

УДК 622.765

О. Ю. ПОПЕРЕЧНИКОВА, Е. Н. ШУМСКАЯ, С. П. НАГАЕВА (ЗАО «НПО «РИВС»)

ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ФЛОТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕМАТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ ОКИСЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ



О. Ю. ПОПЕРЕЧНИКОВА,
зав. сектором



Е. Н. ШУМСКАЯ,
ведущий научный сотрудник,
канд. техн. наук



С. П. НАГАЕВА,
минералог

Окисленные железистые кварциты попутной добычи магнетитовых руд являются перспективным и экономичным источником роста производства концентратов без увеличения объемов добычи магнетитовых руд.

В процессе добычи и переработки магнетитовых руд на железорудных предприятиях доля окисленных железистых кварцитов достигает 10–30 %, которые на 90 % теряются с хвостами переработки.

Авторами разработана технология переработки гематитовых руд и проведены ее успешные полупромышленные испытания.

Ключевые слова: окисленные железистые кварциты, вкрапленность, флотация, полупромышленные испытания, амины.

На железорудных предприятиях доля окисленных руд достигает 10–30 %, из которых 90 % (отн.) теряются с хвостами магнитного обогащения.

В России и Украине основным источником получения железистых концентратов являются магнетитовые руды. Окисленные железные руды не обогащаются, так как в настоящее время нет эффективной технологии их переработки.

Вовлечение в переработку окисленных железистых кварцитов является потенциальным источником роста производства концентратов без увеличения объемов добычи магнетитовых руд.

За рубежом в течение последних 30 лет освоено обогащение слабомагнитных, преимущественно гематитовых руд с применением различных способов обогащения.

Гематитовые руды по своим текстурно-структурным особенностям делятся на руды с тонкой, средней и крупной вкрапленностью. Для разделения рудных и нерудных минералов применяют гравитационный, магнитный и флотационный методы, а также их комбинацию. Богатые руды (более 40 % Fe) в массиве крупно- и средневкрапленные, бедные руды тонковкрапленные (рис. 1).

По заказу Ингулецкого ГОКа (Украина) НПО «РИВС» в 2013 г. выполнило работу по определению целесообразности вовлечения в промышленную переработку окисленных кварцитов.

В лабораторных условиях на представительной пробе руды окисленных кварцитов Ингулецкого месторождения были прове-

дены испытания различных методов ее обогащения: тя-желосредняя сепарация, отсадка, разделение на концентратном столе и на винтовых сепараторах, сухая и мокрая магнитная сепарации, прямая и обратная флотация, испытаны также комбинированная гравитационно-магнитная и магнитно-флотационная технологии [1].

Для каждого из вышеперечисленных методов при проведении лабораторных исследований определяли оптимальную крупность руды и соответствующие параметры технологического процесса.

По минеральному составу окисленные железистые кварциты данного месторождения относятся к преимущественно тонковкрапленному типу руд (рис. 2), в которых минералы железа представлены слабомагнитными разновидностями: гематитом в виде мартита, железной слюдой, гидроксидами железа (гётитом, гидрогётитом), железистыми силикатами.

В целом минеральный состав пробы следующий, %: 39,8 гематит; 3,6 магнетит; 2,5 гидроксида железа; 46,4 кварц; 4,9 силикаты; 2,6 карбонаты.

Таким образом, основная масса железа связана с гематитом — 83 % (отн.) и магнетитом — 7,8 % (отн.). Некоторая доля железа приходится на железосодержащие нерудные минералы: анкерит, доломит (1,2 %) и амфиболы различного состава (3,3 %).

Раскрытие рудных минералов происходит только при измельчении руды до 75–85 % класса –44 мкм. Доля свободных от сростков зерен гематита при этом составляет ~84 %, из них 41,3 % (отн.) находятся в классе –10 мкм. Нерудные минералы раскрыты на 76,7 %, 84 % (отн.) из них приходится на благоприятный для обратной катионной флотации класс крупности –40+10 мкм. Таким образом, установлено, что извлечение гематита из руды ввиду его тонкой вкрапленности любыми методами обогащения затруднительно, тогда как морфология зерен кварца благоприятна для извлечения его флотационным методом.

Крупновкрапленные гематитовые руды успешно отделяются магнитной сепарацией в высокоградиентном магнитном поле. Для тонковкрапленных руд этот метод не применяют ввиду низкой контрастности магнитных свойств рудных и нерудных минералов, обусловленной наличием большого количества сростков при грубом измельчении руды; невысокой селективности магнитного обогащения при тонком измельчении; нестабильности процесса в связи с изменчивостью вещественного состава и характера вкра-

© Поперечникова О. Ю., Шумская Е. Н., Нагаева С. П., 2014

пленности окисленных кварцитов. Наличие в руде магнетита также затрудняет процесс разделения.

