

ПОЛУЧЕНИЕ ГЕМАТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ ГЕМАТИТ-МАГНЕТИТОВЫХ РУД

А.Е. Пелевин

Уральский государственный горный университет

Аннотация: Основными полезными минералами гематит-магнетитовых руд являются магнетит и гематит. Магнетит обогащают по схеме с использованием мокрой магнитной сепарации в слабом магнитном поле с получением магнетитового концентрата и немагнитного продукта. Немагнитный продукт является питанием схемы обогащения гематита. При крупности зёрен гематита менее 0,05 мм получение концентрата с массовой долей железа более 58–60 % затруднительно. Для получения гематитового концентрата из тонковкрапленных гематит-магнетитовых руд разработаны магнитно-гравитационные и магнитно-флотационные схемы. В настоящей работе рассмотрена магнитно-гравитационная схема обогащения гематита с крупностью зёрен менее 0,05 мм. В первой операции схемы используется тонкое грохочение для удаления крупных частиц. Второй операцией схемы является высокоградиентная магнитная сепарация. Технологические результаты обогащения в высокоградиентном сепараторе зависят от минерального состава исходной руды и от раскрытия минералов. В тонковкрапленных магнетит-гематитовых рудах породные минералы представлены в основном кварцем и амфиболами. Магнитные свойства гематита и амфиболов одинаковы. Поэтому в магнитный продукт высокоградиентной сепарации попадают гематит, амфиболы и сростки кварца с магнетитом. Содержание железа в магнитном продукте составило 28,9 %. Поэтому необходимо дальнейшее обогащение. Для обогащения магнитного продукта высокоградиентной сепарации можно использовать гравитационное обогащение. Гравитационное обогащение выполнено на центробежном концентраторе, на отсадочной машине, на винтовом сепараторе и шлюзе, на концентрационном столе. Лучшие результаты достигнуты с применением шламового концентрационного стола. Получен концентрат с содержанием железа 62,3 %.

Ключевые слова: магнетит, гематит, амфиболы, высокоградиентная магнитная сепарация, гравитационное обогащение, гематитовый концентрат.

Для цитирования: Пелевин А.Е. Получение гематитового концентрата из гематит-магнетитовых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3-1. – С. 422–430. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-422-430.

Production of hematite concentrate from hematite–magnetite ore

A.E. Pelevin

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract: The main useful minerals in composition of hematite–magnetite ore are magnetite and hematite. Magnetite is extracted by wet magnetic separation in weak magnetic field with production of magnetite concentrate and nonmagnetic product. The nonmagnetic product is a feed of the processing circuit for hematite. It is difficult to produce concentrate with iron content of

58–60 mass % if hematite grains are smaller than 0.05 mm. For hematite concentrate production from finely disseminated hematite–magnetite ore, the magnetic–gravitation and magnetic–flotation circuits are designed. This article discusses the magnetic–gravitational separation circuit for hematite grains smaller than 0.05 mm. The first stage of this circuit is fine screening intended to remove large particles. The second stage is high-gradient magnetic separation. The high-gradient separator performance depends on the mineral composition of initial ore and on the rate of mineral dissociation. In finely disseminated hematite–magnetite ore, the associate minerals are mainly represented by quartz and amphiboles. Magnetic properties of hematite and amphiboles are similar. For this reason, the high-gradient magnetic separation product contained hematite, amphiboles and quartz–magnetic accretions. The iron content of the magnetic product was 28.9 %. Thus, additional treatment is required, and separation by gravity is applicable in this case. The gravitational separation was carried out on centrifugal concentrator, jiggling machine, spiral separator and sluice, and on concentration table. The best results are obtained on the concentration table. The iron content of the final concentrate was 62.3 %.

Key words: magnetite, hematite, amphiboles, high-gradient magnetic separation, gravitational separation, hematite concentrate.

For citation: Pelevin A.E. Production of hematite concentrate from hematite–magnetite ore. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3-1):422-430. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-422-430.

Введение

Основными полезными минералами гематит-магнетитовых руд являются магнетит и гематит. Магнетит обогащают по стандартной схеме с использованием мокрой магнитной сепарации в слабом магнитном поле (ММС) с получением магнетитового концентрата и немагнитного продукта. Немагнитный продукт является питанием схемы обогащения гематита, которая зависит от крупности зёрен гематита и минерального состава гематит-магнетитовой руды.

