

УДК 549 : 622.7 : 553.31 (477.63)

О. Демченко, асп.
E-mail: demchenkooleg121@gmail.com,
В. Евтехов, д-р геол.-минералог. наук, проф., зав. кафедры
E-mail: evtekhov@gmail.com,
А. Евтехова, канд. геол. наук, доц.
eva.anna23@gmail.com,
Е. Георгиева, ст. преподаватель
E-mail: hgeorg7@mail.ru
Криворожский национальный университет
ул. Пушкина, 37, г. Кривой Рог, 50002, Украина

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОВТОРНОГО ОБОГАЩЕНИЯ КРУПНОЗЕРНИСТОГО ОТСЕВА ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНЫХ ФАБРИК КРИВОРОЖСКОГО БАСЕЙНА

(Рекомендовано членом редакционной коллегии д-ром геол. наук, доц. С.Е. Шнюковым)

Богатые железные руды Криворожского бассейна относятся к наиболее всесторонне изученным геологическим объектам железисто-кремнистой формации. Разработка месторождений богатых гематитовых руд производится семью шахтами и двумя карьерами. Среднее содержание железа в рудах 55–58 масс.%. В связи со сложностью контактов рудных тел и несовершенностью технологии добычи в рудную массу в процессе ее извлечения из недр поступают нерудные компоненты. Этим объясняется более низкое содержание железа (52–54 масс.%) в составе добытой рудной массы по сравнению с его средним содержанием в руде подготовленных к отработке залежей.

Для повышения содержания железа в товарной руде до 55–60 масс.% на всех шахтах Кривбасса работают дробильно-сортировочные фабрики (ДСФ), на которых методом трехстадийного дробления и грохочения производится разделение менее прочных частиц богатых руд и более прочных частиц большинства маложелезистых горных пород. Отходы обогащения представляют собой крупнозернистый отсева ДСФ (размер частиц 20–100 мм) с общим содержанием железа от 39 до 46 масс.%, в среднем около 43 масс.%.

Целью работы были: анализ данных ранее выполненных минералого-технологических исследований, определение причин неоптимальности их результатов; минералогическое обоснование эффективной технологии производства высококачественной аглоруды и концентрата из отсева ДСФ.

На основе выполненных авторами петрографических и минералогических исследований для выполнения минералого-технологических экспериментов были выбраны методы магнитного и гравитационного обогащения отсева, измельченного до оптимальной крупности частиц.

В соответствии с полученными данными, из отсева ДСФ возможно производство полезных конечных продуктов с разным содержанием железа: рядовой агломерационной руды (содержание железа 55–59 масс.%), высококачественной аглоруды (60–62 масс.%); аглоконцентрата (63–64 масс.%); рядового концентрата (65–67 масс.%); высококачественного концентрата (68–69 масс.%). Качество продуктов зависит от крупности частиц в продуктах измельчения, которая изменяется от 1–2 мм (рядовая аглоруда) до менее 0,1 мм (высококачественный концентрат). Сравнение разных методов обогащения измельченного материала показало, что наиболее эффективным способом является гравитационный.

Научная новизна работы состоит в минералогическом обосновании технологии производства высококачественных полезных конечных продуктов из отсева ДСФ шахт Кривбасса. Практическое значение работы – в определении возможности производства дополнительного количества высококачественной аглоруды и концентрата; уменьшении объемов складирования отходов обогащения.

Ключевые слова: железисто-кремнистая формация, Криворожский бассейн, богатые железные руды, отходы обогащения, повторное использование отходов обогащения руд.

Состояние проблемы. Богатые железные руды Криворожского бассейна относятся к наиболее глубоко и всесторонне изученным геологическим объектам железисто-кремнистой формации планеты [1–5]. Известны три их основных вида: гетитовые (бурожелезняковые), магнетитовые и гематитовые. Залежи первых практически полностью отработаны. Добыча богатых магнетитовых руд в связи с истощением запасов и большой глубиной залегания их остаточных залежей также прекращена. Разработка месторождений богатых гематитовых руд ведется семью шахтами и двумя карьерами (рис. 1).

