

С.И. Саломатова

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ДОВОДКЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ

Аннотация. Один из способов влияния на эффективность процесса флотации — применение дополнительных центробежных сил вращения жидкости — центробежная флотация. В разработанном в ИГДС СО РАН способе флотации разделение минеральных частиц происходит по гидрофобности в тонком слое на поверхности вращающегося потока воды (пульпы). Представлены результаты экспериментальных исследований по обогащению продуктов переработки золото-сурьмяной руды с использованием центробежной флотации. Исследования проводились на экспериментальном стенде с использованием лабораторной центробежной флотомашины с центральной разгрузкой концентрата (ЦФМ), определены рациональные параметры технологии флотации на поверхности вращающейся жидкости (скорость потока пульпы, плотность питания) при доводке золотосодержащих продуктов обогащения. Наиболее рациональные условия извлечения золота в концентрат — 68,7%, при содержании 54,1 г/т, получены при скорости потока пульпы в камере флотомашины 0,45 м/с и соотношении Т:Ж питания 1:2, степень концентрации золота составила 2,6. Установлено, что сочетание воздействия центробежной силы вращения жидкости и гидрофобных свойств минералов позволяет усилить показатели селективности разделения минералов, при флотации в центробежной флотомашине возможно проведение операций перечистки с целью повышения качества концентрата.

Ключевые слова: обогащение, центробежная флотация, частицы минералов, гидрофобность, концентрат, извлечение, степень концентрации.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-186-191

Решение проблемы разделения минералов с близкими технологическими свойствами традиционно ведется повышением селективности разделения в обогащительных процессах — с использованием реагентов направленного действия, а также избирательного изменения технологических свойств минералов с помощью различных энергетических воздействий [1–3]. Один из способов влияния на эффективность процесса флотации — применение дополнительных центробежных сил вращения жидкости — центробежная флотация [4].

При флотации в концентрат обычно переходят сульфидные минералы, а так

же породообразующие минералы в основном в виде шламистых частиц. Для последующей перечистки 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 [5]. Снижение доли сульфидных минералов во флотоконцентратах в цикле перечистки проводят в режиме депрессии некоторых из них. При обработке рядовых золотосодержащих руд, где основные сульфидные минералы представлены пиритом и арсенопиритом, процесс селективной фло-

тации часто заключается в разделении именно этих минералов [6–8].

В разработанном в ИГДС СО РАН способе флотации разделение минеральных частиц происходит по гидрофобности в тонком слое на поверхности вращающегося потока воды (пульпы) [9–11]. Исследования проводились на продуктах обогащения золото-сурьмяной руды, использованы технологические пробы обогащения золото-сурьмяной руды месторождения «Сарылах» [12]. В процессе исследований определялись рациональные параметры технологии флотации на поверхности вращающейся жидкости (скорость потока пульпы, плотность питания) при доводке золотосодержащих продуктов обогащения. Экспериментальные исследования проводились на тонкоиз-

мельченных рудных материалах с применением флотации в центробежном поле вращения жидкости. Предварительно проводился комплекс исследований по изучению минерально-вещественного состава используемых материалов с использованием существующих методик.

На рис. 1 представлен экспериментальный стенд, состоящий из лабораторного образца центробежной флотомашины с центральной разгрузкой концентрата (ЦФМ) и лабораторной флотомашины ФЛ 240-А. Центробежная флотомашина устанавливается таким образом, чтобы пенный продукт лабораторной флотомашины ФЛ 240-А подавался самотеком в центробежную флотомашину. Патрубок для вывода концентрата диаметром 8 мм установлен на высоту 80 мм.