Если в исходной руде низкое содержание слабомагнитных породных минералов, то с помощью высокоградиентной магнитной сепарации (ВГМС) получают готовый гематитовый концентрат [1–4]. К таким рудам можно отнести богатые итабиритовые руды Бразилии и магнетит-гематитовые разновидности гематитовых кварцитов России.

Если в исходной руде высокое содержание слабомагнитных породных минералов, то с помощью магнитной сепарации получают черновой гема-

титовый концентрат, который дообогашают с помощью других методов (гравитационных, флотационных, электрических). К таким рудам относятся железистые кварциты, преимущественно силикат-гематит-магнетитовой разновидности.

В основном применяются комбинированные схемы, включающие несколько методов обогащения — магнитно-гравитационные и магнитно-флотационные схемы [5–8].

При крупности гематита менее 0,071 мм наибольшее распространение получили магнитно-флотационные схемы. В большинстве случаев используется обратная катионная флотация, при которой в пенный продукт извлекаются кварц и силикаты, а камерный продукт представлен гематитом. Испытаны комбинированные схемы с высокоградиентной сепарацией и с флотацией и чисто флотационные схемы, показавшие возможность получения гематитового концентрата с массовой долей железа более 60 % [5, 9–13].

Гематитовый концентрат с использованием гравитационных методов

обогащения (отсадки) в России получают на Оленегорском ГОКе. С помощью отсадочных машин получают гематитовый концентрат с массовой долей железа 60 % и крупностью более 0,071 мм. Более мелкий гематит не извлекается и уходит в хвосты обогатительной фабрики со сливами гидроциклонов и лёгкими продуктами отсадочных машин.

На Михайловском и Кимкано-Сутарском ГОКах, перерабатывающих гематит-магнетитовые руды с весьма тонкой рудной вкрапленностью (0,03–0,071 мм), гематит из немагнитного продукта мокрой магнитной сепарации в слабом поле не извлекают и направляют в хвосты обогащения.

Для извлечения гематита крупностью менее 0,071 мм можно использовать шламовые винтовые сепараторы и шламовые концентрационные столы [5–7]. Гравитационное обогащение можно применять для обогащения как гематита, так и магнетита [14, 15].

При полупромышленных испытаниях на Михайловском ГОКе из немагнитного продукта мокрой магнитной сепарации в слабом поле (ММС) с помощью винтовой сепарации получен гематитовый концентрат с массовой долей Fe и SiO₂, соответственно 65,4 % и 5,5 % [7]. При полупромышленных испытаниях на Стойленском ГОКе из промпродукта ММС-I после первой стадии измельчения с помощью винтовой сепарации получен магнетитовый концентрат с массовой долей железа 67,6 % [14]. Использование специального гравитационного оборудования позволяет эффективно обогащать тонковкрапленный гематит.

В схемах обогащения магнетитовых и гематит-магнетитовых руд находит применение тонкое гидравлическое грохочение [6, 7, 16]. Применение тонкого гидравлического грохочения в замкнутом

цикле измельчения позволяет снизить переизмельчение магнетита и гематита [16]. В схемах получения гематитового концентрата из немагнитного продукта мокрой магнитной сепарации в слабом поле тонкое гидравлическое грохочение используется для подготовки исходного продукта по крупности (для удаления крупных частиц) перед последующим обогащением.

Несмотря на имеющиеся положительные результаты исследований по возможности получения гематитового концентрата из продуктов крупностью менее 0,071 мм, эти технологии в России не получили применения. Это связано с низким качеством гематитового концентрата и его выходом или со сложностью промышленной реализации схем (с низкой производительностью оборудования).

Дополнительное получение гематитового концентрата при обогащении тонковкрапленных гематит-магнетитовых руд является актуальной задачей, не решённой в настоящее время в промышленности.

Минеральный состав руды и методы исследований

В настоящей работе исследована возможность получения гематитового концентрата из гематит-магнетитовой руды Сутарского месторождения. Обогащение выполнено с использованием магнитно-гравитационной схемы. Схема испытана в лабораторных условиях.