Выделяются четыре минеральные разновидности богатых гематитовых руд: 1) мартитовые, железнослюдко-мартитовые, мартит-железнослюдковые ("синьки") – среднее содержание железа около 64 масс.%; 2) дисперсногематит-мартитовые, дисперсногематит-железнослюдко-мартитовые ("краско-синьки") – около 59 масс.%; 3) мартит-дисперсногематитовые ("синько-краски") – около 54 масс.%; 4) дисперсногематитовые, каолинит-дисперсногематитовые ("краски") – около 50 масс.%. В разрабатываемых рудных залежах в разном количестве присутствуют все четыре разновидности руд. Поскольку

селективная отработка руд названных минеральных разновидностей не производится, извлекаемая из недр рудная масса имеет промежуточный минеральный и химический состав. Среднее содержание железа в рудах подготовленных к отработке залежей разных месторождений составляет 57–58 масс.%.

В связи со сложностью контактов рудных тел, несовершенностью технологии добычи руд – в рудную массу в процессе ее извлечения из недр поступают нерудные компоненты: рядовые гематитовые кварциты (среднее содержание железа 37–38 масс.%), безрудные (силикатные, каолинит-дисперсногематитовые) кварциты (около 23 масс.%); разного состава сланцы (около 20 масс.%), а также в незначительном количестве горные породы, которыми сложены толщи, подстилающие и перекрывающие толщу железисто-кремнистой формации – тальк-содержащие, кварц-мусковитовые сланцы, мусковитовые кварциты, амфиболиты, доломитовые мраморы, граниты и др. (0–15 масс.%). Содержание в добываемой рудной массе нерудных компонентов изменяется от 20 до 30 масс.%, в том числе гематитовых кварцитов 10–25 %, других горных пород до 5 %.

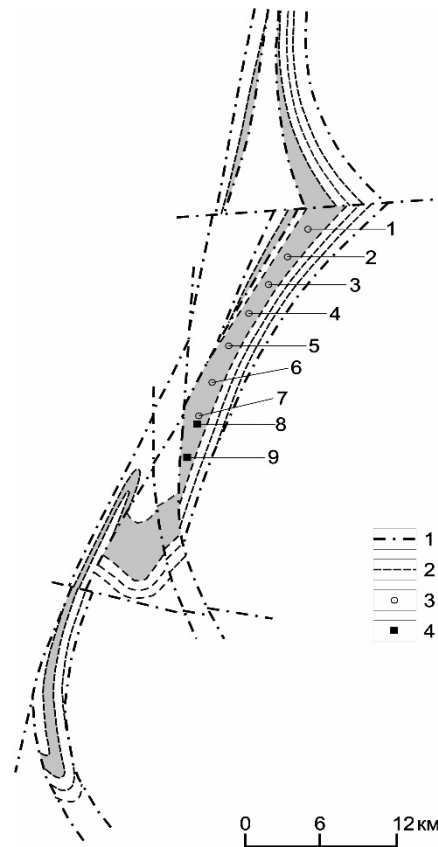


Рис. 1. Положение горнодобывающих предприятий по добыче богатых гематитовых руд на схематической карте Криворожского бассейна: 1 – разрывные нарушения; 2 – линии стратиграфических контактов; 3 – месторождения, разрабатываемые подземным способом; 4 – месторождения, разрабатываемые открытым способом. Шахты: 1 – Терновская; 2 – Гвардейская; 3 – Юбилейная; 4 – им. М.В. Фрунзе; 5 – Заря-Октябрьская; 6 – Родина; 7 – № 1 им. Ф.А. Артема. Карьеры: 8 – Южный; 9 – Северный

Присутствием в составе добываемой рудной массы нерудных компонентов объясняется более низкое содержание в ее составе железа (52–54 масс.%) по сравнению с его средним содержанием в руде подготовленных к отработке залежей (как отмечалось выше – 57–58 масс.%).

Для повышения содержания железа в товарной руде до 55–60 масс.% на всех шахтах Кривбасса были построены дробильно-сортировочные фабрики (ДСФ), на которых методом трехстадийного дробления и грохочения [6] производится разделение менее прочных частиц богатых руд и более прочных, более устойчивых к механическим воздействиям частиц большинства маложелезистых горных пород. После третьей стадии дробления и грохочения дробленый продукт разделяется на две гранулометрические фракции: 1) подрешетный продукт с крупностью частиц менее 20 мм – товарная агломерационная руда; 2) надрешетный продукт с крупностью частиц 20–100 мм – крупнозернистый отсева ДСФ. В складах шахт Криворожского бассейна накоплено, по разным оценкам, от 15 до 20 млн т этого вида сырья (в складах отдельных шахт – от 2 до 5 млн т). Ежегодно этот показатель возрастает на 1–2 млн т.

