

**С.И. Саломатова, А.И. Матвеев**

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗДЕЛЕНИЮ ТОНКОИЗМЕЛЬЧЕННЫХ РУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО СТЕПЕНИ ФЛОТООКТИВНОСТИ\***

Представлены результаты экспериментальных исследований флотационного разделения минералов с разной поверхностной активностью (флотоактивностью) по ряду сульфидных минералов (пирит-арсенопирит-антимонит, другие сульфиды).

Ключевые слова: тонкоизмельченные геоматериалы, частицы, флотоактивность минералов, поверхность воды, вращающаяся жидкость, центробежная сила, концентрат, содержание.

**П**ри флотации в концентрат обычно переходят сульфидные минералы, а так же породообразующие минералы, где свыше 60% материала силикаты и алюмосиликаты. Пороодообразующие минералы попадают в концентрат в основном в виде шламистых частиц, а сульфиды – в силу одинаковой с золотом флотируемости. Для последующей перерешетки концентратов от пустой породы иногда применяют комбинированный способ доводки, который сводится к дополнительной классификации материала на песковую и шламовую фракции и в получении в шламовой фракции отвальных хвостов [1].

Снижение доли сульфидных минералов во флотоконцентратах в цикле перерешетки проводят в режиме депрессии некоторых из них. При обработке рядовых золотосодержащих руд, где основные сульфидные минералы представлены пиритом и арсенопиритом, процесс селективной флотации часто заключается в разделении именно этих минералов [2].

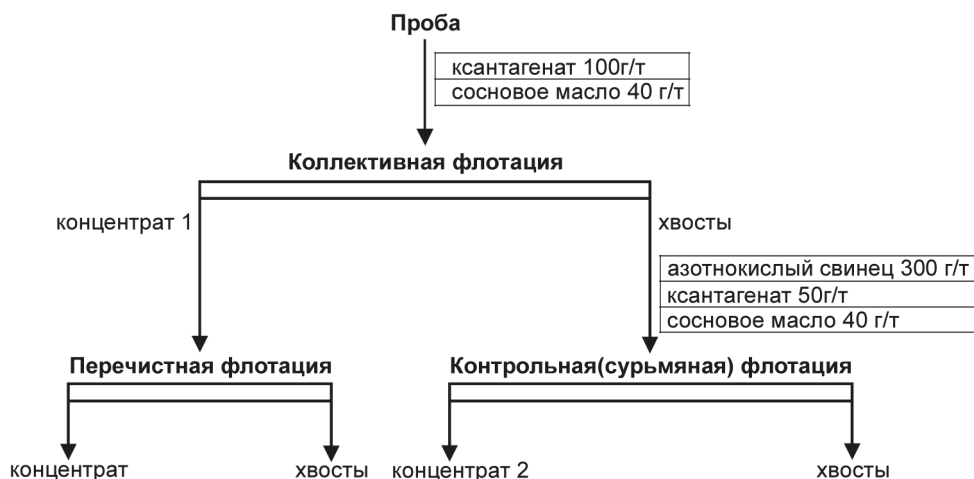
В ИГДС СО РАН изучен вещественный состав и проведены лабораторные исследования проб продуктов обогащения золото-сурьмяной руды богатых по содержанию полезных

компонентов. Проведена серия экспериментов по перерешетке концентратов с использованием центробежных флотомашин конструкции ИГДС СО РАН [3–7].

В обычной ксантогенатовой флотации сурьма в форме минерала антимонита флотируется неудовлетворительно. Для активации флотации антимонита обычно используется азотнокислый свинец. Флотационные исследования коллективной флотации проведены на богатых по содержанию полезных компонентов пробах продуктов обогащения золото-сурьмяной руды, крупностью – 0,1 мм (с предварительным измельчением на шаровой мельнице). Использовался реагентный режим: ксантогенат калия – 150 г/т, азотнокислый свинец – 300 г/т, сосновое масло. Повышенное содержание собирателя подается с учетом повышенного содержания сульфидных минералов. Схема флотации представлена на рисунке.

По результатам исследований установлено, сульфиды интенсивно флотируются. Извлечение серы составляет 97,43%. Мышьяк в составе арсенопирита флотируется с извлечением 95,22%, железо 81,69%. В качестве активатора сульфидных минералов в

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-05-98514-р\_восток\_a).



### Схема флотации пробы

операции контрольной флотации используется азотнокислый свинец. При этом сурьма (антимонит) флотируется в режиме коллективной флотации сульфидов с извлечением от 55,08 до 72,42%, однако этот показатель недостаточен для получения концентратов с кондиционным содержанием сурьмы. Тем более в последующем проблему обогащения сурьмы необходимо рассматривать в контексте селективного разделения от других сульфидных минералов.