В табл. 1 приведён минеральный состав основных разновидностей гематит-магнетитовой руды Сутарского месторождения с основными физическими свойствами минералов.

Магнетит представлен весьма тонкими зёрнами (0,03–0,07 мм). Гематит в основном представлен зёрнами чешуеобразной формы крупностью менее 0,05 мм.

Таблица 1

Минеральный состав руды Сутарского месторождения (основные минералы) и физические свойства минералов

Mineral composition of the sutar Deposit ore (main minerals) and physical properties of minerals

Минералы	Магнетитовый тип		Гематитовый тип		Удельная магнитная восприимчивость, 10^{-7} м ³ /кг	Плотность, кг/м ³
	силикат-магнетитовая разновидность	силикат-гематит-магнетитовая разновидность	магнетит-гематитовая разновидность	гематит-мартиитовая разновидность		
Магнетит	37,5	27	20	14,55	8000	5000
Гематит	3,65	8,55	27,7	28,35	1,4–22	5000
Кварц	41	43	39	48	немагнитный	2650
Амфиболы	5	11	–	–	3,5	до 3600
Биотит	4,5	5	–	–	3–7,6	3100
Плагиоклаз	4	5,5	3	2	немагнитный	2700
Апатит	2	2	3,5	3,5	немагнитный	3200

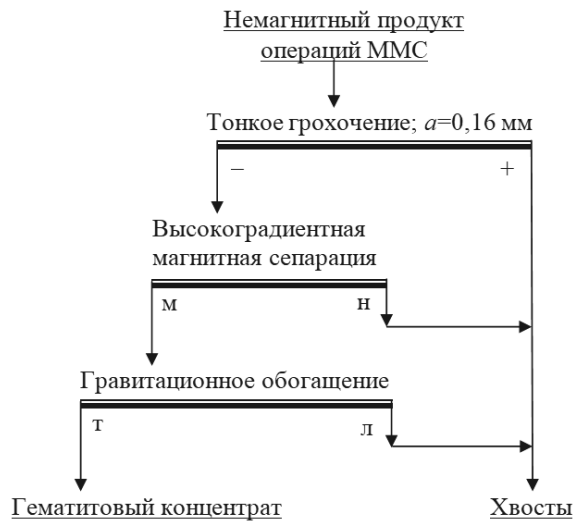


Рис. 1. Принципиальная схема получения гематитового концентрата из гематит-магнетитовой руды Сутарского месторождения

Fig. 1. Schematic diagram of obtaining hematite concentrate from the hematite-magnetite ore of the sutarsky Deposit

Минеральный состав и физические свойства минералов основных разновидностей руды указывают на возможность применения стандартной схемы

с сухим и мокрым обогащением в слабом магнитном поле для получения магнетитового концентрата и немагнитного продукта.

Для получения гематитового концентрата из немагнитного продукта мокрой магнитной сепарации в слабом поле можно использовать комбинированную магнитно-гравитационную схему, включающую тонкое грохочение, высокоградиентную магнитную сепарацию и гравитационное обогащение.

При тонком грохочении из исходного продукта будут удалены крупные частицы.

Высокоградиентная сепарация позволит выделить в хвосты основную массу кварца, плагиоклаз и апатит и получить черновой гематитовый концентрат, содержащий гематит, амфиболы, биотит и сростки кварца с магнетитом.

Последующее гравитационное обогащение позволит из магнитного продукта ВГМС получить гематитовый концентрат и выделить в хвосты амфиболы, биотит и сростки кварца с магнетитом, имеющие меньшую плотность, чем у гематита.

Конечная крупность измельчения для получения магнетитового и гематитового концентратов должна составить 95 % и более класса $-0,044$ мм.

Схема обогащения и использованное оборудование

Магнетитовый концентрат получен по схеме с трёхстадиальным измельчением до крупности 98 % класса $-0,044$ мм и трёхстадиальной мокрой магнитной сепарации в слабом поле. Получен магнетитовый концентрат с массовой долей железа 65 %.

Немагнитные продукты ММС обогащались по принципиальной схеме, приведенной на рис. 1.

