

УДК 622.765:622.344

**Л.А. Киенко, О.В. Воронова**

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ КОМПЛЕКСНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ЦИНК-ФЛЮОРИТОВЫХ РУД ВОЗНЕСЕНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА**

*Дана оценка обогатимости тонковкрапленных цинк-флюоритовых руд. Предложено два варианта технологической схемы с извлечением флюорита и сфалерита. Рассмотрены пути кондиционирования жидкой фазы пульпы при переходе от режима флотации сульфидными собирателями к использованию жирных кислот.*

*Ключевые слова: флотация, флюорит, сфалерит, катионы кальция, кондиционирование, нейтрализация, ксантогенат, карбоксильные собиратели.*

**Ц**инковые руды месторождений Вознесенского рудного района Приморского края локализованы в зоне, примыкающей к участку развития очень крупных запасов флюоритовых руд. Особенности геологического строения месторождения, условия залегания и размеры рудных залежей позволяют отрабатывать цинковые руды открытым способом. Основными ценными минералами являются сфалерит (1,5—3,5 %) и флюорит (12—18 %). Кроме того, в рудах содержится пирит (2,0—2,4 %), пирротин (2,5—2,9 %), карбонаты (7,0—10,5 %), кварц (7,0—11 %), магнетит (3,0—8,0 %), в меньших количествах халькопирит, арсенопирит, молибденит, хлорит, серпентин, а также небольшие содержания молибденита.

По результатам проведенных в 70-е 80-е годы исследований [1] к промышленному внедрению была принята технологическая схема, предложенная СибцветметНИИпроектом предусматривающая извлечение исключительно цинка (сфалерита).

Попытки извлечения флюорита из хвостов цинковой флотации не дали

положительных результатов: в продукт с содержанием  $\text{CaF}_2$  59,3 % удавалось извлечь не более 37 % флюорита. В настоящее время технологическая линия по выпуску цинкового концентрата работает на предприятии периодически; при этом флюорит в полном объеме сбрасывается в хвостохранилище. Однако, по нашему мнению, хвосты цинковой флотации вполне можно рассматривать как источник для получения флюоритового концентрата:

- содержание в них  $\text{CaF}_2$  (до 18 %) сопоставимо с содержанием в собственно флюоритовых рудах. В последние годы предприятие перерабатывает бедные высококарбонатные руды с содержанием 24—28 %  $\text{CaF}_2$  и до 25 %  $\text{CaCO}_3$ ;

- карбонатный модуль, характеризующий соотношение содержания в руде флюорита и кальцита, в значительной степени определяющий обогатимость сырья ( $M_k = \frac{\alpha_{\text{CaF}_2}}{\alpha_{\text{CaCO}_3}}$ ), в основном выше, чем в поступающих в настоящее время на переработку флюоритовых рудах;

- исходный материал уже подготовлен по крупности. Этот аргумент имеет особое значение, так как для всех руд месторождения, характерна исключительно тонкая вкрапленность минералов: удовлетворительное раскрытие их достигается лишь при измельчении до 85—95 % кл. -0,044 мм. Затраты на измельчение руд, в связи с потребностью в тонком помоле, весьма значительны и могут составлять до 50 % общих затрат обоганительного передела.

На предпрятии в цикле цинковой флотации используется традиционный набор реагентов: известь ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) — для создания высокощелочной среды; медный купорос ( $\text{CuSO}_4$ ) — в качестве активатора сфалерита; ксантогенаты и сосновое масло — как собиратель и пенообразователь соответственно. Черновой цинковый концентрат проходит 2—4 перечистки с последовательным заворотом промпродуктов в предыдущую операцию. Готовый концентрат содержит 45—50 % цинка при извлечении в него сфалерита 50—80 %. Потери по извлечению флюорита в цинковом цикле несущественны. Зёрна флюорита достаточно хорошо обособлены, что предопределяет возможность концентрации их в соответствующий продукт.