В целом коллективная флотация сурьмы с выделением практически всех сульфидных минералов характеризуется нестабильностью по показателям извлечения практически всех компонентов. В таблице приведены результаты по извлечению сурьмы, мышьяка, железа, серы по трем параллельным экспериментам.

### Минералогический анализ и вещественный состав продуктов флотационного разделения проб

Минералогический анализ показывает, что мышьяк представлен арсенопиритом, сурьма – антимонитом, железо в составе халькопирита, арсенопирита, пирита, а также в виде железа техногенного происхождения. Медь в основном в форме халькопирита. Свинец представлен галенитом. Кобальт и никель в основном находятся в виде примесей, последний, в основном, содержится в пирите. Пирротина наблюдаются единичные зерна. Учитывая минералогическую идентификацию основных полезных и характерных компонентов (с учетом преимущественно простого однофазного минерального состава основных компонентов) была составлена матрица перерасчета элементного количественного состава

### Показатели извлечения компонентов по трем параллельным экспериментам

Компоненты	1 эксперимент	2 эксперимент	3 эксперимент
Мышьяк	95,22	91,21	60,3
Сера	97,43	75,43	97,41
Железо	81,69	84,02	82,36
Сурьма	67,77	55,08	72,42

в количественный вещественный состав, где основные породообразующие элементы представлены в виде окислов, основные полезные компоненты – в виде сульфидных минералов. В результате такого расчета вещественного состава продуктов обогащения получается более точная оценка извлекаемости полезных минералов (перерасчет на минеральную форму).

Проведен расчет извлечения минералов антимонита, арсенопирита, пирита, сфалерита и галенита по схеме селективной флотации (рисунок). Суммарное извлечение антимонита в концентраты составляет 91,41%, при этом 59,98% извлекается во второй концентрат (сурьмяная флотация). Арсенопирит селективно не разделяется, 97,9% извлекается в концентраты, при этом распределение арсенопирита между двумя концентратами практически равномерно. Пирит практически весь извлекается на стадии основной флотации (94,06%). Галенит не флотируется на основной стадии, извлекается на контрольной стадии только 1/3 часть, остальное уходит в хвосты. Сфалерит также не флотируется селективно, а перераспределяется равномерно по всем продуктам обогащения. Также инертно флотируется техногенное железо. Халькопирит в основном флотируется на основной стадии флотации (79,51%). Таким образом, не все сульфиды флотируются. Каждый сульфидный минерал по своему флотируется по выбранной схеме флотации.

Благодаря вещественному составу более подробно можно изучить по-

ведение разных компонентов по продуктам разделения, что очень важно для селекции минералов в последующих процессах перераспределения.

В операции перераспределения концентрат подвергается очистке от сульфидных минералов, в том числе от антимонита (сурьмы), перешедшего во флотационный концентрат основной флотации 15,73%, в результате перераспределения в хвосты уходит 12,62%, а в концентрате остается 3,1% от балансового количества сурьмы участвующего в эксперименте.

В результате проведенных испытаний установлен наиболее оптимальный вариант флотации с перераспределением и контрольной флотацией хвостов при использовании реагентного режима: ксантогената калия – 100 г/т, соснового масла – 40 г/т на стадии основной флотации, добавление ксантогената калия (50 г/т) и азотнокислого свинца (300 г/т) для контрольной (сурьмяной) флотации. Перераспределение осуществляется центробежной флотацией на поверхности вращающейся жидкости без добавления реагентов. Оптимальные условия селективной флотации антимонита достигаются в схеме контрольной флотации при дробной подаче ксантогената 50 г/т с добавлением азотнокислого свинца (300 г/т), при этом в концентрат извлекается 59,96% антимонита. Возможное увеличение селективного извлечения сурьмы (12,62% от балансового количества сурьмы) может быть достигнуто направлением хвостов перераспределительной флотации на контрольную флотацию.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунова Т.Г., Фролов Ю.И. Исследование комбинированной технологии доводки флотационных золото- и серебро-содержащих концентратов / Разработка технологии обогащения рудных и россыпных месторождений: Сб. науч. тр. – Магадан: ВНИИ-1, 1985. – С. 3–9.

2. Лодейщиков В.В. Извлечение золота из упорных руд и концентратов. – М.: Недра, 1968. – 201 с.