Опыты по высокоградиентной сепарации выполнены на лабораторном сепараторе периодического действия с рифлёными пластинами от сепаратора «Джонса» фирмы «Humboldt Wedag». Индукция магнитного поля составила 0,4 Тл (основная операция)

и 0,6 Тл (контрольная операция). Перед высокоградиентной сепарацией хвосты ММС подвергались предварительному грохочению (только суммарные хвосты) на сетке с $a = 0,16$ мм с выводом в хвосты надрешётного продукта.

На первом этапе исследований гравитационное обогащение выполнено на диафрагмовой отсадочной машине, концентрационном столе, винтовом сепараторе и на центробежном концентраторе. Получены неудовлетворительные результаты (массовая доля железа в концентратах составила менее 40 %). К причинам получения низкосортного гематитового концентрата следует отнести дисперсную и весьма тонкую вкрапленность гематита, а также чешуеобразную форму значительной части гематита в руде Сутарского месторождения.

Поэтому в дальнейшем выполнены опыты на «шламовом» гравитационном оборудовании — винтовом шлюзе ШВ-400 и концентрационном столе «МОЛМ» при «шламовом» режиме работы (длина хода деки 3 мм, частота колебаний деки 420 мин^{-1}). Обогащение на винтовом шлюзе выполнено в две операции (основная и перечистная), на концентрационном столе — в три операции (основная, контрольная для промпродукта и перечистная для суммарного концентрата основной и контрольной операции).

Результаты исследований

В табл. 2 приведены результаты обогащения с помощью высокоградиентной магнитной сепарации немагнитных продуктов операций ММС-III (подрешётных продуктов, см. рис. 1), полученных из рудной шихты и минеральных разновидностей руды Сутарского месторождения.

В руде Сутарского месторождения массовые доли амфиболов и биотита

составляют 7–8 и 4–5 %. Поэтому при высокоградиентной сепарации получен черновой гематитовый концентрат с массовой долей железа 28,9 %, требующий дальнейшего обогащения. Это характерно и для силикат-гематит-магнетитовой разновидности руды, в которой содержатся 11 % амфиболов и 5 % биотита (см. табл. 1), при обогащении которой с помощью высокоградиентной сепарации также получен черновой гематитовый концентрат с массовой долей железа 26,7 %, требующий дальнейшего обогащения (табл. 2). Во многом это связано с тем, что удельные магнитные восприимчивости гематита и некоторых породных минералов (биотит, грюнерит, куммингтонит и другие амфиболы) значительно не отличаются, и использование только высокоградиентной сепарации не позволяет получать готовый концентрат, так как в магнитный продукт извлекается гематит вместе с амфиболами и бедными сростками кварца с магнетитом.

В минеральных разновидностях гематитового типа руды отсутствуют амфиболы и биотит (табл. 1). Поэтому при высокоградиентной магнитной сепарации немагнитных продуктов ММС, полученных при отдельном обогащении разновидностей гематитового типа руды, получены гематитовые концентраты с массовой долей железа 58,5–61,4 % при извлечении железа 92,1 %. При этом массовая доля железа в хвостах обогащения (5,07–5,54 %) значительно ниже, чем при обогащении руды в целом (табл. 2).

Технологические показатели высокоградиентной сепарации природных типов и разновидностей железистых кварцитов Сутарского месторождения во многом зависят от минерального состава исходных продуктов. Наличие в руде слабомагнитных породных минералов не позволяет получить гематитовый концентрат с помощью высокоградиентной магнитной сепарации.

Таблица 2

Результаты высокоградиентной магнитной сепарации немагнитных продуктов операций ММС

Results of high-gradient magnetic separation of non-magnetic products MMC operations