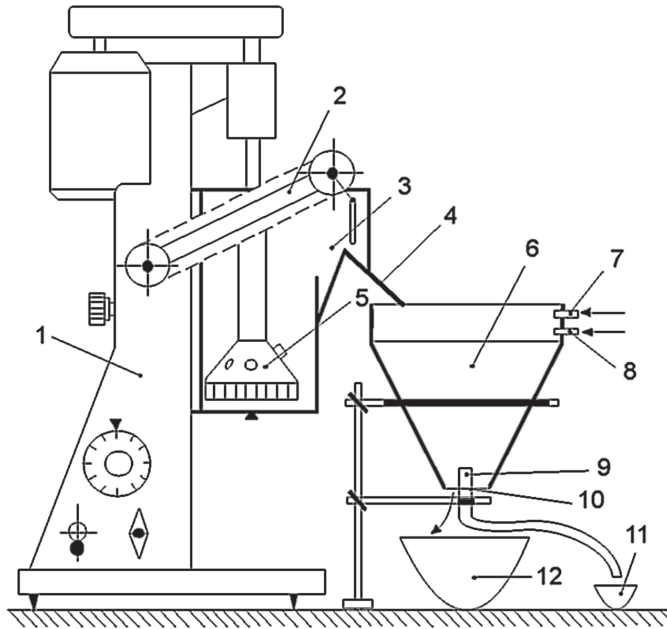


Рис. 1. Экспериментальный стенд: 1 – Лабораторная флотомашина ФЛ 240-А; 2 – рычаг пеногона с лопаткой; 3 – камера флотомашины; 4 – желоб для транспортировки концентрата в центробежную флотомашину; 5 – блок импеллера; 6 – центробежная флотомашина (ЦФМ); 7 – патрубок для подачи воды; 8 – патрубок для подачи воздуха; 9 – патрубок для разгрузки концентрата; 10 – отверстие для вывода хвостов; 11 – емкость для сбора концентрата; 12 – емкость для сбора хвостов флотации

Fig. 1. Test bench: 1—laboratory flotation machine; 2—level of foam unit with a blade; 3—flotation machine cell; 4—chute to feed concentrate to CFM; 5—impeller assembly; 6—centrifugal flotation machine; 7—water feed pipe; 8—concentrate discharge pipe; 10—outlet for tailings; 11—concentrate reservoir; 12—tailings reservoir

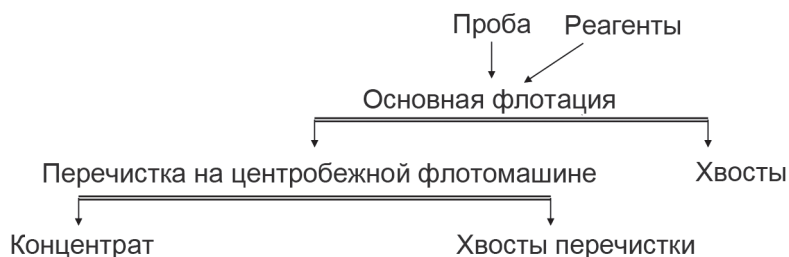


Рис. 2. Схема флотации пробы
Fig. 2. Flotation circuit

Агитация и флотация пробы проводится в лабораторной флотомашине. Пенный продукт (концентрат основной флотации) направляется на перечистную операцию в центробежную флотомашину, подается непосредственно на поверхность вращающейся жидкости. Для флотации отобраны богатые по содержанию полезных компонентов пробы продуктов обогащения золото-сурьмяной руды. Крупность исходной пробы концентрата флотации – 0,074 мм, реагентный режим: ксантогенат калия – 150 г/т, сосновое масло, при pH = 7,2. Схема флотации с перечисткой концентрата основной флотации представлена на рис. 2.

Наиболее устойчивый уровень и стабильный профиль воронки наблюдается на конусе с углом 60 град, (рис. 3), при этом за основу критерия выбора конфигурации разделительного конуса при-

нята стабильность нижнего воздушного столба, так как в разделительном процессе отсекание продуктов разделения производится установкой соосно устанавливаемого круглого патрубка для улавливания приповерхностных слоев и камерного продукта, выделяемого по периферийной зоне разгрузочного нижнего отверстия. Верхний диаметр участка перегиба составляет 2,5 см, высота воздушного столба 20 см.

При выборе диаметра и высоты установки отсекающего патрубка определен оптимальный диаметр 8 мм, при расположении верхнего его края на высоте 140 мм от нижнего основания конуса.

Скорость движения потока пульпы определяется по формуле:

$$V = Q_{\text{общ}} / F,$$

где: Q – общий расход воды, л/мин; F – площадь общего сечения нижнего отверстия, см².