3. Матвеев А.И., Саломатова С.И., Яковлев В.Б., Монастырев А.М., Еремеева Н.Г., Слепцова Е.С. Патент № 2183998 РФ, 7В03Д 1/02 1/24. Способ флотации и

центробежная флотационная машина; заявитель и патентообладатель ИПДС; заявл. 25.05.2000; опубл. 27.06.2002 // Изобретения. Полезные модели. – 2002. – № 18. – ч. 2. – С. 170.

4. Матвеев А.И., Саломатова С.И. Флотация золота на поверхности вращающейся жидкости / отв. ред. В.Е. Филиппов, Сиб. отд-ние РАН, Ин-т горн. Дела Севера им. Н.В.Черского. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2008. –141 с.

5. Саломатова С.И., Матвеев А.И. Патент № 2460586 Российская Федерация. МПК В03D1/24. Центробежная флотационная машина; заявитель и патентообладатель Институт горного дела Севера им. Н.В.Черского Сибирского отделения РАН. – 2010127600/03; заявл. 2.07.2010.; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 25. – 3 с.: 1 ил.

6. Саломатова С.И. Исследование закономерностей флотационного разделения минералов на поверхности вращающейся жидкости / Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России: труды Всероссийской научно-практической конференции, посвящ. памяти чл.-кор. РАН Новопашина М.Д., г. Якутск, 14–15 сент. 2011. – Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2011. – С. 186–189.

7. Саломатова С.И., Матвеев А.И. Разделение тонкодисперсных минеральных частиц методом флотации на поверхности вращающейся жидкости // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 10. – С. 238–242. **ПАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

---

Саломатова Светлана Ивановна – кандидат технических наук, ученый секретарь, e-mail: salomatova@igds.ysn.ru,

Матвеев Андрей Иннокентьевич – доктор технических наук, зав. лабораторией, Институт горного дела Севера им. Н.В.Черского СО РАН.

---

UDC 622.765

## THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES ON THE SEPARATION OF THE FINELY DIVIDED ORE MATERIALS BY THE DEGREE OF FLOTATION EXPOSE

Salomatova S.I., Candidate of Technical Sciences, Scientific Secretary, e-mail: salomatova@igds.ysn.ru, Matveev A.I., Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory, N.V. Chersky Institute of Mining of the North, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.

*The results of experimental researches of the flotation separation of minerals with different surface activity (flotation response) by a range of sulfide minerals (pyrite-arsenopyrite-antimonite, other sulfides) are represented.*

*Key words: finely divided geomaterials, particles, flotation response of minerals, water surface, rotating liquid, centrifugal force, concentrate, content.*

## REFERENCES

1. Gorbunova T.G., Frolov Yu.I. Razrabotka tekhnologii obogashcheniya rudnykh i rossypnykh mestorozhdenii: Sbornik nauchnykh trudov (Exploitation of enrichment technology of ore and placer deposits: collection of scientific papers), Magadan, VNI-1, 1985, pp. 3–9.

2. Lodeishchikov V.V. *Izvlечение золота из упорных руд и концентратов* (Gold recovery from refractory ores and concentrates), Moscow, Nedra, 1968, 201 p.

3. Matveev A.I., Salomatova S.I., Yakovlev V.B., Monastirev A.M., Ereemeeva N.G., Sleptsova E.S. Patent RU2183998 7V03D 1/02 1/24, 27.06.2002.

4. Matveev A.I., Salomatova S.I. *Flotatsiya zlota na poverkhnosti vrashchayushcheysya zhidkosti*, отв. ред. V.E. Filippov (Flotation of gold on the surface of a rotating liquid, Filippov V.E. (Ed.)), Yakutsk: Izd-vo YaNTs SO RAN, 2008, 141 p.

5. Salomatova S.I., Matveev A.I. Patent RU2460586 MPK B03D1/24, 10.09.2012.

6. Саломатова С.И. *Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России: труды Всероссийской научно-практической конференции, посвящ. памяти чл.-кор. РАН Новопашина М.Д.*, Якутск, 14–15 сент. 2011 (Geomechanical and geotechnological problems of the effective exploitation of solid mineral products of the northern and north-eastern regions of Russia: the proceedings of the Russian theoretical and practical conference, dedicated to the memory of RAS corporator Novopashina M.D., Yakutsk, 14–15 Sept. 2011), Yakutsk: Izd-vo In-ta merzlotovedeniya im. P.I. Mel'nikova SO RAN, 2011, pp. 186–189.

7. Salomatova S.I., Matveev A.I. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2012, no 10, pp. 238–242.