Одним из перспективных методов обогащения окисленных кварцитов является флотация, широко применяемая на зарубежных фабриках и позволяющая получать концентраты высокого качества.

В ходе исследований вещественного состава и обогатимости руды наиболее высокие показатели получены по стадияльной флотационной схеме с последовательным выделением отвальных хвостов [1].

Флотиремость кварца и других силикатных минералов значительно отличается и зависит не только от химического состава минерала, водной фазы флотационной пульпы, но и от его гранулометрического состава [2].

Разработанная в лабораторных условиях технология в сентябре — ноябре 2013 г. была испытана на Государственном предприятии «Дирекция Криворожского горно-обогатительного комбината окисленных руд» (Украина).

В полупромышленных условиях испытаны два варианта схем измельчения руды. По *первому варианту* измельчение проводили в одну стадию в шаровой мельнице и при двойной классификации — в спиральном классификаторе и гидроциклоне с получением слива крупностью 88,7 % класса –44 мкм. Гематит и магнетит в сливе гидроциклона при этом были раскрыты на 73,5 % (отн.); в сростках с нерудными минералами они представлены зернами крупностью –40 мкм. Доля рудных минералов в классе –5 мкм составила 7,1 % (отн.). Нерудные минералы раскрыты на 64,4 % (отн.), из них более 85 % сконцентрированы в классе –40 мкм. Основная часть сростков рудных и нерудных минералов (более 90 %) находилась в классе +10 мкм (рис. 3).

По *второму варианту* измельчение проводили в две стадии с применением шаровой мельницы в I стадии и вертикальной мельницы Vertimill — во II стадии до конечной крупности 91,6 % класса –45 мкм. В сливе гидроциклона II стадии измельчения наблюдалось сильное переизмельчение рудных минералов: при степени их раскрытия 82,6 % (отн.) более 90 % свободных зерен находилось в классе –40 мкм, из них 30 % — в классе –5 мкм. В сростках с нерудными минералами гематит и магнетит были представлены зернами –40 мкм, среди которых более 40 % (отн.) приходилось на класс –5 мкм. Нерудные минералы были

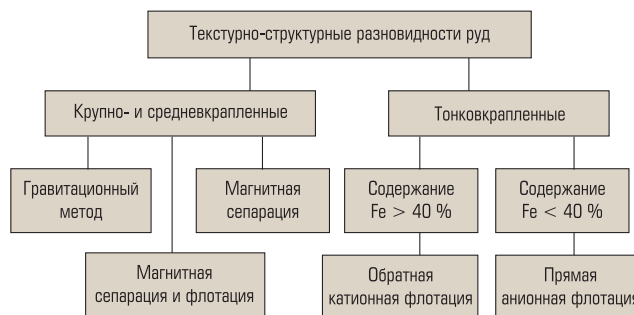
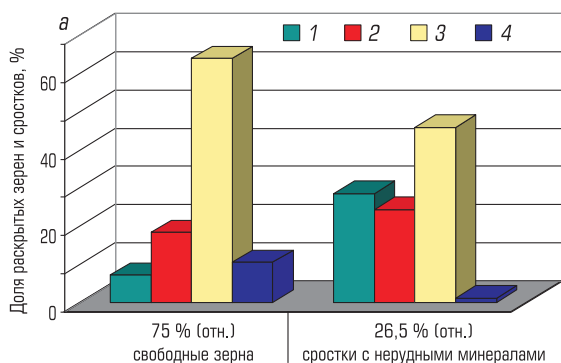


Рис. 1. Критерии выбора разделительных признаков при обогащении железистых кварцитов

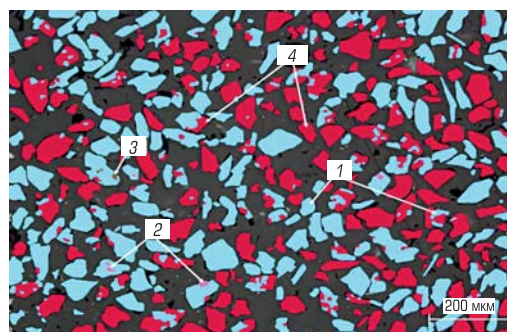


Рис. 2. Гематитовые кварциты Ингулецкого месторождения. Фазовая карта (электронный сканирующий микроскоп): 1 — гематит; 2 — магнетит; 3 — гётит; 4 — нерудные минералы

раскрыты на 70 %, основная часть свободных зерен содержится в классе –40+10 мкм. Сростки нерудных минералов с гематитом и магнетитом на 95 % представлены зернами крупностью –40 мкм. (рис. 4).