Исследования, направленные на выявление возможностей повышения комплексности переработки цинк-флюоритовых руд, проводились на пробе со средневзвешенным по основным компонентам содержанием: цинка — 2,5 %, флюорита — 17,3 %, кальция — 9,25 %. Испытания проводились по двум основным направлениям:

1. Извлечение флюорита из отходов цинковой флотации.

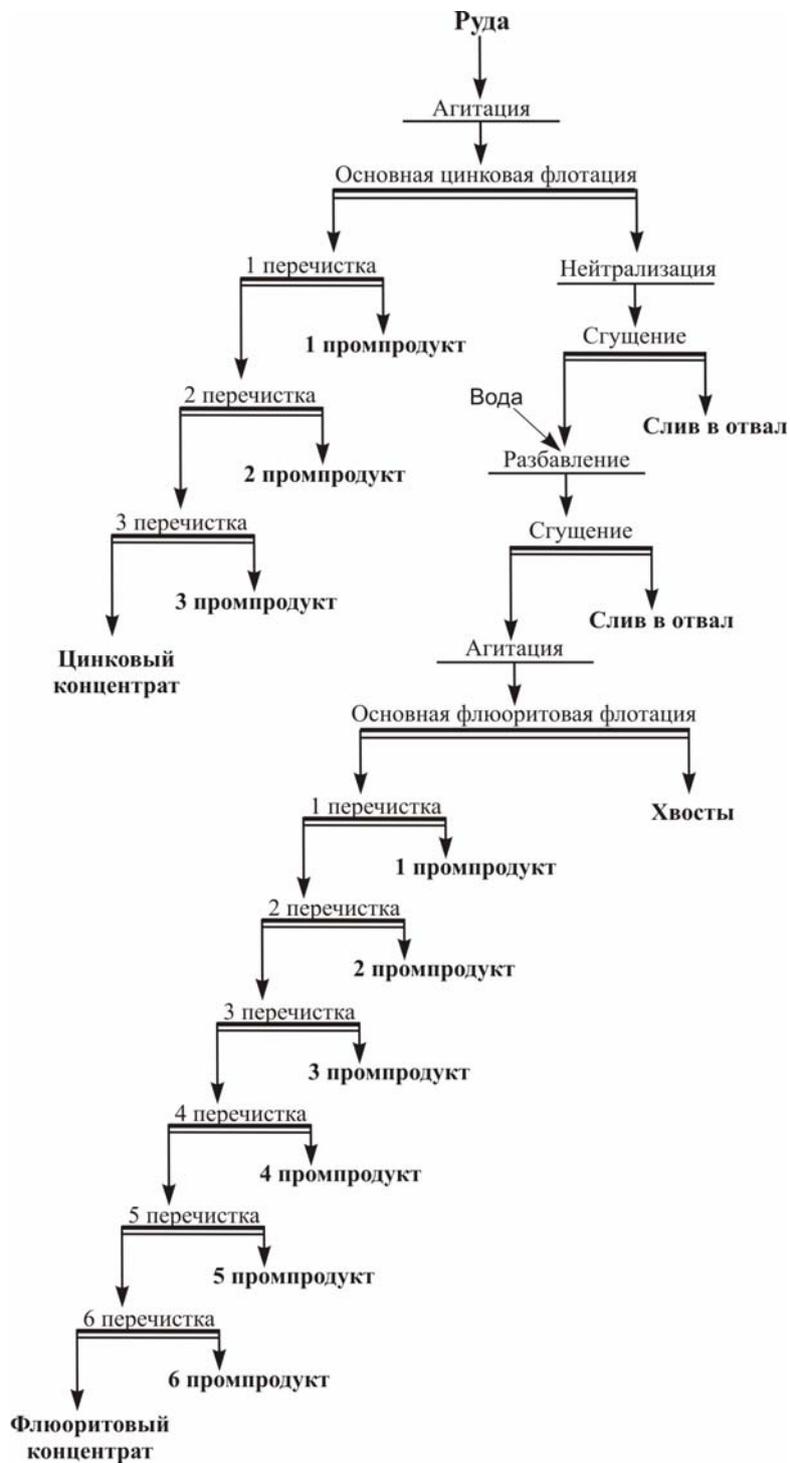
2. Флотация флюорита в голове процесса с последующим извлечением сфалерита.

