

УДК 622.765.061.2

**ИЗУЧЕНИЕ ФЛОТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СОБИРАТЕЛЯ FX-6  
ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ШЕЕЛИТ-СУЛЬФИДНЫХ РУД**

**Л. А. Саматова<sup>1</sup>, Е. Д. Шепета<sup>1</sup>, С. А. Кондратьев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт горного дела ДВО РАН, E-mail: samatova\_luiza@mail.ru,  
ул. Тургенева, 51, 680000, г. Хабаровск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: kondr@misd.nsc.ru,  
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

При изучении флотуемости шеелита с применением реагента FX-6 (производство КНР) экспериментально установлено: по сравнению с олеатом натрия его расход в коллективном цикле должен быть увеличен на 25 % для получения сопоставимых результатов. При ужесточении условий доводки черновых концентратов по депрессору повышенный расход собирателя FX-6 обеспечивает получение конечного концентрата качеством 60.4 % WO<sub>3</sub>, прирост его извлечения на 0.63 % достигается за счет значительного снижения потерь шеелита со шламами. На основании лабораторных опробований реагент FX-6 рекомендован к промышленным испытаниям.

*Шеелит-сульфидные руды, кальциевые минералы, селективные собиратели, флотуемость*

Эффективность флотационного обогащения шеелит-сульфидных руд Приморских месторождений по шеелиту зависит от решения актуальной проблемы — селективного разделения кальциевых минералов, входящих в их состав. В исследованиях по совершенствованию применяемых и разработке новых эффективных технологий переработки кальцийсодержащего сырья одной из важнейших задач является изыскание высокоселективных собирателей и выявление их оптимальных сочетаний [1, 2].

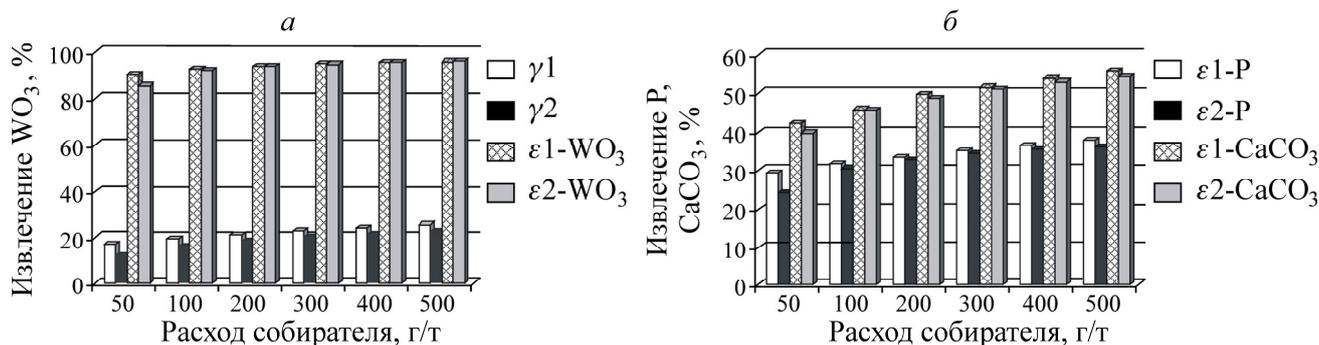
Представлен материал по изучению флотуемости шеелита с применением собирателя FX-6 на труднообогатимой руде с содержанием, %: WO<sub>3</sub> — 0.76–0.85, P — 0.35, CaCO<sub>3</sub> — 7.5–8.4, S — 2.3. Экспериментальные исследования проведены на водопроводной и оборотной воде в открытом и замкнутом циклах в стандартном реагентном режиме Приморской обогатительной фабрики (ПОФ) с использованием для сравнения в качестве собирателя натриевого мыла технической олеиновой кислоты Б-115.

Реагент FX-6 представляет собой густую пастообразную массу (мыло) с активностью 95 %. На первом этапе исследований изучено влияние температуры воды на его растворение в диапазоне 20–85 °С и оптимальной температуры рабочего раствора перед подачей в пульпу. Растворимость реагента оценивалась визуально при кондиционировании 5 %-х рабочих растворов, а эффективность действия — по данным флотационных опытов на растворах, приготовленных в разных условиях растворения.

Температура растворения реагента FX-6, необходимая для приготовления рабочего раствора, составляет 50 °С (ниже на 10 °С относительно варки натриевого мыла на технической кислоте Б-115), дальнейшее снижение до комнатной температуры ухудшает растворимость реагента, раствор мутнеет, отмечается образование мицелл.