Исходный продукт, крупность	Продукт	Выход, %	Массовая доля Fe, %	Извлечение Fe, %
<i>Шихта из минеральных разновидностей (руда)</i>				
Суммарные хвосты ММС-I-III, 75 % класса –0,1 мм	Магнитный	25,72	28,90	41,57
	Немагнитный	74,28	14,06	58,43
	Исходный	100,00	17,88	100,00
<i>Магнетитовый тип руды (силикат-гематит-магнетитовая разновидность)</i>				
Немагнитный продукт ММС-III, 95 % класса –0,044 мм	Магнитный	35,39	26,70	52,5
	Немагнитный	64,61	13,23	47,5
	Исходный	100,00	18,00	100,0
<i>Гематитовый тип руды (магнетит-гематитовая разновидность)</i>				
Немагнитный продукт ММС-III, 98 % класса –0,044 мм	Магнитный	51,13	61,40	92,1
	Немагнитный	48,87	5,54	7,9
	Исходный	100,00	34,10	100,0
<i>Гематитовый тип руды (гематит-мартитовая разновидность)</i>				
Немагнитный продукт ММС-III, 98 % класса –0,044 мм	Магнитный	50,40	58,50	92,1
	Немагнитный	49,60	5,07	7,9
	Исходный	100,00	32,00	100,0

Таблица 3

Результаты гравитационного обогащения магнитного продукта ВГМС
Results of gravitational enrichment of a magnetic product In HMS

Продукт	Выход, %		Массовая доля Fe, %	Извлечение Fe, %	
	к руде	к операции		к руде	к операции
<i>Обогащение на шламовом концентрационном столе</i>					
Тяжёлый (гематитовый концентрат)	4,00	26,05	62,30	7,43	56,16
Лёгкий (хвосты)	11,36	73,95	17,13	5,80	43,84
Магнитный ВГМС (исходный)	15,37	100,00	28,90	13,23	100,00
<i>Обогащение на винтовом шлюзе</i>					
Тяжёлый (гематитовый концентрат)	2,27	14,8	60,10	4,07	30,78
Лёгкий (хвосты)	13,09	85,20	23,48	9,16	69,22
Магнитный ВГМС (исходный)	15,37	100,00	28,90	13,23	100,00

Черновой гематитовый концентрат, полученный с помощью высокоградиентной магнитной сепарации при обогащении руды, подвергнут гравитационному обогащению (см. рис. 1). Результаты гравитационного обогащения приведены в табл. 3.

Применение винтового шлюза и шламового концентрационного стола позволило получить гематитовый концентрат с массовой долей железа 61,1–62,3 %.

Более высокие результаты обогащения достигнуты при использовании концентрации на столе по сравнению с винтовой сепарацией — массовая доля железа в гематитовом концентрате 62,3 % (на 2,2 % выше), выход гематитового концентрата к руде 4 % (на 1,73 % выше), извлечение железа в гематитовый концентрат 7,43 % (на 3,36 % выше).

Заключение

Применительно к гематит-магнетитовой руде Сутарского месторождения разработана комбинированная магнитно-

гравитационная схема обогащения для получения гематитового концентрата.

Схема включает тонкое грохочение для удаления в хвосты крупной фракции, высокоградиентную магнитную сепарацию подрешётного продукта с получением черного концентрата и гравитационное обогащение с получением гематитового концентрата.

Схема разработана с учётом минерального состава руды и физических свойств гематита и породных минералов (магнитной восприимчивости и плотности).

Для гравитационного обогащения следует использовать шламовые концентрационные столы. Возможно использование винтовых аппаратов для обогащения шламов.

По разработанной технологии получен гематитовый концентрат с массовой долей железа 62,3 % при выходе 4 % от руды и извлечении железа 7,43 %.

Схема позволяет повысить комплексность использования тонковкрапленной гематит-магнетитовой руды.

СПИСОК ЛИТУРАТУРЫ

1. Yu J.W., Han Y.X., Li Y.J., Gao P. Investigation on pre-concentration efficiency of a low grade hematite ore using magnetic separation. In: XXVIII IMPC Proceedings. Quebec, Canada, 2016. Paper ID: 34.