Вследствие недостаточной избирательности дробления и грохочения, в составе крупнозернистого отсева кроме низкожелезистых горных пород присутствуют также частицы богатых руд. Их количество в отсева ДСФ разных шахт колеблется, в зависимости от минералогических характеристик исходной руды, от 7 до 12 % от общей массы отсева, иногда превышает 20 %; средний показатель около 10 масс.%. Общее содержание железа в составе отсева изменяется от 39 до 46 масс.%, средний показатель – около 43 масс.%.

Значительные объемы крупнозернистого отсева ДСФ, постоянное пополнение его складов, высокое содержание железа в его составе являются причиной того, что на протяжении последних лет он изучается как один из приоритетных видов нетрадиционного железорудного сырья Кривбасса. Были проведены минералогические исследования и лабораторные, полупромышленные испытания обогатимости отсева с целью производства агломерационной руды, аглоконцентрата и концентрата. Работы проводились, главным образом, с целью обоснования возможности производства из отсева высококачественного железорудного сырья с использованием "сухого" магнитного обогащения или применения для этого геофизической (гамма-гамма метод) сепарации [6].

Цель работы: проанализировать результаты ранее выполненных минералого-технологических исследований, определить причину неоптимальности полученных ранее результатов; минералогически обосновать эффективную технологию производства высококачественной аглоруды и концентрата из отсева ДСФ.

Результаты. Анализ минералого-технологических данных, полученных на протяжении более 50 лет, позволил выделить 5 основных направлений изучения возможности производства высококачественных полезных конечных продуктов (агломерационной руды, аглоконцентрата, концентрата) из некондиционного и низкокондиционного гематитового сырья Криворожского бассейна и аналогичных месторождений других регионов. Работы проводились по следующим направлениям.

1) Разработка технологии производства аглоруды с общим содержанием железа около 55 масс.%

путем додраблывания отсева ДСФ до крупности частиц менее 10 мм и "сухой" магнитной сепарации полученного продукта в поле повышенной интенсивности. Исследования проводились в институте "Механобрчермет" (Кривой Рог), на кафедре обогащения полезных ископаемых Криворожского национального университета (КНУ), в научно-производственных организациях "Продэкология" (Ровно) и "Магнис" (Луганск). В лабораторных условиях были получены результаты, близкие к оптимальным. На основе полученных технологических решений были построены несколько небольшой мощности (до 1 млн т исходного сырья в год) промышленных установок предприятий "Гамаюн", "Укрмеханобр", "Сигма" и др. Опыт их работы на протяжении более 10 лет показал, что содержание железа в составе полезного конечного продукта, получаемого в промышленных условиях с использованием этой технологии, как правило, не превышает 52–55 масс.%; выход продукта относительно низкий (20–30 %); содержание железа в отходах обогащения очень высокое – 35–40 и более масс.%. Проектные показатели действовавших обогатительных установок не были достигнуты, в связи с чем работа их в настоящее время прекращена.

2) Обоснование возможности производства крупнокусковой (размер частиц 20–100 мм) агломерационной руды методом механической рудоразборки материала крупнозернистого отсева ДСФ в непрерывном потоке на основе геофизической (гамма-гамма метод) идентификации рудных и нерудных частиц. Использовался материал отсева ДСФ без предварительной подготовки. Задачей было отделение присутствующих в составе отсева частиц богатой гематитовой руды от нерудных частиц с получением полезного конечного продукта с содержанием железа не ниже 55–58 масс.%. Лабораторные и полупромышленные испытания проводились в Лаборатории геофизических методов контроля качества минерального сырья КНУ [6]. Полученные результаты показали, что технология в использованном аппаратном обеспечении не позволила достигнуть необходимого уровня разделения рудных и нерудных частиц. Исследования в этом направлении в дальнейшем не проводились.