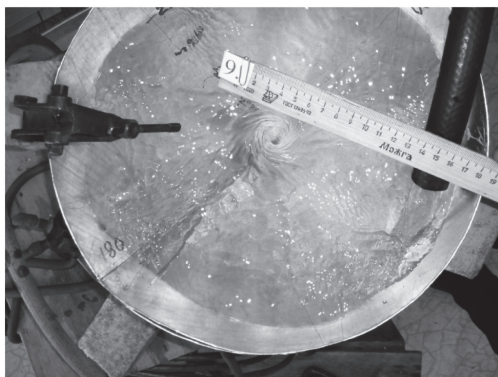


Рис. 3. Образование водной воронки при истечении жидкости из нижнего отверстия в конусе
Fig. 3. Formation of funnel when water flows out of the lower hole of the cone

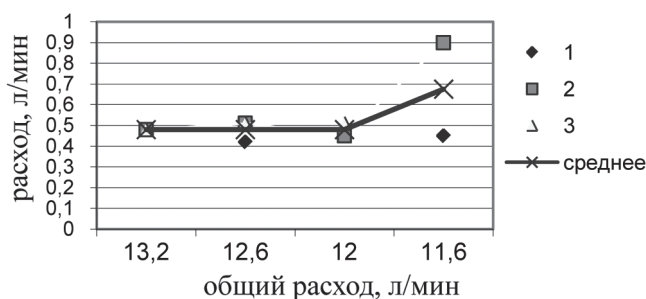


Рис. 4. Зависимость расхода воды по патрубку $d = 8$ мм, $h = 140$ мм

Fig. 4. Curve of water flow rate in the pipe $d = 8$ mm, $h = 140$ mm

Для частиц флотационной крупности максимальная крупность частицы принимается 100 мкм. Минимальная толщина снимаемого слоя воды составляет 0,3 мм. При минимальной толщине снимаемого слоя, диаметре нижнего отверстия 24 мм, при общем расходе воды 11,6 л/мин скорость потока составляет 47,27 см/с. При флотации в центробежной флотомашине с центральной разгрузкой концентрата разделение минеральных частиц происходит по гидрофобности в тонком слое на поверхности вращающегося потока воды (пульпы), экспериментально определена рациональная плотность питания Т:Ж — 1:2. В результате проведенных исследований по-

лучено максимальное содержание золота в концентрате до 54,1 г/т, при извлечении 68,7%, степень концентрации золота составила 2,6.

Экспериментальными исследованиями по доводке пробы концентрата флотации золото-сурьмяной руды месторождения «Сарылах» на центробежной флотомашине с центральной разгрузкой концентрата (разработка ИГДС СО РАН) достигнута степень концентрации золота до 2,6. Наиболее рациональные условия извлечения золота (извлечение в концентрат — 68,7%, содержание — 54,1 г/т) получены при скорости потока пульпы в камере флотомашины 0,45 м/с и соотношении Т:Ж питания 1:2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чантурия В. А., Лавриненко А. А., Краснов Г. Д. Повышение эффективности флотации на основе использования энергетических воздействий // Горный журнал. — 2006. — № 10. — С. 48–52.
2. Лавриненко А. А., Краснов Г. Д. Современное состояние и основные направления создания флотационной техники // Горный журнал. — 2007. — № 2. — С. 108–117.
3. Арсентьев В. А., Вайсберг Л. А. Направления создания технологий и аппаратов для обогащения тонкоизмельченного минерального сырья с минимизацией использования воды / Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья. Материалы научного совещания. — Караганда: ТОО «Арко», 2014. — С. 6–9.
4. Рубинштейн Ю. Б., Перельман Э. Я., Спиваковский И. Н. Центробежные пневматические флотационные машины в СССР и за рубежом: обзорная информация. Вып. 1. Горное оборудование. Сер. 2. — М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1988. — 24 с.
5. Горбунова Т. Г., Фролов Ю. И. Исследование комбинированной технологии доводки флотационных золото- и серебросодержащих концентратов / Разработка технологии обогащения рудных и россыпных месторождений: Сборник научных трудов. — Магадан: ВНИИ-1, 1985. — С. 3–9.
6. Матвеев А. И., Саломатова С. И. Флотация золота на поверхности вращающейся жидкости / Отв. ред. В. Е. Филиппов. — Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2008. — 141 с.

7. *Antimony from the lowveld, South Africa* // Mining and Engineering Journal, 1961, 72, part 2, no 3578, Sept. 1, p. 527.

8. *John V. Beall Coeur d'Alene Profile—1966* // Mining Engineering, 1966, v. 12, no 7, July, p. 164.