В схему исследований по **первому** варианту технологии (рис. 1) после предварительно проведенного изучения свойств минералов, а также оценки состава жидкой фазы пульпы, были включены следующие технологические операции:

- цикл цинковой флотации;
- нейтрализация избытка катионов кальция в жидкой фазе хвостов цинковой флотации с декантацией жидкой фазы;
- разбавление, отмывка и повторное сгущение хвостов;
- флюоритовая флотация с шестью перечистками чернового концентрата.

Наиболее значимым препятствием для успешного извлечения флюорита, по нашей оценке, являлось наличие в жидкой фазе хвостов цинкового цикла избытка катионов  $\text{Ca}^{2+}$ , привнесённых используемой для создания высокощелочной среды известью. Применение собирателей из группы жирных кислот в таких условиях практически невозможно [2, 3, 4]. Для достижения концентрации флюорита в качественный продукт необходима соответствующая подготовка жидкой фазы пульпы. С этой целью схемой предусмотрен цикл операций по нейтрализации, декантации и отмывке хвостов цинковой флотации. В ходе исследований был подобран оптимальный набор реагентов, обеспечивающих наиболее полное и эффективное связывание катионов кальция и не оказывающих отрицательного действия на последующий процесс флюоритовой флотации. В результате были выделены флюоритовые концентраты, соответствующие по содержанию маркам ФФ-90, ФФ-92.

Извлечение флюорита в концентраты, содержащие 93,04—92,95 %  $\text{CaF}_2$ , составило 47,87—51,92 %.



