задача выбора наиболее эффективного флокулянта. В качестве критерия эффективности сгущения использовали показатель флокуляции D , рассчитываемый по уравнению [1]:

$$D = \frac{V_{\text{осаж}}^{\text{фл}} - V_{\text{осаж}}^{\text{о}}}{V_{\text{осаж}}^{\text{о}}} = \frac{h_{\text{осв}}^{\text{фл}} - h_{\text{осв}}^{\text{о}}}{h_{\text{осв}}^{\text{о}}},$$

где $V_{\text{осаж}}^{\text{фл}}$, $V_{\text{осаж}}^{\text{о}}$ – скорость осаднения твердого при использовании флокулянта и в контрольном опыте; $h_{\text{осв}}^{\text{фл}}$, $h_{\text{осв}}^{\text{о}}$ – высота осветленного слоя жидкости при использовании флокулянта и в контрольном опыте (при заданном времени осаднения).

Оценка интенсивности вторичной флокуляции проводилась путем соотношения показателей флокуляции D при

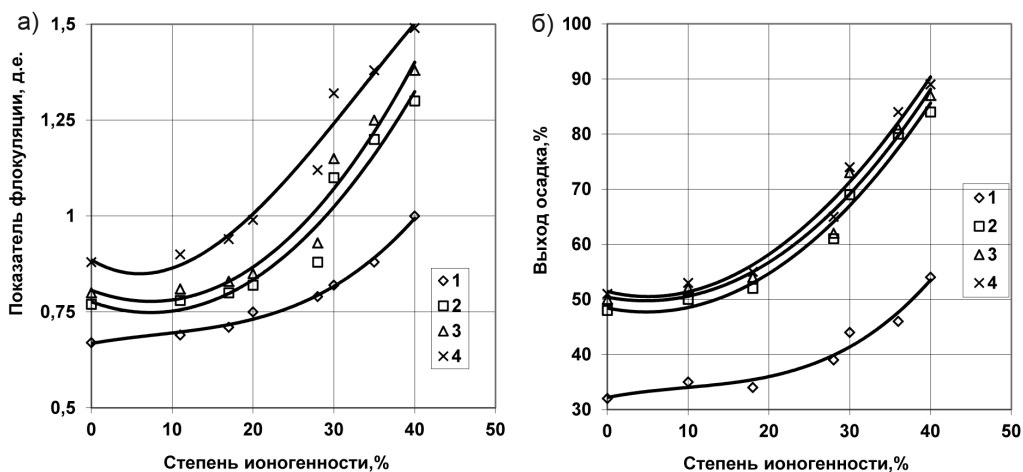


Рис. 4. Зависимости показателя флокуляции (а) и выхода вторично-сфлокулированного осадка (б) при сгущении шламовой фракции от ионогенности флокулянтов на основе ПАА: 1 – при расходе флокулянта 10 г/т; 2 – при расходе флокулянта 15 г/т; 3 – при расходе флокулянта 20 г/т; 4 – при расходе флокулянта 25 г/т

повторной седиментации суспензий. Показатель флокуляции рассчитывался для интервала 0–4 мин. В качестве дополнительного критерия интенсивности вторичной флокуляции использовался выход вторично-сфлокулированного осадка при продолжительности осаждения 4 мин.

Обработка результатов экспериментов показала, что при повышении степени ионогенности флокулянта склонность шламов к вторичной флокуляции возрастает, причем при превышении значения в 28% происходит резкий рост выхода повторно сфлокулированного осадка (рис. 4, б).

Также результаты предварительных исследований показали, что в динамическом режиме осаждения наиболее эффективными оказались флокулян-

ты анионного типа Праестол 2530 и Праестол 2540, формула и основные характериститки которых приведены в табл. 1.

Результаты лабораторных исследований показали высокую скорость осаждения твердого при расходе флокулянтов анионного типа Праестол 2530 и Праестол 2540. Зависимости показателя флокуляции D от расхода флокулянтов носят экстремальный характер. Максимум значения показателя флокуляции достигается при расходе реагентов 15–25 г/т шлама (рис. 5, кривые 1, 2).