2. Мезенин А.О., Дмитриев С.В., Кусков В.Б., Львов В.В. Исследование процесса сухого магнитного обогащения гематитовой руды с использованием эффекта вибрационного псевдооживления // Обогащение руд. — 2012. — № 2. — С. 21–24.
3. Львов В.В., Кусков В.Б. Исследование возможности обогащения железных руд Бакчарского месторождения высокоинтенсивной магнитной сепарацией // Обогащение руд. — 2015. — № 1. — С. 26–30.
4. Xiaoyu Zheng, Zixing Xue, Yuhua Wang, Guangli Zhu, Xudong Li, Dongfang Lu. Modeling of particle capture in high gradient magnetic separation: A review. Powder Technology, 15 June 2019, Vol. 352, pp. 159–169. DOI: 10.1016/j.powtec.2019.04.048
5. Baoyu Cui, Dezhou Wei, Hao Zhang, Caie Zhang, Qiang Zhao, Xuetao Wang. Beneficiation studies of a low-grade iron ore in China. In: XXVIII IMPC Proceedings. Quebec, Canada, 2016. Paper ID: 120.
6. Хохуля М.С., Опалев А.С., Рухленко Е.Д., Фомин А.В. Получение магнетит-гематитового концентрата из железистых кварцитов и складированных отходов их обогащения на основе минералого-технологических исследований // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2017. — № 4. — С. 259–271.
7. Прокопьев С.А., Пелевин А.Е., Прокопьев Е.С., Иванова К.К. Повышение комплексности использования железорудного сырья с помощью винтовой сепарации // Известия вузов. Горный журнал. — 2019. — № 6. — С. 70–80. DOI: 10.21440/0536–1028–2019–6-70–80.
8. Олейник Т.А., Мулякко В.И., Ляшенко В.И., Олейник М.О. Развитие технологий и технических средств обогащения гематитовых руд // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. — 2016. — № 5 (1397). — С. 5–11.
9. Keith Quast. Literature review on the use of natural products in the flotation of iron oxide ores. Minerals Engineering, July 2017, Vol. 108, pp. 12–24. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.01.008
10. Kaustubh Shrimali, Venkata Atluri, Yan Wang, Sanket Bacchuwar, Jan D. Miller. The nature of hematite depression with corn starch in the reverse flotation of iron ore. Journal of Colloid and Interface Science, 15 August 2018, Vol. 524, pp. 337–349. DOI: 10.1016/j.jcis.2018.04.002
11. Курков А.В., Егоров А.В., Щербакова С.Н. Технология комплексного обогащения гематит-мартитовых руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2015. — № 1. — С. 129–136.
12. Поперечникова О.Ю., Шумская Е.Н. Интенсификация обратной катионной флотации гематитовых руд за счет оптимизации технологического режима и гидродинамических параметров флотомашин // Черные металлы. — 2016. — № 10 (1018). — С. 61–64.
13. Юрлова Н.А., Кайфаджян Е.Н., Шумская Е.Н., Поперечникова О.Ю. Оценка экологической безопасности флотационных реагентов в процессе обогащения гематитовых руд // Горный журнал. — 2014. — № 11. — С. 113–116.
14. Прокопьев С.А., Пелевин А.Е., Напольских С.А., Гельбинг Р.А. Стадиальное выделение магнетитового концентрата с использованием винтовой сепарации // Обогащение руд. — 2018. — № 4. — С. 28–33. DOI: 10.17580/or.2018.04.06.
15. Sadeghi M., Bazin C., Hodouin D., Devin P., Lavoie F., Renaud M. Control of spiral concentrators for the concentration of iron ore. In: XXVIII IMPC Proceedings. Quebec, Canada, 2016. Paper ID: 792.
16. Пелевин А.Е., Сытых Н.А. Испытания двухстадиальной схемы измельчения титаномагнетитовой руды // Обогащение руд. — 2018. — № 2. — С. 13–18. DOI: 10.17580/or.2018.02.03. **PLA3**

REFERENCES

1. Yu J.W., Han Y.X., Li Y.J., Gao P. Investigation on pre-concentration efficiency of a low grade hematite ore using magnetic separation. In: XXVIII International Mineral Processing Congress (IMPC). Quebec, Canada, 2016. Paper ID: 34.
2. Mezenin A.O., Dmitriev S.V., Kuskov V.B., L'vov V.V. Study of hematite ore dry magnetic processing with application of vibratory pseudo-liquefaction effect. *Obogashchenie Rud.* 2012, no 2, pp. 21–24. [In Russ].

3. L'vov V.V., Kuskov V.B. A treatability study of the Bakcharskoye deposit iron ores concentration by means of high-intensity magnetic separation. *Obogashchenie Rud.* 2015, no 1, pp. 26–30. [In Russ].