**Рис. 1. Схема извлечения флюорита из хвостов цинковой флотации**

Таблица 1

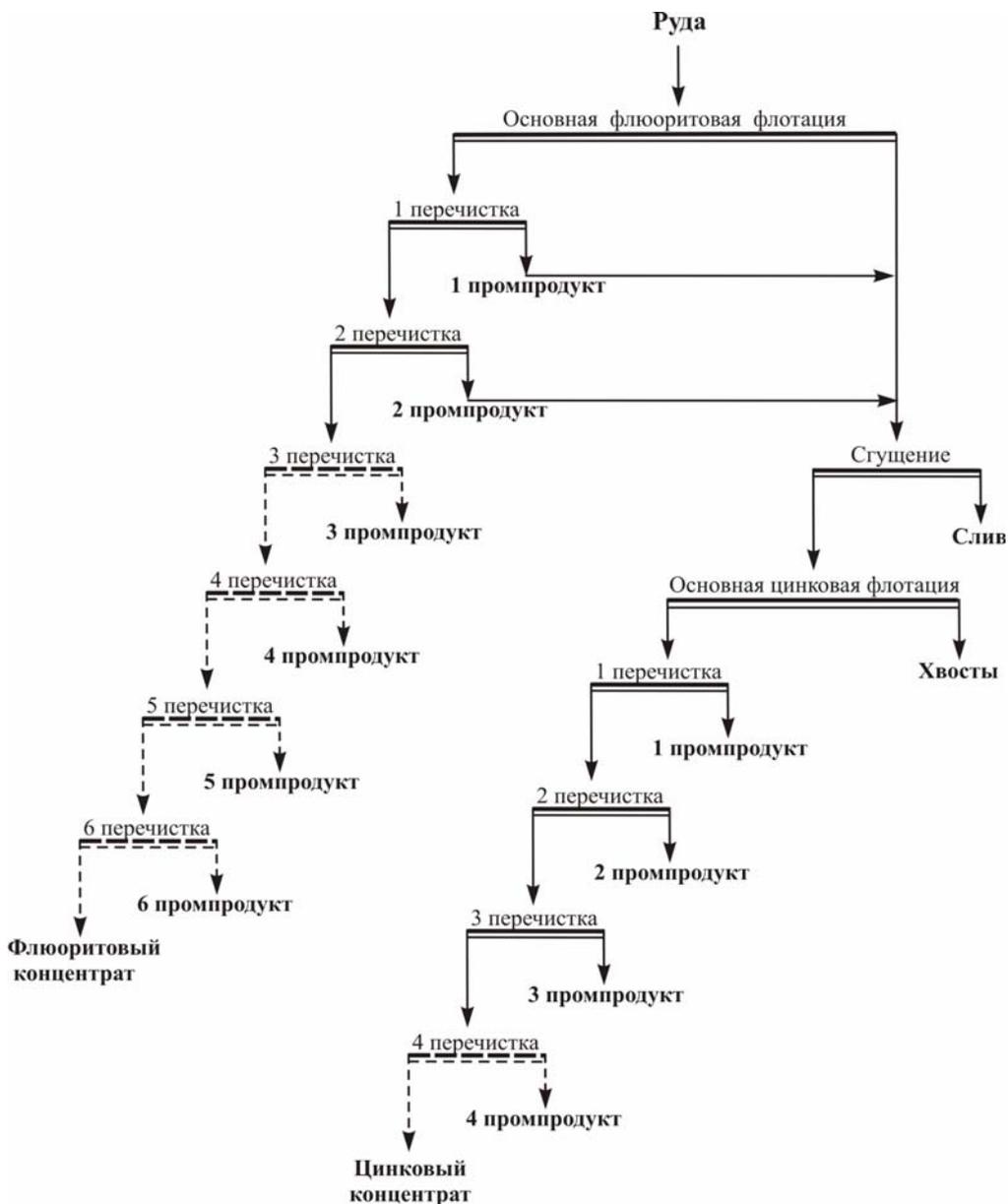
**Результаты извлечения флюорита из хвостов сфалеритовой флотации в оптимальном режиме**

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %		
		Zn	CaF <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Zn	CaF <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>
<b>Цинковый концентрат</b>	<b>3,11</b>	<b>55,42</b>	<b>0,68</b>	<b>0,79</b>	72,58	0,12	0,24
3 Zn промпродукт	0,38	31,86	4,34	14,84	5,03	0,10	0,55
Zn концентрат 2 переч.	3,49	52,83	1,07	2,30	79,22	0,22	0,79
2 Zn промпродукт	0,51	14,48	9,78	12,08	3,13	0,30	0,61
Zn концентрат 1 переч.	<b>4,00</b>	<b>47,91</b>	<b>2,19</b>	<b>3,55</b>	<b>82,35</b>	<b>0,52</b>	<b>1,40</b>
1 Zn промпродукт	3,93	2,12	16,17	11,06	3,51	3,75	4,27
Черновой Zn концентрат	7,94	25,21	9,13	7,28	84,09	4,27	5,67
Слив сгущения	2,96	0,43	16,85	10,96	0,54	2,93	3,18
<b>Флюорит. концентрат</b>	<b>10,78</b>	0,38	<b>91,34</b>	0,98	1,72	<b>57,98</b>	1,04
5—6 флюорит. промпрод.	1,37	1,71	56,08	9,08	0,99	4,52	1,22
Флюорит. конц. 4 переч.	12,15	0,53	87,35	1,90	2,71	62,5	2,26
2—4 флюорит. промпрод.	8,89	0,68	19,86	22,38	2,54	10,39	19,51
1 флюорит. промпродукт	16,92	0,34	9,86	18,17	2,42	9,83	30,16
Хвосты	51,15	0,35	3,35	7,82	7,54	10,09	39,23
<b>Руда</b>	<b>100,00</b>	<b>2,38</b>	<b>16,98</b>	<b>10,19</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Снижение качества концентратов (89—91 % CaF<sub>2</sub>) позволяет повысить извлечение на 7—12 %. В таблице 1 представлены результаты последовательного извлечения сфалерита и флюорита с необходимым числом перечисток в оптимальном режиме. Приведённые данные показывают, что качественный цинковый концентрат (47,91 % Zn) удаётся получить уже после первой его перечистки с извлечением сфалерита 82,35 %. В концентрат, содержащий 91,34 % CaF<sub>2</sub>, извлекается 57,98 % флюорита.