При использовании этих флокулянтов удалось получить сгущенный материал заданной плотности (до 40% тв.). Полученные результаты позволили рекомендовать флокулянты

Таблица 1

Характеристики анионных флокулянтов

№	Полимер	Молекулярная масса, млн	Динам. вязкость, мПа·с	Содержание в сополимере звеньев, мол. %	
				акриламида	акрилата натрия
4	Праестол 2530	14	>200	80	20
5	Праестол 2540	14	>200	72	28

Праестол 2530 и Праестол 2540 для сгущения шламового продукта АШР.

Одновременно следует отметить, что интенсивность вторичной флокуляции продолжает возрастать при увеличении расхода флокулянта во всем исследованном диапазоне расходов (рис. 5, кривые 3, 4). Этот факт указывает, что передозировка флокулянта крайне нежелательна, поскольку не только не приведет к улучшению показателей процесса сгущения шламового продукта, но и вызовет снижение показателей последующего процесса флотации.

Действительно, результаты флотационных опытов на сгущенной пробе шламового продукта показали, что зависимости извлечения пятиоксида фосфора во флотационный концентрат от расхода флокулянта в операции сгущения носят экстремальный характер и характеризуются достижением максимума извлечения при расходе флокулянта 15 – 20 г/т. При расходе 25 г/т, как и предполагалось, наблюдается устойчивое снижение качества апатитового концентрата.

Анализ конечных показателей операций сгущения и флотации шламов показывает, что снижение извлечения

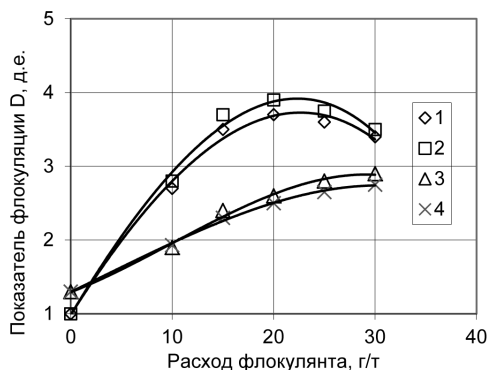


Рис. 5. Зависимость показателя флокуляции D от расхода анионных флокулянтов на основе ПАА: 1, 3 – Праестол 2530; 2, 4 – Праестол 2540 при первичной (1, 2) и вторичной (3, 4) седиментации

пятиоксида фосфора преимущественно обусловлено потерями фосфатов со сливом операции сгущения при низких расходах флокулянта. Снижение массовой доли пятиоксида фосфора в концентрате наблюдается при расходе флокулянта более 20 г/т обусловлено интенсификацией процесса вторичной флокуляции, снижающей показатели флотации (рис. 6).

В таких условиях возникла идея реализовать возможности эффективных флокулянтов путем снижения интен-

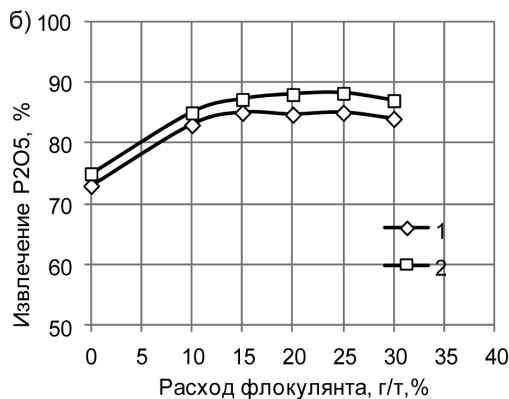
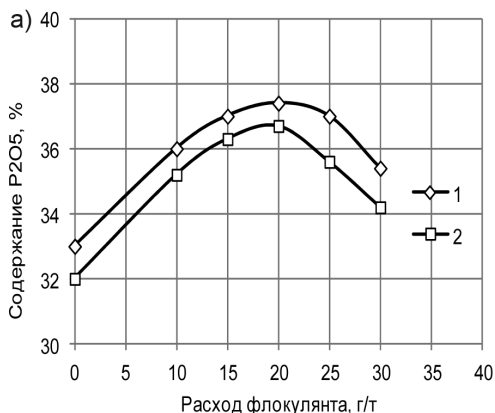


Рис. 6. Зависимости содержания (а) и извлечения (б) P_2O_5 в концентрат при флотации шламового продукта от расхода флокулянтов в операции сгущения: 1 – Праестол 2530; 2 – Праестол 2540

сивности процесса вторичной флокуляции за счет обеспечения наилучших условий для стабилизации шламов при их взаимодействии с флотационными реагентами. Основанием для такого подхода являлось установленный эффект диспергирующего действия флотационных реагентов на шламовые классы (рис. 3).