9. *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 ИГДС; заявление 25.05.2000; опубл. 27.06.2002 // Изобретения. Полезные модели. — 2002. — № 18. — ч. 2. — С. 170.

10. *Саломатова С.И., Матвеев А.И.* Патент № 2460586 Российская Федерация. МПК В03Д1/24. Центробежная флотационная машина; заявитель и патентообладатель Учреждение Российской академии наук 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.

11. *Саломатова С.И.* Применение центробежной флотации при обогащении золотосодержащих продуктов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — СВ 24 Геомеханические и геотехнологические проблемы освоения недр Севера. — С. 240–246.

12. *Болтухаев Г.И., Соложенкин П.М.* Переработка крупнообъемных проб золото-сурьмяных руд Сентачанского месторождения // Цветные металлы. — 2009. — № 4. — С. 41–44. **ИВАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Саломатова Светлана Ивановна — кандидат технических наук, ученый секретарь, e-mail: ssalomatova@mail.ru, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 11, pp. 186–191.

Research findings on final scavenging of gold-bearing concentrates

Salomatova S.I., Candidate of Technical Sciences, Scientific Secretary, e-mail: ssalomatova@mail.ru, Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 678980, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia.

Abstract. One of the methods of improving efficiency of flotation is application of additional centrifugal forces in rotation of flotation solution—centrifugal flotation. In the flotation technique developed at the Institute of Mining of the North, SB RAS, mineral particles are separated with respect to the hydrophobic behavior in a thin surface layer of rotating water flow (pulp). This article describes the results of the experimental research into treatment of gold–antimony ore processing products by centrifugal flotation. The research was implemented on a test bench using laboratory centrifugal flotation machine (CFM) with the center discharge of concentrate. The rational parameters of flotation on the surface of rotation fluid (pulp flow velocity, feed density) are determined for the final scavenging of gold-bearing concentrates. The best gold recovery of 68.7% in concentrate at the content of 54.1 g/t is reached at the pulp flow velocity of 0.45 m/s and the solid/liquid ratio of 1:2; the rate of gold concentration is 2.6. It is found that combination of the centrifugal force of fluid flotation and the hydrophobic properties of minerals improves selectivity of mineral separation; the centrifugal flotation machine is usable for scavenging of concentrates with a view to increasing their quality.

Key words: beneficiation, centrifugal flotation, mineral particle, hydrophobic behavior concentrate, recovery, concentration rate.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-186-191

REFERENCES

1. Chanturiya V.A., Lavrinenko A.A., Krasnov G.D. Povyshenie effektivnosti flotatsii na osnove ispol'zovaniya energeticheskikh vozdeystviy [Improvement of flotation efficiency by energy deposition], *Gornyy zhurnal*. 2006, no 10, pp. 48–52. [In Russ].

2. Lavrinenko A.A., Krasnov G.D. Sovremennoe sostoyanie i osnovnye napravleniya sozdaniya flotatsionnoy tekhniki [Current state and basic trends in flotation equipment engineering], *Gornyy zhurnal*. 2007, no 2, pp. 108–117. [In Russ].

3. Arsent'ev V.A., Vaysberg L.A. Napravleniya sozdaniya tekhnologii i apparatov dlya obogashcheniya tonkoizmel'chennogo mineral'nogo syr'ya s minimizatsiey ispol'zovaniya vody [Trends in creation of technologies and equipment for processing of finely ground minerals at the minimized water consumption]. *Progress*

svinye metody obogashcheniya i kompleksnoy pererabotki prirodnogo i tekhnogennogo mineral'nogo syr'ya. Materialy nauchnogo soveshchaniya. Karaganda: TOO «Arko», 2014, pp. 6–9. [In Russ].

4. Rubinshteyn Yu. B., Perel'man E. Ya., Spivakovskiy I. N. Tsentrobezhnye pnevmaticheskie flotatsionnye mashiny v SSSR i za rubezhom: obzornaya informatsiya. Vyp. 1. Gornoe oborudovanie. Ser. 2. [Centrifugal pneumatic flotation machines in the USSR and abroad: overview information. Issue 1. Mining equipment. Series 2], Moscow, TSNITElyazhmash, 1988, 24 p.