По результатам полупромышленных испытаний выбрана одностадийная схема измельчения с двойной последовательной классификацией в спиральном классификаторе и гидроциклоне, поскольку она обеспечивает более благоприятные для флотации показатели раскрытия минералов при минимальном переизмельчении (рис. 5).

Испытания флотационной схемы обогащения (рис. 6) проводили в два этапа, что было обусловлено следующими обстоятельствами:

- необходимостью сгущения концентрата I контрольной фло-

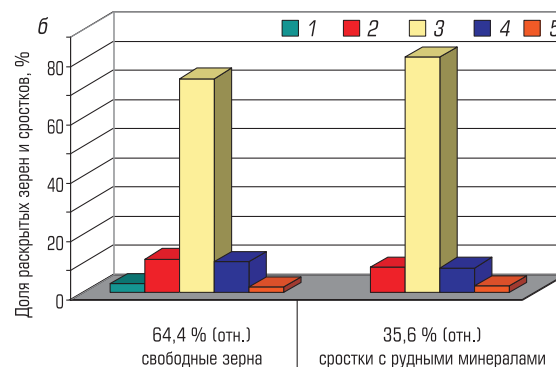


Рис. 3. Раскрытие рудных (гематит + магнетит) (а) и нерудных (б) минералов различной крупности (мкм) при применении I варианта схемы измельчения: 1 — <5; 2 — (-10+5); 3 — (-40+10); 4 — (-100+40); 5 — >100

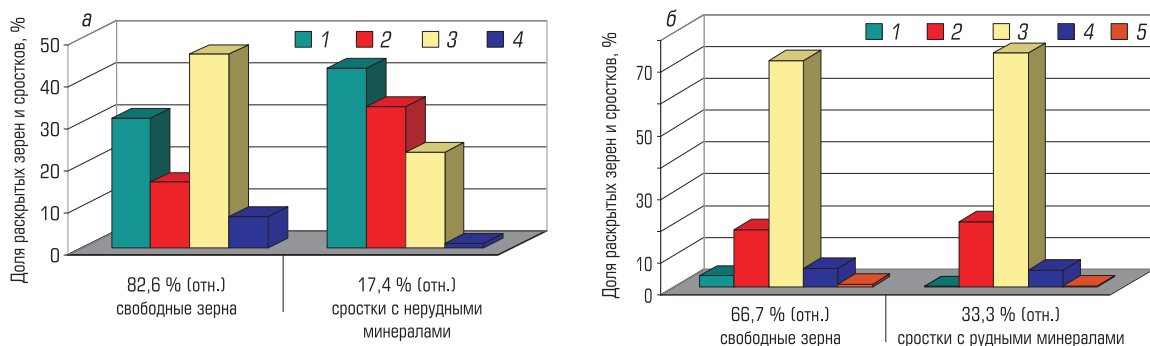


Рис. 4. Раскрытие рудных (гематит + магнетит) (а) и нерудных (б) минералов различной крупности (мкм) при применении II варианта схемы измельчения:

1 — <5; 2 — (-10+5); 3 — (-40+10); 4 — (-100+40); 5 — >100

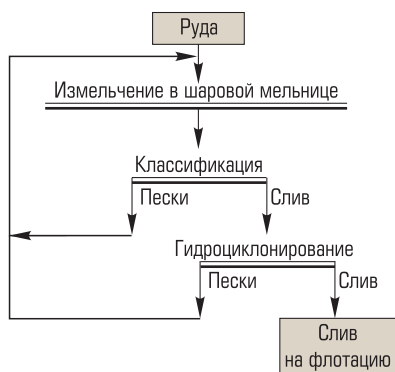


Рис. 5. Схема одностадийного измельчения руды в период полупромышленных испытаний

тации с целью получения продукта заданной плотности перед операцией оттирки;

- недостаточным числом флотационных камер.

Испытания проведены в непрерывном режиме в течение 72 ч с использованием оборотной воды Ингулецкого ГОКа. В качестве собирателя для флотации кварца использован реагент на основе эфиров первичных моноаминов, для депрессирования магнетита

— гидролизированный крахмал.

В результате полупромышленных испытаний при работе установки на I этапе в течение 72 ч и на II этапе — в течение 2 сут получен флотационный концентрат, содержащий 65,5 % Fe при извлечении 78,65 %. Содержание SiO₂ в гематитовом концентрате составило 4,09 % (см. таблицу).