На первом этапе исследований были поставлены опыты по оценке влияния отдельных флотореагентов на процесс вторичной флокуляции шламов. Методика эксперимента полностью соответствовала вышеописанной и отличалась лишь порядком подачи реагентов во флотацию. При исследовании процесса вторичной флокуляции в сгущенный и репульпированный осадок подавался один реагент или определенная смесь реагентов.

Результаты экспериментов показали, что из используемых реагентов резкими стабилизирующими свойствами обладает жидкое стекло, кальциниро-

ванная сода (Na_2CO_3) (рис. 7). Неонол и олеиновая кислота обладают слабым коагулирующим или флокулирующим эффектом.

Ставя задачей максимальное разрушение неселективных флокулов, образовавшихся в операции сгущения, целесообразно проводить реагентную обработку стадийно, с разделением стабилизирующих и флокулирующих реагентов. Полученные результаты дали основание испытать новый режим, предполагающий кондиционирование шламов с реагентами в два приема: первичное кондиционирование в специальном аппарате с реагентами диспергаторами (жидким стеклом, кальцинированной содой) и последующее кондиционирование с флотореагентами (ЖКТМ, неонол) перед подачей пульпы во флотацию или непосредственно во флотационной машине.

Лабораторные исследования обогатимости апатит-штаффелитовых руд с применением сочетания процессов сгущения и флотации производились по схеме действующей магнитно-флотационного обогащения, включающей операции дробления, отмывки и классификации руды с удалением первичных шламов; а также измельчение, классификацию, магнитную сепарацию и флотацию руды.

Измельчение отмывтой руды проводилось до крупности от 47,3 до 55,8% класса -74 мкм. Измельченная руда подвергалась мокрой магнитной сепарации в слабом поле по схеме с основной сепарацией и двойной перечисткой магнитной фракции. Немагнитная фракция направлялась на флотацию.

Лабораторные опыты по флотации проводились в открытом цикле, в машинах механического типа при $T:Ж = 1:5$ в основной и в перечистных операциях. После выбора оптимальных ассортимента реагентов и режимных параметров флотацию проводили по схеме замкнутого цикла.

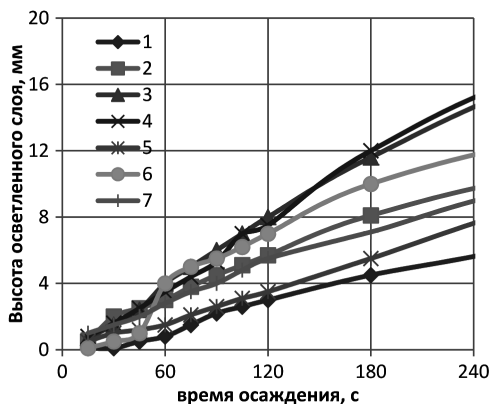


Рис. 7. Седиментационные кривые осадения шламов в режиме вторичной флокуляции с подачей реагентов: 1 – контрольный опыт без флокулянта и без реагентов; 2 – контрольный опыт с флокулянтом (праестол) и без реагентов; 3 – праестол и неонол; 4 праестол и олеат натрия; 5 – праестол и кальцинированная сода; 6 – праестол и жидкое стекло; 7 – праестол + неонол + кальцинированная сода + олеат натрия + жидкое стекло