Преимущество **второго варианта** схемы с извлечением флюорита в голове процесса заключается в том, что

жидкая фаза хвостов флюоритовой флотации не требует столь кардинальной корректировки солевого и кислотнo-щелочного состава. Вместе с тем, используемые в качестве собирателя флюорита жирные кислоты имеют довольно широкий спектр действия [3, 5], могут легко адсорбироваться на минералах разной природы. При недостаточной концентрации в пульпе депрессоров или нарушении баланса собирателей и модификаторов взаимодействие их с минералами пустой породы может активизироваться, что негативно отразится на селективности сфалеритовой флотации. Кроме того, в существующей классификации при-



**Рис. 2. Схема обогащения цинк-флюоритовых руд с извлечением флюорита в голове процесса**

родной флотуемости минералов флюорит располагается ниже сфалерита, что указывает на определённую теоретическую обоснованность рассмотренной выше последовательности флотации.

Исследования и оценка результатов извлечения флюорита в голове технологического цикла из свежемельченной руды показали, что процесс в стандартном режиме проходит достаточно стабильно. В концентрате

Таблица 2

**Результаты извлечения сфалерита из хвостов флюоритовой флотации в оптимальном режиме**

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %		
		Zn	CaF <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Zn	CaF <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>
<b>Флюорит. концентрат</b>	12,58	0,4	<b>90,74</b>	2,4	2,17	<b>65,39</b>	3,16
3—5 флюорит. промпрод.	5,09	1,74	37,37	22,65	3,82	10,90	12,08
Слив сгущения	5,42	1,44	8,24	9,14	3,37	2,56	5,19
<b>Цинковый концентрат</b>	<b>3,42</b>	<b>45,65</b>	2,23	5,12	<b>67,36</b>	0,44	1,83
1 Zn промпродукт	5,46	0,7	7,89	19,03	1,65	2,47	10,89
2 Zn промпродукт	4,17	1,19	11,25	25,56	2,14	2,69	11,17
3 Zn промпродукт	2,28	3,26	8,92	29,85	3,21	1,17	7,13
4 Zn промпродукт	1,22	11,14	5,17	24,03	5,86	0,36	3,07
Хвосты	60,36	0,4	4,06	7,19	10,42	14,04	45,47
Руда	100	2,32	17,46	9,54	100,00	100,00	100,00

ты, содержащие 90,2—91,8 % CaF<sub>2</sub>, в открытом цикле обогащения удаётся извлечь до 67—68 % флюорита, что существенно выше, чем в схеме с извлечением флюорита из отходов цинкового цикла. Последующее извлечение сфалерита осуществлялось после сгущения и сброса жидкой фазы пульпы, содержащей остаточные концентрации жирных кислот и реагентов модификаторов флюоритового передела. Схема исследований представлена на рис. 2.

Флюоритовые промпродукты 1—2, в связи с высоким содержанием в них сфалерита, объединялись с камерным продуктом основной флюоритовой флотации и являлись питанием цинковой флотации. В ходе исследований, как и предполагалось, установлено, что определённое негативное влияние на процесс флотации цинка оказывают остаточные концентрации жирных кислот в пульпе: выход пенного продукта основной флотации был существенно выше, соответственно пониженная степень концентрации цинка предопределяла более развитую сеть перечисток с жёст-

ким режимом и неизбежными потерями сфалерита. Полученные цинковые концентраты содержали 46,7—45,4 % цинка при извлечении сфалерита 62,5—67,3 %.