Подогрев собирателя перед подачей в пульпу предусмотрен в связи с остыванием раствора при кондиционировании в расходном чане главного корпуса. Дополнительный подогрев способствует повышению прозрачности и текучести раствора из-за разрушения мицелл, образование которых усиливается при хранении растворов реагента, подогрев активизирует процесс ионной сорбции собирателя на минеральной поверхности и обуславливает повышение извлечения шеелита в концентрат [3]. В данной операции снижение температуры подогрева составляет 30 °С.

Анализ флотуемости кальциевых минералов в основной шеелитовой флотации с применением натриевого мыла технической кислоты Б-115 [4] и реагента FX-6 в лабораторных условиях может быть выполнен по данным, представленным на рисунке.



Извлечение шеелита (а), кальцита и апатита (б) в коллективный концентрат в зависимости от типа и расхода собирателей: 1 — собиратель OINa (Россия); 2 — собиратель FX-6 (Китай)

При расходе сравниваемых собирателей в оптимальной зоне (свыше 300 г/т) полученные показатели по извлечению шеелита в концентрат основной шеелитовой флотации практически одинаковы при незначительном снижении выхода черного концентрата и извлечения кальцита и апатита при использовании реагента FX-6.

Следует отметить, что для получения кондиционных конечных шеелитовых концентратов на труднообогатимой руде потребуются ужесточение условий доводки черновых концентратов по депрессору относительно стандартных режимных параметров доводочного цикла:

— на олеате натрия технической кислоты Б-115 (водопроводная вода) остаточная концентрация жидкого стекла в пропарке 3.3 % при его расходе 2.8 кг/т, качество концентрата 48.3 % WO<sub>3</sub>;

— при использовании FX-6 остаточная концентрация жидкого стекла в пропарке 4.2 % при расходе 3.2 кг/т, увеличение расхода депрессора в пропарку составило 0.4 кг/т, качество концентрата 48.7 % WO<sub>3</sub>;

Прирост в извлечении шеелита в конечный концентрат на FX-6 по средним данным экспериментов составил 1.11 %, но полученный при этом концентрат не кондиционный (табл. 1).

Кондиционные концентраты получены на оборотной воде: на олеате натрия технической кислоты Б-115 с содержанием WO<sub>3</sub> 57.3 % при извлечении 85.6 %, на собирателе FX-6 соответственно 56.8 WO<sub>3</sub> и 86.1 %. Прирост извлечения в кондиционный концентрат составил ~0.5 % при суммарном расходе собирателей 330 г/т.

Оценить флотоактивность зерен шеелита разной крупности в операциях флотации позволяет сравнительный анализ гранулометрического состава отвальных хвостов, результаты которого представлены в табл. 2 по серии опытов на оборотной воде.

Полученные данные показывают, что основные потери шеелита при флотации оксигидрильными собирателями по стандартной схеме обогащения шеелитовых руд связаны с частицами тоньше 15 мкм, они составляют 9–10.1 % от руды при общих потерях от руды 13.9–14.4 %

(т. е. 65–70 % от общих потерь). На реагенте FX-6, по сравнению с олеатом Б-115, прирост извлечения триоксида вольфрама обусловлен за счет повышения эффективности флотации тонких классов, снижение потерь шеелита со шламами на 1.02 %. Наряду с этим наблюдалось снижение активности флотации крупных классов, что привело к росту суммарного извлечения только на 0.5 %.

ТАБЛИЦА 1. Показатели обогащения шеелитовой руды на сравниваемых собирателях по средним данным, %

Черновой концентрат		Конечный концентрат	Хвосты WO <sub>3</sub>	Хвосты доводки		Общие приведенные	Извлечение в конечный концентрат
Выход	Содержание			фактические	приведенные		
Олеиновая кислота Б-115 250 + 50 + 30 г/т							
13.24	5.44	48.27	6.38	8.99	9.79	16.17	80.65
Реагент FX-6 250 + 50 + 30 г/т							
10.54	6.57	48.66	7.92	6.47	6.87	14.77	81.76

ТАБЛИЦА 2. Распределение шеелита в отвальных хвостах, %

Класс крупности, мкм	Выход	Содержание WO <sub>3</sub>	Извлечение от		
			операции	руды	класса
Собиратель OINa					
<b>+ 160</b>	<b>1.78</b>	<b>0.12</b>	<b>1.76</b>	<b>0.25</b>	<b>57.6</b>
– 160 + 80	23.20	0.06	11.22	1.62	11.2
– 80 + 0	75.02	0.14	87.02	12.53	14.7
В том числе – 15 + 0	21.66	0.40	69.83	10.06	65.7
Итого	100	0.12	100	14.40	—
Собиратель FX-6					
<b>+ 160</b>	<b>1.55</b>	<b>0.15</b>	<b>2.16</b>	<b>0.30</b>	<b>68.3</b>
– 160 + 80	22.85	0.06	12.79	1.78	12.4
– 80 + 0	75.60	0.12	85.05	11.84	14.0
В том числе – 15 + 0	21.75	0.32	64.95	9.04	59.0
Итого	100	0.11	100	13.92	—