5. Gorbunova T. G., Frolov Yu. I. Issledovanie kombinirovannoy tekhnologii dovodki flotatsionnykh zoloto- i serebrosoderzhashchikh kontsentratov [Analysis of combination technology for cleanup of gold- and silver-bearing flotation concentrates]. *Razrabotka tekhnologii obogashcheniya rudnykh i rossypanykh mestorozhdeniy*: Collection of scientific papers. Magadan, VNII-1, 1985, pp. 3–9.

6. Matveev A. I., Salomatova S. I. *Flotatsiya zolota na poverkhnosti vrashchayushcheyasya zhidkosti*. Pod red. V. E. Filippov [Gold flotation on the surface of rotating fluid. Filippov V. E. (Ed.)], Yakutsk, Izd-vo YANTS SO RAN, 2008, 141 p.

7. Antimony from the lowveld, South Afric. *Mining and Engineering Journal*, 1961, 72, part 2, no 3578, Sept. 1, p. 527.

8. John V. Beall Coeur d'Alene Profile—1966. *Mining Engineering*, 1966, v. 12, no 7, July, p. 164.

9. Matveev A. I., Salomatova S. I., YAKovlev V. B., Monastirev A. M., Ereemeeva N. G., Sleptsova E. S. *Patent RU 2183998, 7V03D 1/02 1/24. 27.06.2002.*

10. Salomatova S. I., Matveev A. I. *Patent RU 2460586. MPK B03D1/24. 10 09.2012.*

11. Salomatova S. I. Primenenie tsentrobezhnoy flotatsii pri obogashchenii zolotosoderzhashchikh produktov [Centrifugal flotation in processing of gold-bearing products], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017. Special edition 24, pp. 240–246. [In Russ].

12. Boltukhaev G. I., Solozhenkin P. M. Pererabotka krupnoob'emnykh prob zoloto-sur'myanykh rud Sentachanskogo mestorozhdeniya [Processing of large gold-antimony ore samples at the Sentachan deposit], *Tsvetnye metally*. 2009, no 4, pp. 41–44. [In Russ].



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ В ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОКОВ С ТЕРРИТОРИЙ ГОРНО-ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ (2018, № 8, СВ 41, 12 с.)

Ульрих Дмитрий Владимирович — кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой,
Южно-Уральский государственный университет (НИУ), e-mail: ulrikhdv@susu.ru.

Рассмотрена проблема возникновения загрязненных поверхностных стоков с техногенно-нагруженных территорий горно-перерабатывающих предприятий, которые образуются благодаря дождевым и талым стокам и, обогащаясь через отвалы и пиритовые отложения тяжелыми металлами и другими компонентами, загрязняют водные объекты. Проблема снижения высоких концентраций тяжелых металлов в поверхностных сточных водах решается за счет природоподобных технологий с применением природных сорбентов и фитоматериалов. Для высокоэффективной очистки загрязненных стоков предложено использование сорбционно-габионных модулей с использованием природных сорбентов. Представлена разработанная автором комплексная технология ремедиации почв и атмосферных стоков с использованием многолетних растений и сорбционно-габионных модулей.

Ключевые слова: поверхностный сток, тяжелые металлы, глауконит, вспученный перлит, опока, древесная щепка, активированный уголь, дробленый антрацит, сорбционно-габионный модуль.

USE OF NATURAL SORBENTS IN THE PURIFICATION TECHNOLOGIES OF SURFACE RUNOFF FROM THE TERRITORIES OF MINING AND PROCESSING ENTERPRISES

Ul'rikh D.V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Head of Chair,
South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia, e-mail: ulrikhdv@susu.ru.

The article deals with the problem of contaminated surface runoff from technogenically loaded areas of mining and processing enterprises, which are formed due to rain and melt runoff and enriched through dumps and pyrite deposits with heavy metals and other components pollute water bodies. To solve the problem of reducing the high concentrations of heavy metals in surface runoff waters is possible due to the technologies that resemble natural ones using natural sorbents and pilomaterilov. The use of sorption-gabion modules with the use of natural sorbents is proposed for highly effective treatment of contaminated effluents. To maximize the extraction of pollutants and reduce the cost of wastewater treatment technologies, the author proposes to use the composition of the most effective sorbents in the sorption-gabion modules. The complex technology of soil remediation and atmospheric runoff with the use of perennial plants and sorption-gabion modules developed by the author is presented.

Key words: surface runoff, heavy metals, glauconite, swollen vermiculite, swollen perlite, flask, wood chips, activated carbon, crushed anthracite, sorption-gabion module.