3) Минералогическое обоснование, разработка технологии и обогатительного оборудования для производства крупнокусковой (20–80 мм) агломерационной руды методом механической рудоразборки материала крупнозернистого отсева ДСФ в непрерывном потоке на основе использования разных (термических, магнитных, плотностных, оптических и др.) физических методов идентификации рудных и нерудных частиц. Использовался материал отсева ДСФ без предварительной подготовки. Основная задача состояла в достижении максимальной эффективности разделения частиц богатой гематитовой руды и нерудных частиц. Общее содержание железа в составе полезного конечного продукта должно быть не ниже 55–58 масс.%. Лабораторные и полупромышленные испытания проводились Научно-производственной фирмой "Промтехнологии" (Кривой Рог) и кафедрой геологии и прикладной минералогии КНУ [10]. В лабораторных условиях был изучен отсев ДСФ всех шахт Кривбасса, а также низкосортное (содержание железа 42–50 масс.%) железорудное сырье карьера "Южный" шахтоуправления комбината "АрселорМиттал Кривой Рог" ("АМКР"). По результатам всех экспериментов был получен полезный конечный продукт с содержанием железа 55–57 масс.%, с выходом 20–25 %. Полупромышленные испытания отсева ДСФ шахт "Юбилейная", им. М.В. Фрунзе и шахтоуправления комбината "АМКР", проведенные с помощью полупромышленной

обогатительной установки, изготовленной НПФ "Промтехнологии", подтвердили эти результаты. В промышленных условиях установка не используется.

4) Минералогические исследования и разработка технологии производства аглоруды с общим содержанием железа около 60 масс.% методом "сухой" классификации измельченной руды в воздушном потоке. В качестве исходного материала использовалось низкокондиционное и некондиционное гематитовое сырье шахт Криворожского бассейна (исходное содержание железа около 40 масс.%), а также месторождений штата Орисса (Индия) (52 масс.%) и месторождения Каражал (Центральный Казахстан) (41 масс.%). Исходное сырье подвергалось дроблению до минералогически обоснованной крупности частиц, обеспечивающей необходимую степень раскрытия выделений рудных и нерудных минералов. Дробленный материал направлялся на гравитационную классификацию в воздушном потоке. Технологические испытания проводились с использованием лабораторной установки, изготовленной на кафедре геологии и прикладной минералогии КНУ и полупромышленной установки Научно-производственной фирмы "Аэромех" (Луганск). Исследования проводились на кафедре геологии и прикладной минералогии КНУ [8]. Из исходного сырья месторождений Кривбасса был получен аглоконцентрат с общим содержанием железа от 60 до 63 масс.%; из сырья индийских месторождений – около 61 масс.%, из сырья месторождения Каражал – агломерационная руда с содержанием железа около 56 масс.%. Результаты экспериментов показали, что с использованием "сухой" гравитационной сепарации возможно производство кондиционной агломерационной руды и аглоконцентрата. Полученные данные использовались для составления эскизного рабочего проекта обогатительной установки для одного из месторождений низкокондиционной гематитовой руды штата Орисса, который в настоящее время внедряется в производство.

5) Разработка технологии производства железорудного концентрата с общим содержанием железа не ниже 65 масс.% из исходного гематитового сырья разного качества путем дробления и измельчения его до крупности частиц менее 0,071 или менее 0,050 мм и последующего обогащения флотационным методом. Исследования проводились в Научно-производственном объединении "РИВС" (Санкт-Петербург) [9]. В лабораторных условиях были получен концентрат, соответствующий требованиям мирового рынка железорудного сырья (не ниже 65 масс.%). Полупромышленные испытания на обогатительной установке Криворожского горнообогатительного комбината окисленных руд (КГОКОРа) проводились с использованием в качестве исходного материала рядовых гематитовых кварцитов Ингулецкого месторождения (содержание железа около 37 масс.%). Результаты испытаний подтвердили данные лабораторных исследований.

Охарактеризованные выше технологические решения (1–5) в начале 2000-х гг. были признаны утратившими актуальность в связи с: недостаточным минералогическим обоснованием выбранных методов обогащения (метод "сухой" магнитной сепарации гематитового сырья, кусковой рудоразборки гамма-гамма методом); низким содержанием железа в производимом полезном конечном продукте (воздушная классификация, "сухая" магнитная сепарация измельченного гематит-содержащего материала); возможным негативным воздействием на окружающую среду, здоровье работников (обратная флотация), высокой себестоимости (механическая рудоразборка с использованием градиентов физических свойств кварца и гематита, обратная флотация). В связи с этим, в 2010–17 гг. активизировались на-

учно-исследовательские работы направленные на сравнение разных технологических решений и выявление оптимальных методов обогащения гематитового сырья. Главными целями этих работ были определены минералогическое обоснование и разработка технологий рудо-подготовки гематитовых кварцитов, низкоконтинентальных гематитовых руд (дробление, измельчение, гранулометрическая классификация) и обогащение продукта, измельченного до необходимой крупности частиц. Их выполнение оформилось в новое направление (6).