4. Xiayu Zheng, Zixing Xue, Yuhua Wang, Guangli Zhu, Xudong Li, Dongfang Lu. Modeling of particle capture in high gradient magnetic separation: A review. *Powder Technology*, 15 June 2019, Vol. 352, pp. 159–169. DOI: 10.1016/j.powtec.2019.04.048

5. Baoyu Cui, Dezhou Wei, Hao Zhang, Caie Zhang, Qiang Zhao, Xuetao Wang. Beneficiation studies of a low-grade iron ore in China. In: *XXVIII IMPC Proceedings*. Quebec, Canada, 2016. Paper ID: 120.

6. Khokhulya M.S., Opalev A.S., Rukhlenoko E.D., Fomin A.V. Production of magnetite-hematite concentrate from ferruginous quartzites and warehoused tailings based on mineralogy and technology studies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no 4, pp. 259–271. [In Russ].

7. Prokopiev S.A., Pelevin A.E., Prokopiev E.S., Ivanova K.K. Increasing the integrity of iron-ore raw material use with the help of screw separation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal.* 2019, no 6, pp. 70–80. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536–1028–2019–6-70–80.

8. Oleinik T.A., Mulyavko V.I., Lyashenko V.I., Oleinik M.O. Development of technologies and technical means for the mineral dressing of hematite ores. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoj i ekonomicheskoi informatsii.* 2016, no 5 (1397), pp. 5–11. [In Russ].

9. Keith Quast. Literature review on the use of natural products in the flotation of iron oxide ores. *Minerals Engineering.* July 2017, Vol. 108, pp. 12–24. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.01.008

10. Kaustubh Shrimali, Venkata Atluri, Yan Wang, Sanket Bacchuwar, Jan D. Miller. The nature of hematite depression with corn starch in the reverse flotation of iron ore. *Journal of Colloid and Interface Science.* 15 August 2018, Vol. 524, pp. 337–349. DOI: 10.1016/j.jcis.2018.04.002

11. Kurkov A.V., Egorov A.V., Shcherbakova S.N. Integrated processing technology for hematite–martite ore. *Journal of Mining Science.* 2015, Vol. 51, no 1, pp. 144–149. DOI: 10.1134/S1062739115010196.

12. Poperechnikova O. Yu., Shumskaya E.N. Intensification of reverse cationic flotation of hematite ores by optimization of the technological regime and hydrodynamic parameters of the flotation machine. *Chernye Metally*, 2016, no 10 (1018), pp. 61–64. [In Russ].

13. Yurlova N.A., Kaifadzhan E.A., Shumskaya E.N., Poperechnikova O. Yu. Assessment of ecological safety of flotation reagents in the process of hematite ores concentration. *Gornyi Zhurnal.* 2014, no 11, pp. 113–116. [In Russ].

14. Prokopyev S.A., Pelevin A.E., Napol'skikh S.A., Gelbing R.A. Staged screw separation of magnetite concentrate. *Obogashchenie Rud.* 2018, no 4, pp. 28–33. [In Russ]. DOI: 10.17580/or.2018.04.06.

15. Sadeghi M., Bazin C., Hodouin D., Devin P., Lavoie F., Renaud M. Control of spiral concentrators for the concentration of iron ore. In: *XXVIII IMPC Proceedings*. Quebec, Canada, 2016. Paper ID: 792.

16. Pelevin A.E., Sytykh N.A.. Titanomagnetite ore two-stage grinding circuit tests. *Obogashchenie Rud.* 2018, no 2, pp. 13–18. [In Russ]. DOI: 10.17580/or.2018.02.03.

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Алексей Евгеньевич Пелевин — докт. техн. наук, доцент, профессор кафедры Обогащения полезных ископаемых, a-pelevin@yandex.ru, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, 620144, ГСП, ул. Куйбышева, 30.

INFORMATION ABOUT AUTHOR

Pelevin A.E., Dr. Sci. (Eng.), Associate professor, professor of the Department of Mineral Processing, Ural State Mining University, 620144, Yekaterinburg, Kuibyshev St., 30, Russia.

Получена редакцией 21.11.2019; получена после рецензии 04.02.2020; принята к печати 20.03.2020.

Received by the editors 21.11.2019; received after the review 04.02.2020; accepted for printing 20.03.2020.