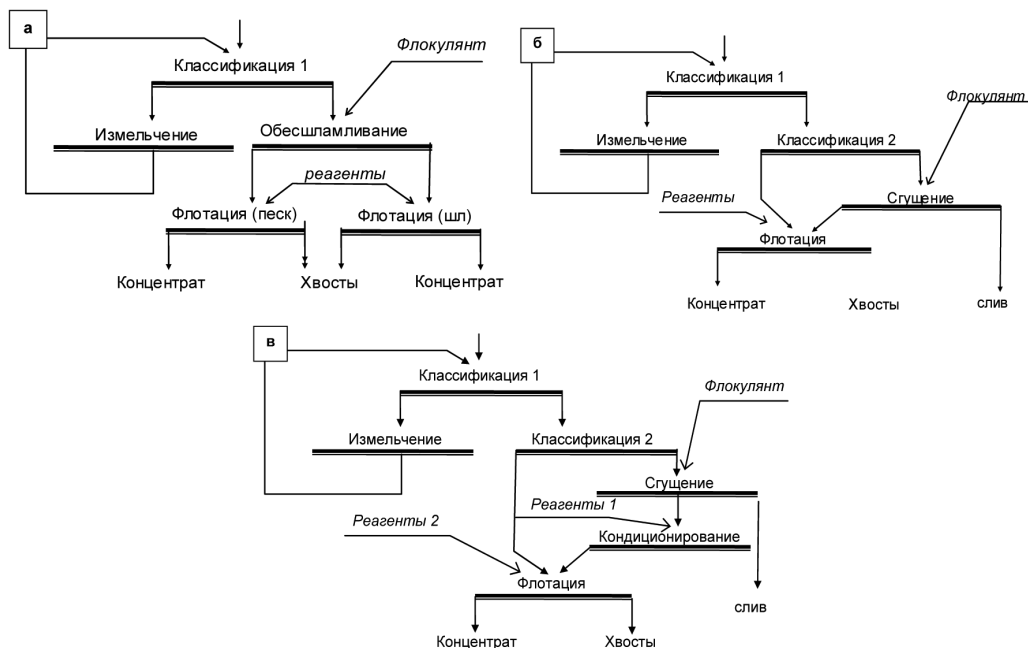


Рис. 8. Принципиальные схемы измельчения и флотации АШР: с отдельной песковой и шламовой флотацией (а); с совмещенной флотацией песков и сгущенного шламового продукта (б)

При проведении замкнутых опытов были испытаны три схемы рудоподготовки и флотации. По первой схеме слив классификации измельченной руды подвергался обесшламливанию, шламовый продукт сгущался с применением реагентов – флокулянтов и направлялся на шламовую флотацию (рис. 8, а). По второй схеме (рис. 8, б) шламовый продукт после сгущения с применением реагентов – флокулянтов направлялся на флотацию вместе с зернистой фракцией измельченной руды (песками классификации). По третьей схеме (рис. 8, в) шламовый продукт после сгущения с применением реагентов – флокулянтов направлялся на кондиционирование и затем на флотацию вместе с зернистой фракцией измельченной руды (песками классификации).

В качестве реагентов-регуляторов среды использовали кальцинированную или каустическую соду. В качестве

депрессора – жидкое стекло. В качестве собирателя применяли омыленную ЖКТМ.

Результаты замкнутых лабораторных флотационных опытов, представленные в табл. 3, показали большую эффективность третьей технологической схемы, которая позволяет получить более богатый концентрат и достичь большего извлечения в него пятиоксида фосфора.

В результате проведенных замкнутых флотационных опытов с применением сочетания процессов сгущения шламовой фракции с использованием флокулянта «Праестол 2530» были получены концентраты с содержанием до 37,6% P_2O_5 при извлечении P_2O_5 до 70,5% (табл. 2). Полученные результаты были выше не только чем для схемы с флотацией песковой фракции и сбросом вторичных шламов, но также выше, чем для опытов с отдель-

Таблица 2

Результаты укрупненных лабораторных исследований по обогащению АШР с применением различных схем

№	Схема измельчения и флотации	Извлечение P_2O_5 в к-т (от операции), %	Содержание P_2O_5 в концентрате, %
1	С раздельной песковой и шламовой флотацией	69,3	36,4
2	С совмещенной флотацией песков и шламов с применением анионного флокулянта «Праестол 2530»	70,5	37,6
3	С совмещенной флотацией песков и шламов (с отдельной операцией кондиционирование шламового продукта, с применением анионного флокулянта «Праестол 2540»)	71,9	38,1

ной флотацией песковой и шламовой фракции, что обосновывает эффективность схемы с совмещенной флотацией песков и шламов.

Результаты испытаний показали, что флотация объединенных песковой и шламовой фракций (сгущенной с использованием разработанного технологического регламента, предусматривающего применение флокулянта «Праестол 2540») с использованием операции кондиционирования шламов (с подачей кальцинированной соды, жидкого стекла) обеспечивает получе-

ние апатитового концентрата, с содержанием 38,1% P_2O_5 при извлечении P_2O_5 до 71,9% (табл. 2).