Снижение возможного прироста извлечения шеелита на реагенте FX-6 связано с более высокими потерями шеелита с хвостами коллективного цикла относительно олеата натрия Б-115. На основе полученных данных можно предположить, что в условиях коллективной флотации для собирателя FX-6 соотношение эффектов физической и химической форм сорбции смещено в область усиления влияния химической формы сорбции в формировании флотационного комплекса. Следовательно, FX-6 является более слабым по сравнению с олеатом натрия реагентом, но и более селективным собирателем. Снижение флотационной активности реагента требует увеличения его расхода в коллективном цикле для достижения одинаковой плотности и объема покрытия минеральной поверхности собирателем относительно аналога.

В работе исследовалась возможность снижения потерь шеелита в коллективном цикле при флотации с собирателем FX-6 за счет увеличения его расхода. Результаты экспериментов приведены в табл. 3. Опыты выполнены в открытом цикле на руде с содержанием, %: WO<sub>3</sub> — 0.85, S — 2.20, CaCO<sub>3</sub> — 8.41 на водопроводной воде.

Установлено, что с увеличением расхода собирателя FX-6 до 375 г/т уровень потерь шеелита равнозначен потерям на олеате Б-115 при расходе 300 г/т, а при расходе 450 г/т значительно ниже (на 1.82 %). Рост выхода черного концентрата в открытом цикле незначителен 0.75–1.03 %, прирост извлечения кальцита 2.0 %.

ТАБЛИЦА 3. Зависимость потерь шеелита в коллективном цикле от расхода собирателя, %

Расход реагента, г/т	Выход	Содержание			Извлечение		
		WO <sub>3</sub>	S	CaCO <sub>3</sub>	WO <sub>3</sub>	S	CaCO <sub>3</sub>
Черновые концентраты							
OINa 300	8.66	8.61	3.28	44.98	90.14	12.70	46.33
FX-6 300	8.19	9.20	3.38	44.76	88.84	13.26	44.16
FX-6 375	9.41	8.02	3.38	44.23	90.22	14.52	48.43
FX-6 450	9.69	8.15	3.4	42.68	91.96	15.32	48.27

Примечание. Реагентный режим: сода 150 г/т, pH 9.61, жесткость 0.68 мг-экв/л, жидкое стекло 350 г/т.

С другой стороны, усиление эффекта химической формы сорбции собирателя в образовании флотационного контакта с кальциевыми минералами требует более высоких расходов депрессора для его десорбции в селекции. Условия пропарки: температура пульпы 85–90 °С, остаточная концентрация жидкого стекла 3.3–4.5 % (до 6.0 % при повышении содержания кальцитов в руде), время кондиционирования 1 ч.

Эффективность флотации кальциевых минералов в последующих после пропарки перечистных операциях доводочного цикла зависит от остаточного количества собирателя на минеральной поверхности [5]. Большая остаточная плотность собирателя FX-6 на минеральной поверхности шеелита после пропарки обусловила получение более низких потерь шеелита в доводочном цикле относительно натриевого мыла олеиновой кислоты Б-115. Основной прирост извлечения шеелита на реагенте FX-6 получен за счет снижения потерь с хвостами доводочного цикла.

К существенным недостаткам реагента FX-6 относится повышение расхода жидкого стекла в пропарку для его десорбции с сопутствующих шеелиту кальциевых минералов кальцита и апатита. При повышении содержания кальцита в руде (более 7.5 %) применение реагента FX-6 в промышленных условиях затруднит получение кондиционного шеелитового концентрата, так как потребуются дополнительное повышение концентрации жидкого стекла в пропарке до 6–7 %. В этих условиях усиливается эффект пенообразования по фронту перечистных операций и механический вынос вредных примесей и пустой породы: кальцита, апатита, волластонита, пироксенов, амфиболов, биотита.

Заключительные исследования представлены результатами опытов в замкнутом цикле на оборотной воде в оптимальных режимах по сравнимым собирателям (табл. 4).