В таблице 2 представлены лучшие результаты обогащения по схеме с флотацией в голове процесса флюорита. Данные исследований показывают, что как и в первом варианте схемы, получено два качественных, отвечающих требованиям на товарные продукты марочных концентрата: флюоритовый, содержащий 90,74 % CaF<sub>2</sub> и цинковый — 45,65 % Zn.

Таким образом, проведёнными исследованиями была показана возможность совершенствования схемы обогащения цинк-флюоритовых руд, повышения комплексности их переработки. Из рассмотренных двух вариантов технологии более высокое извлечение было получено по схеме флотации флюорита из хвостов цинкового цикла. Вместе с тем, окончательный вывод о наиболее приемлемом варианте технологической схемы для её промышленного использования может быть дан только с учётом ко-

эффициентов, отражающих общую стоимость извлечённых минеральных компонентов. При значительно более высоком содержании в руде флюорита и существенно снизившихся ценах на цинковый концентрат технология, обеспечивающая наиболее полное извлечение флюорита, представляется довольно перспективной. Предложенная технология комплексной пе-

реработки цинк-флюоритовых руд не требует больших капитальных затрат, может осуществляться с использованием имеющегося на предприятии оборудования. Извлечение флюорита в дополнение к цинку позволит напрямую повысить рациональность использования сырья, улучшить экономические показатели работы предприятия.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жилин В.В.* Предпосылки вовлечения в переработку цинк-флюоритовых руд Вознесенского месторождения / Жилин В.В. Саенко В.И. // Горный журнал — 2000. — № 9. — С. 30—32.
2. *Глембоцкий В.А.* Физико-химия флотационных процессов. — М.: Недра, 1972. — 392 с.
3. *Эйгелес М.А.* Реагенты регуляторы во флотационном процессе / М.А. Эйгелес. — М.: Недра, 1977. — 338 с.
4. *Киенко Л.А.* Проблемы комплексной переработки цинк-флюоритовых руд Вознесенского рудного района / Л.А. Киенко О.В. Воронова // Проблемы комплексного освоения георесурсов: Материалы Всероссийской научной конференции. — Хабаровск, 2011. — С. 313—318.
5. *Богданов О.С.* Теория и технология флотации руд / О.С. Богданов [и др.]. — М.: Недра, 1990. — 364 с. **ГИАБ**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Киенко Лидия Андреевна* — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: kienkola@rambler.ru,

*Воронова Ольга Васильевна* — научный сотрудник, e-mail: olya-vo@mail.ru, Институт горного дела ДВО РАН.



---

#### В УПРАВЛЕНИЕ ПО ПРОФИЛАКТИКЕ И РЕКУЛЬТИВАЦИИ «СУЭК-КУЗБАСС» ПОСТУПИЛО 27 АВТОМОБИЛЕЙ VOLVO FMX

Автомобильный парк Управления по профилактике и рекультивации (УПиР) пополнился 27 новыми самосвалами Volvo FMX (Швеция). Машины закуплены СУЭК в рамках инвестиционного проекта «Приобретение большегрузных автосамосвалов с целью своевременной и безопасной перевозки угля с предприятий «СУЭК-Кузбасс». Общая стоимость проекта составляет 140 млн руб.

Поступивший транспорт в основном задействован на вывозке угля с шахт и разрезов компании, расположенных в Прокопьевском районе, к местам погрузки в вагоны. Для обслуживания автомобилей Volvo в УПиР сформирован новый производственный участок, дополнительно создано 130 рабочих мест.

В 2011 году Управление пополнилось также 50 автомобилями КамАЗ 6520 грузоподъемностью 20 т и 10 бульдозерами фирмы «Liebherr».