6) Минералогическое изучение железорудного сырья, обоснование оптимальных методов его обогащения, разработка технологии и составление проекта установки по производству железорудного концентрата с содержанием железа 67–68 масс.% из отсева ДСФ после его доизмельчения до крупности частиц менее 0,1 мм. Основными задачами рудоподготовки было достижение максимально возможного раскрытия рудных и нерудных частиц в продуктах измельчения и недопущение при этом переизмельчения (ошламования) рудных минералов. В качестве основной обогатительной операции было предложено "мокрое" гравитационное обогащение измельченного материала с использованием концентрационных столов, конусных, винтовых сепараторов. Для доизвлечения рудных минералов из отходов основной операции обогащения применялись гравитационные, магнитные, флотационные методы. Использовался материал отсева ДСФ всех шахт Кривбасса, а также низкосортные (общее содержание железа 46–50 масс.%) богатые гематитовые руды карьеров "Северный" шахтоуправления комбината АМКР и "Южный" Мариупольского металлургического комбината им. Ильича. Изучались также рядовые гематитовые кварциты со средним содержанием железа около 37 масс.% месторождений Криворожского бассейна и аналогичных месторождений других регионов планеты (Перу, Индия, Намибия, Ангола). Лабораторные и полупромышленные испытания, проектные работы проводились в лабораториях кафедры геологии и прикладной минералогии Криворожского национального университета [7]. По результатам экспериментов со всеми видами сырья, был получен железорудный концентрат с общим содержанием железа не ниже 65 масс.%, а для сырья месторождений Кривбасса – 67–69 масс.%. Полупромышленные испытания подтвердили данные лабораторных исследований. В соответствии с предложенной технологией, были построены три промышленных установки по обогащению исходного сырья разного состава и происхождения на: шахте "Северная" рудника им. В. А. Валявко; горно-металлургическом комбинате "АМКР" (Кривой Рог) и на шахте "Новая" (Желтые Воды).

Выводы. 1. Из предложенных технологий переработки кускового гематитового сырья в полном объеме была реализована только основанная на додразливания крупнозернистого отсева ДСФ до крупности частиц менее 10 мм с последующим "сухим" магнитным обогащением в поле повышенной интенсивности. Но работа обогатительных установок в производственных условиях показала, что производимая агломерационная руда характеризуется недостаточным качеством.

2. Частично реализована технология производства железорудного концентрата из низкосортного гематитового сырья методом гравитационной сепарации. Развитие этого направления состоит в наращивании обогатительных установок узлами дробления и измельчения, переходе на использование кускового материала, в том числе крупнозернистого отсева ДСФ.

3. По результатам минералогических исследований и технологических испытаний, наиболее геологически, минералогически, петрохимически, технологически, технически,

экономически и экологически сбалансированной на настоящий момент является полученная в результате работ по направлению (6) гравитационная технология производства высококачественного железорудного (гематитового) концентрата из крупнозернистого отсева ДСФ и других видов низкоконтинентального гематитового сырья.

Список использованных источников:

1. Геология криворожских железорудных месторождений / Я. Н. Белевцев, Г. В. Тохтуев, А. И. Стрыгин и др. – Киев : АН УССР, 1962. – Т. 1 – 484 с. – Т. 2 – 567 с.
2. Євтехів В. Д. Етапи формування комплексної мінерально-сировинної бази залізорудних родовищ Криворізько-Кременчуцького лінеamentу / В. Д. Євтехів. // Відомості Академії гірничих наук України. – 1997. – № 4. – С. 111–114.
3. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Генезис железных руд / Я. Н. Белевцев, В. М. Кравченко, Д. А. Кулик и др. – Киев : Наук. думка, 1991. – 215 с.
4. Железорудное месторождение Кривого Рога / Н. И. Свительский, Э. К. Фукс, Ю. И. Половинкина и др. – М. ; Л. : Гостгеоиздат, 1932. – 284 с.
5. Каниболоцкий П. М. Петрогенезис пород и руд Криворожского железорудного бассейна / П. М. Каниболоцкий. – Черновцы : АН УССР, 1946. – 312 с.
6. Качество минерального сырья / А. А. Азарян, В. А. Колосов, Л. А. Ломовцев и др. – Кривий Ріг : Мінерал, 2001. – 203 с.
7. Минералогическая оценка эффективности технологий повторного обогащения крупнозернистого отсева дробильно-сортировочных фабрик Криворожского бассейна / В. Д. Евтехов, А. В. Евтехова, О. С. Демченко и др. // Геол.-мінералог. вісн. Криворізь. нац. ун-ту. – 2014. – № 1–2. – С. 61–69.
8. Минеральный состав и обоснование технологии "сухого" гравитационного обогащения гематитовых руд штата Орисса (Индия) / О. С. Демченко, М. А. Шепелюк, М. И. Ищенко и др. // Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців. Матеріали ІХ Всеукраїнської наук.-практ. конф. (Криворізь. нац. ун-т, 22–24 березня 2012 р.), Кривий ріг. – 2012. – С. 12–15.
9. Назаров Ю.П. Опыт флотационного обогащения железных руд / Ю. П. Назаров, Ю. А. Смирнов // Горный журнал. – 2010. – № 10. – С. 64–68.
10. Первый опыт повторного обогащения отходов дробильно-сортировочных фабрик Криворожского бас-сейна / В. Д. Евтехов, В. М. Волюшин, В. Ю. Зубкевич и др. // Геол.-мінералог. вісн. Криворізь. нац. ун-ту. – 2007. – № 1. – С. 86–90.

References:

1. Belevtsev, Ya.N., Tokhtuyev, G.V., Strygin, A.I., Melnik, Yu.P., Kalyaev, G.I., Fomenko, V.Yu., Zagoruiko, L.G., Molyavko, G.I., Polovko, N.I., Dovgan, M.N., Ladiava, V.D., Zhukov, G.V., Yepatko, Yu.M., Shcherbakov, B.D. (1962). Geology of Kryvyi Rih iron ore deposits. Kiev Publishing House of Ukrainian Academy of Sciences, 1, 484 p., 2, 567 p. [in Russian].
2. Evtekhov, V.D. (1997). Stages of the formation of a complex mineral-raw material base of iron ore deposits of Kryvyi Rih-Kremenchug lineament. *Bulletin of the Academy of Mining Sciences of Ukraine*, 4, 111-114. [in Ukrainian].
3. Belevtsev, Ya.N., Kravchenko, V.M., Kulik, D.A., Belevtsev, R.Ya., Borisenko, V.G., Drozdovskaya, A.A., Epatko, Yu.M., Zankevich, B.A., Kalinichenko, O.A., Koval, V.B., Korzhnev, M.N., Kusheev, V.V., Lazurenko, V.I., Litvinskaya, M.A., Nikolayenko, V.I., Pirogov, B.I., Prozhogin, L.G. Pikovskiy, E.Sh., Samsonov, V.A., Skvortsov, V.V., Savchenko, L.T., Stebnovskaya, Yu.M., Tereshchenko, S.I., Chaikin, S.I., Yaroshchuk, M.A. (1991). Precambrian banded iron formations of the European part of the USSR. Genesis of iron ores. Kiev: Naukova Dumka, 215 p. [in Russian].
4. Svitalskiy, N.I., Fuks, E.K., Polovinkina, Yu.I., Dubyaga, Yu.G., Lisovsky, A.L. (1932). Iron ore deposit of Krivoy Rog. Moscow-Leningrad: Gosgeolizdat, 284 p. [in Russian].
5. Kanibolotsky, P.M. (1946). Petrogenesis of rocks and ores of the Krivoy Rog iron ore basin. Chernivtsi: Publishing house of Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 312 p. [in Russian].
6. Azaryan, A.A., Kolosov, V.A., Lomovtsev, L.A., Uchitel, A.D. (2001). Quality of mineral raw materials. Krivoy Rog: Mineral, 203 p. [in Russian].
7. Evtekhov, V.D., Evtekhova, A.V., Demchenko, O.S., Smirnov, A.Ya. (2014). Mineralogical assessing the efficiency of re-processing technologies for coarse-grained screenings from crushing and screening plants of Kryvyi Rih basin. *Geology and Mineralogy bulletin of Kryvyi Rih National University*, 1-2 (31-32), 61-69. [in Ukrainian].
8. Demchenko, O.S., Shepelyuk, M.A., Ishchenko, M.I., Evtekhov, V.D., Evtekhov, E.V., Filenko, V.V., Tikhlyvets, S.V. (2010). Mineral composition and justification for the technology of "dry" gravity beneficiation of hematite ores in the state of Orissa (India). *Modern geological science and practice in students' and young specialists' researches. Materials of IX All-Ukrainian scientific and practical conference (Kryvyi Rih National University, 22–24 March 2012)*. Kryvyi Rih, 12-15. [in Russian].
9. Nazarov, Yu.P., Smirnov, Yu.A. (2010). Experience of flotation enrichment of iron ores. *Mining Journal*, 10, 64-68. [in Russian].
10. Evtekhov, V.D., Voloshyn, V.M., Zubkevich, V.Yu., Evtekhov, E.V. (2007). The first experience of re-processing waste from the crushing and screening plants of Kryvyi Rih basin. *Geology and Mineralogy bulletin of Kryvyi Rih National University*, 1 (17), 86-90. [in Russian].