ТАБЛИЦА 4. Результаты заключительных опытов в замкнутом цикле, %

Продукт	Выход	Содержание			Извлечение		
		WO <sub>3</sub>	S	CaCO <sub>3</sub>	WO <sub>3</sub>	S	CaCO <sub>3</sub>
Натриевое мыло технической кислоты Б-115							
WO <sub>3</sub> концентрат	<b>1.19</b>	<b>57.25</b>	<b>0.16</b>	<b>12.19</b>	<b>85.60</b>	<b>0.08</b>	<b>1.95</b>
Черновой концентрат	<b>9.08</b>	<b>7.94</b>	0.91	30.70	<b>90.38</b>	<b>3.61</b>	<b>37.40</b>
Отвальные хвосты	98.81	0.12	2.31	7.40	14.40	99.92	98.05
Исходная руда	100	<b>0.80</b>	<b>2.28</b>	<b>7.46</b>	100	100	100
Реагент FX-6							
WO <sub>3</sub> концентрат	<b>1.09</b>	<b>60.39</b>	<b>0.26</b>	<b>9.52</b>	<b>86.23</b>	0.12	1.39
Черновой концентрат	<b>7.66</b>	<b>8.97</b>	1.30	32.91	<b>90.30</b>	<b>4.18</b>	<b>33.99</b>
Отвальные хвосты	98.91	0.11	2.41	7.40	13.77	99.88	98.61
Исходная руда	100	<b>0.76</b>	<b>2.39</b>	<b>7.42</b>	100	1000	100

Переменные условия опыта 6: H<sub>2</sub>O оборотная, pH — 8.43; pH<sub>сфл.</sub> — 8.3, жесткость (ж.) — 4.8 мг-экв/л; сода — 2.5 кг/т, pH — 10.2, ж. — 0.88 мг-экв/л, OINa<sub>Б-115</sub> — **250+50+30 г/т**

Пропарка: остаточная концентрация жидкого стекла — 3.45 %, расход — 2.8 кг/т

Переменные условия опыта 23: H<sub>2</sub>O оборотная, pH 8.93; pH<sub>сфл.</sub> — 8.5, ж. — 4.8 мг-экв/л; сода — 2.8 кг/т, pH — 10.2, ж. — 0.96 мг-экв/л, **FX-6 — 300 + 75 + 30 г/т**

Пропарка: остаточная концентрация жидкого стекла — 4.16 %, расход — 3.9 кг/т

В замкнутом цикле на оборотной воде при увеличении расхода собирателя реагента FX-6 на 25 % относительно расхода олеата натрия технической кислоты Б-115 получен прирост извлечения шеелита в кондиционный концентрат с содержанием  $WO_3$  60.4–0.63 %. Рост остаточной концентрации жидкого стекла в пропарке на 0.71 %, расхода жидкого стекла на 1.1 кг/т руды. Расчетный ожидаемый прирост извлечения шеелита в товарный концентрат с содержанием  $WO_3$  52.0 ~ 1.0 %.

### ВЫВОДЫ

В результате выполненных исследований по изучению флотационных свойств реагента FX-6 экспериментально установлено:

— температура воды для растворения реагента FX-6 может быть снижена на 10 °С, а температура 5 %-го рабочего раствора при подаче в пульпу на 30 °С по сравнению с методикой приготовления олеата натрия технической кислоты Б-115, что обеспечивает некоторую экономию затрат на нагрев воды и растворов реагента;

— расход собирателя FX-6 в коллективном цикле флотации по сравнению с олеатом натрия Б-115 должен быть увеличен на 25 % для получения потерь шеелита контрольной флотации хвостами основного цикла на одном уровне;

— при повышенном расходе реагента FX-6 в условиях водооборота получен конечный концентрат качеством 60.4 %  $WO_3$  и прирост извлечения на 0.63 %, что обеспечит определенный экономический эффект за счет дополнительного выпуска кондиционного концентрата;

— при выпуске товарного концентрата с содержанием 52 %  $WO_3$  при обоих вариантах ожидаемый прирост извлечения может составить ~ 1.0 %;

— для получения кондиционных концентратов при использовании реагента FX-6 требуется увеличение остаточной концентрации в пропарке на 0.4–0.7 %, соответственно повышения расхода жидкого стекла на 0.8–1.1 кг/т (в среднем 0.95 кг/т) и некоторого роста затрат.

Для оценки перспектив применения реагента FX-6 на ПОФ необходимо проведение промышленных испытаний для уточнения показателей обогащения в условиях действующего предприятия, не моделируемых в лаборатории, на основании которых могут быть выполнены технико-экономические расчеты.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барский Л. А., Кононов О. В., Ратмирова Л. И. Селективная флотация кальцийсодержащих минералов. — М.: Недра, 1979.
2. Абрамов А. А. Принципы конструирования селективных реагентов-собирателей // ФТПРПИ. — 2011. — № 1.
3. Сорокин М. М. Флотационные методы обогащения. Химические основы. — М.: Изд. Дом МИСиС, 2011.
4. Шепета Е. Д., Саматова Л. А., Кондратьев С. А. Кинетика флотации кальциевых минералов из шеелит-карбонатных руд // ФТПРПИ. — 2012. — № 4.
5. Шепета Е. Д. Разработка метода селективной десорбции собирателей с поверхности кальциевых минералов и технологии флотации тонкозернистой фракции шеелита из вольфрамовых руд месторождения “Восток-2”: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 1987.

*Поступила в редакцию 11/IX 2014*