Гематитовый концентрат (рис. 7), полученный по разработанной технологии, представлен на ~95 % (абс.) рудными минералами. Нерудные минералы представлены кварцем, амфиболами, полевыми шпатами, слюдой и гидрослюдами, а также карбонатами. Основная часть сростков нерудных минералов с гематитом находится в классе -40 мкм.

В соответствии с требованиями ГОСТ 21043-87 определена удельная поверхность гематитового концентрата на приборе NOVA1200e, она составила 3,701 м²/г.

Совместно с компанией ООО «Коралайн Инжиниринг» проведены полупромышленные испытания процесса пресс-фильтрации гематитового концентрата на опытной установке. Влажность полученного кека находилась в пределах от 4 до 9 %, что позволяет исключить операцию сушки концентрата.

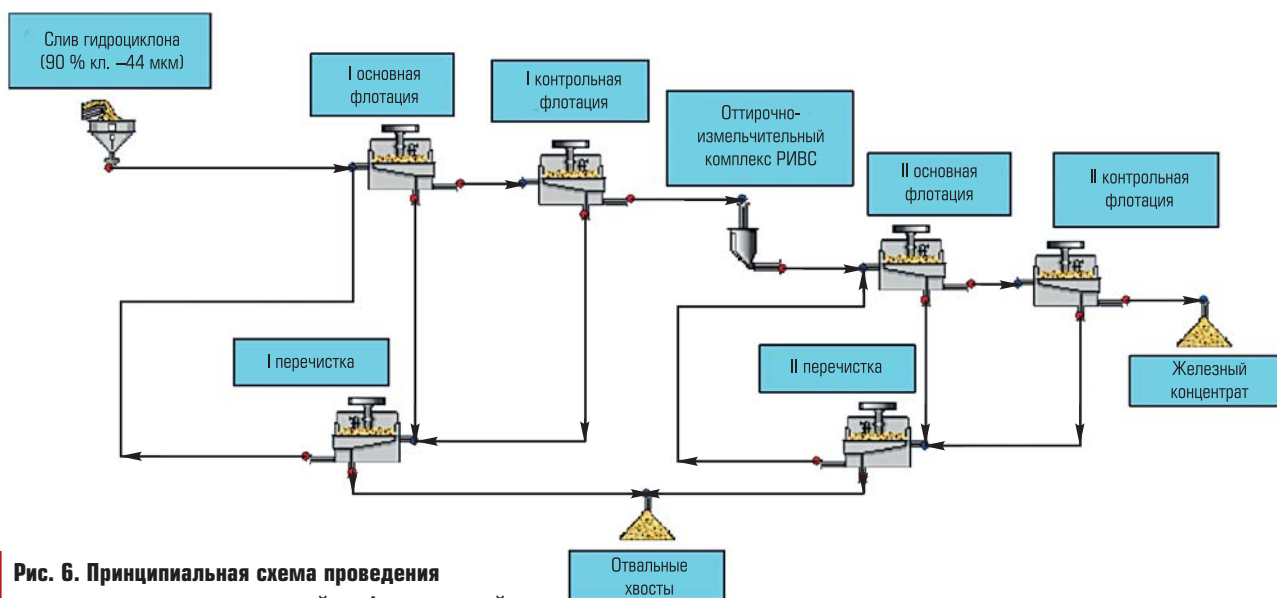


Рис. 6. Принципиальная схема проведения полупромышленных испытаний по флотационной технологии переработки окисленных железистых кварцитов

Технологические показатели полупромышленных испытаний

Продукт	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Fe _{общ}	SiO ₂	Fe _{общ}	SiO ₂
Гематитовый концентрат	40,3	65,5	4,09	78,65	3,25
Отвальные хвосты	59,7	12	82,26	21,35	96,75
Руда	100	33,56	50,76	100	100

Для оценки воздействия технологии с использованием флотореагентов фирмы Clariant на объекты окружающей среды определено содержание флотореагентов в твердой, водной и воздушной среде.

Проектом предполагается, что хвостовая пульпа флотационного обогащения гематитовых руд будет сбрасываться в хвостохранилище совместно с хвостами обогащения магнетитовых руд, которые будут разбавлять ее в 121,7 раза. В условиях лаборатории проведено смешивание пульпы хвостов обоих видов. Установлено, что концентрация реагента Flotigam EDA в водной фазе пульпы объединенных хвостов составляет от 0,082 до 0,09 мг/л через 10 мин после смешивания. Через 2 ч от момента смешивания, согласно результатам спектрофотометрического анализа, реагент в пробе не обнаружен.