Полученные результаты оказались выше, чем для ранее применяемого технологического режима и схемы, предусматривающей применение анионного флокулянта «Праестол 2530» в условиях совмещенной флотации песков и сгущенного шламового продукта при стандартном реагентном режиме, что позволило рекомендовать разработанный режим флотации к промышленному освоению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Небера В.П., Флокуляция минеральных суспензий. – М.: Недра, 1983.

2. 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.

3. Туголуков А.В., Бармин И.С., Попович В.Ф., Лыгач В.Н. Исследование технологических свойств разновидностей апатит-штаффелитовых руд Ковдорского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 12. – С. 37–42.

4. Туголуков А.В., Бармин И.С., Новожилова В.В. Брыляков Ю.Е. Исследование

и оптимизация технологии флотационного обогащения руд Ковдорского апатит-штаффелитового месторождения // Горный журнал. – 2012. – № 10. – С. 71–76.

5. Лыгач В.Н., Лальгина 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.

6. Белобородов В.И., Андронов Г.П., Захарова И.Б. Флотация апатит-штаффелитовой руды с использованием технологии селективной флокуляции шламов // Обогащение руд. – 2004. – № 6. – С. 6–9.

7. Туголуков А.В. Комбинирование процессов селективной флотации и флокуляции

для обогащения тонких классов апатит-штаффелитовых руд / «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья».

Материалы международной научно-технической конференции. – Екатеринбург, 2012. – С. 46–49. **ИИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Туголуков Александр Владимирович – кандидат технических наук, технический директор, ОАО «Еврохим»,

Бармин Игорь Семенович, – кандидат технических наук, главный обогатитель, ОАО «Еврохим»,

Морозов Валерий Валентинович – доктор технических наук, профессор, НИТУ «МИСиС»,

Поливанская Валерия Владимировна – аспирант, НИТУ «МИСиС».

UDC 622.765.4

ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF FINE APATITE-SHTAFFELITE ORE FLOTATION

Tugolukov A.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Technical Director,

Barmin I.S.¹, Candidate of Technical Sciences, Chief Dresser,

Morozov V.V.², Doctor of Technical Sciences, Professor,

Polivanskaya V.V.², Graduate Student,

¹ JSC «EuroChem», Moscow, Russia,

² National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

It was investigated the regularities of flocculation in the processes of thickening and selective flotation apatite-bearing ores. It was established character of the influence of flotation reagents on the flocculation process. It is shown that under dynamic conditions the thickening product of slurry apatite-staffelite ores were most effective flocculants Praestol 2530 and Praestol 2540. It was shown that the sodium silicate and soda ash have a stabilizing effect by thickening of sludges. Neonol and oleic acid have a coagulating or flocculating effect. It was tested the new regime flotation, involving an initial conditioning with using of reagent – dispersants before feeding the pulp into the flotation and subsequent conditioning with reagents having a coagulating effect. When using the process of thickening sludge fraction with flocculant «Praestol 2540» and stadial conditioning of sludge were obtained concentrates containing up to 38.1% P₂O₅ at recovery of P₂O₅ to 71.9%.

Key words: apatite-bearing ores, sludge thickening, flocculation, dispersion, flotation, flotation reagents.

REFERENCES

1. Hebera B.P. *Flokulyatsiya mineral'nykh suspenziy* (Flocculation of mineral suspensions), Moscow, Nedra, 1983.
2. Tugolukov A.V., Barmin I.S., Morozov V.V., Polivanskaya V.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 4, pp. 165–169.
3. Tugolukov A.V., Barmin I.S., Popovich V.F., Lygach V.N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 12, pp. 37–42.
4. Tugolukov A.V., Barmin I.S., Novozhilova V.V. Brylyakov Yu.E. *Gornyy zhurnal*. 2012, no 10, pp. 71–76.
5. 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.
6. Beloborodov V.I., Andronov G.P., Zakharova I.B. *Obogashchenie rud*. 2004, no 6, pp. 6–9.
7. Tugolukov A.B. *Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syr'ya. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* (Scientific bases and practice of processing of ore and technogenic raw materials. Proceedings of the international scientific conference), Ekaterinburg, 2012, pp. 46–49.