Выполненная научно-практическая работа по обогащению окисленных железистых кварцитов является технологическим прорывом в области переработки железосодержащего минерального сырья и может быть использована в практике работы аналогичных предприятий.

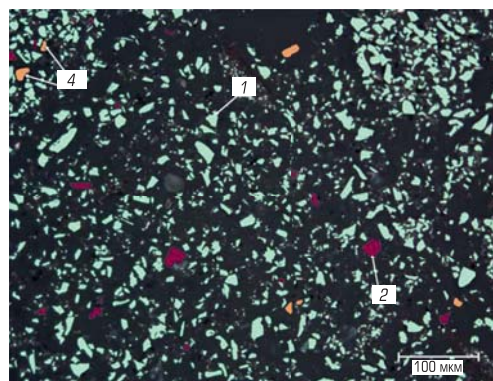


Рис. 7. Гематитовый концентрат. Отраженный свет, николи параллельны, темное без рельефа — компаунд:
1 — гематит; 2 — магнетит; 3 — гётит; 4 — нерудные минералы

Библиографический список

1. Шумская Е. Н., Поперечникова О. Ю. Разработка эффективной технологии обогащения окисленных железистых кварцитов // Горный журнал. 2012. № 11. С. 52–55.
2. Nagaraj D. R. et al. Non-Sulfide Mineral Flotation: An Overview, Proceedings of Symp. Honoring M. C. Fuerstenau, Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Littleton, CO, 1999.

*Поперечникова Ольга Юрьевна,
Шумская Елена Николаевна:
e-mail: rivs@rivs.ru
Нагаева Светлана Петровна,
e-mail: SPN@yandex.ru*

"GORNYI ZHURNAL"/"MINING JOURNAL", 2014, № 11, pp. 40–43	
Title	Semi-industrial researches of flotation technology of hematite concentrate obtaining from oxidized ferruginous quartzites
Author 1	Name & Surname: Poperechnikova O. Yu.
	Company: RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Head of subdivision
	Contacts: e-mail: rivs@rivs.ru
Author 2	Name & Surname: Shumskaya E. N.
	Company: RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Principal Researcher
Author 3	Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences
	Name & Surname: Nagaeva S. P.
	Company: RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Engineer—Mineralogist
Abstract	Contacts: e-mail: SPN@yandex.ru
	Implication of oxidized ferruginous quartzites as preproduction mining product in mineral dressing circuit is a promising and cost-effective way of enhancing production of concentrate without expansion of magnetite ore output. In magnetite ore mining and processing, oxidized ore makes 10–30 % out of which 90 % is lost in tailings. For recent 30 years foreign countries have mastered various technologies of dressing weak-magnetic, mainly hematite ore. Against order of the Inguletsky Mining-and-Processing Integrated Works (Ukraine), RIVS has accomplished R&D and semi-commercial testing aimed to assess practicality of oxidized quartzite processing. Currently unmined, hematite quartzites are the feedstock for Krivoi Rog MPIW and for future preparation plants of various MPIWs and mines in the Krivoi Rog Iron Ore Basin. In view of fine dissemination of oxidized quartzites extracted from Inguletsky deposit (in the mean, grains of hematite are 10–50 μm in size, grains of quartz are 50–70 μm in size), the main objective of the laboratory research was to find an optimal dressing method. Magnetic concentration of fine-disseminated ore is imperfect for: low contrast between properties of metallic and nonmetallic minerals as a consequence of a huge amount of intergrown pieces in coarse grinding; poor selectivity of magnetic concentration in fine grinding of ore up to 90–95 % content of 0.045 mm size grade, while the content of 10 μm size reaches 46.71 %; instability of magnetic concentration due to variability of material constitution and dissemination of oxidized quartzites. For these reasons, gravity concentration is low efficient. Thus, the only feasible method is flotation. The technology developed based on the research findings and its semi-commercial trail confirmed practicability of hematite ore processing.
Keywords	Oxidized ferruginous quartzites, dissemination, flotation, semi-commercial trail, amines.
References	1. Shumskaya E. N., Poperechnikova O. Yu. Razrabotka effektivnoy tekhnologii obogashcheniya oksislennykh zhelezistykh kvartsitov (Development of efficient concentration technology of oxidized ferruginous quartzites). Gornyi Zhurnal = Mining Journal. 2012. No. 11. pp. 52–55. 2. Nagaraj D. R. et al. Non-Sulfide Mineral Flotation: An Overview, Proceedings of Symposium. Honoring M. C. Fuerstenau. Society of Mining, Metallurgy and Exploration Inc., Littleton, CO, 1999.