O. Demchenko, PhD student
E-mail: demchenkooleg121@gmail.com,
V. Evtekhov, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Professor
E-mail: evtekhov@gmail.com ,
A. Evtekhova, PhD (Geol.), Assistant professor
E-mail: eva.anna23@gmail.com,
H. Georgiieva, Senior lecturer
E-mail: hgeorg7@mail.ru
Kryvyi Rih National University
37, Pushkin Str., Kryvyi Rih, 50002, Ukraine

GROUNDING FOR EFFECTIVE TECHNOLOGY OF REPROCESSING COARSE GRAINED SCREENINGS FROM CRUSHING AND SCREENING PLANTS OF KRYVYI RIH BASIN

The high-grade iron ores of Kryvyi Rih basin are among the most thoroughly studied geological objects of banded iron formation. High-grade hematite ores deposits are exploited by seven mines and two open-pits. The average iron content in ores is 55–58 mass %. Because of the complexity of ore bodies contacts and imperfection of ore mining technology, nonmetallic components enter the ore mass in the process of its extraction from the interior. This explains the lower content of iron (52–54 mass %) in extracted ore mass compared to its average content in the ores prepared for mining.

In order to increase the iron content in saleable ore up to 55–60 mass %, crushing and screening plants (CSP) operate at all Kryvbass mines, using the method of three-stage crushing and screening to separate less stable particles of high-grade ores and harder particles of most low-iron rocks. The processing waste represents a coarse-grained screening of the CSP (particle size 20–100 mm) with a total iron content of 39 to 46 mass %, about 43 mass % on average.

The goal of the work was to analyze the data of previously performed mineralogical and technological studies, to determine the reason for the non-optimality of the results obtained earlier; to justify mineralogically the effective technology for the production of high-quality sinter ore and concentrate from CSP screening.

On the basis of petrographic and mineralogical studies carried out by the authors, methods of magnetic and gravitational beneficiation of the material crushed to the optimum size were chosen.

According to the obtained data, the production of the following useful final products with different iron content is possible from the screenings of CSP: ordinary sinter ore (iron content 55–59 mass %), high-quality sinter ore (60–62 mass%); sinter concentrate (63–64 mass %); ordinary concentrate (65–67 mass %); high-quality concentrate (68–69 mass %). The products quality depends on the particle size in the grinding products, which varies from 1–2 mm (ordinary sinter) to less than 0.1 mm (high-quality concentrate). Comparison of different methods of beneficiating crushed material showed the most effective method to be the gravitational one.

The scientific novelty of the work consists in the mineralogical substantiation of the technology of the production of high-quality useful end products from the dumping of the CSP screenings at the Kryvbass mines. The practical significance of the work is justification for the possibility of producing additional volumes of high-quality sinter ore and concentrate, reducing storage of processing waste.

Keywords: banded iron formation, Kryvyi Rih basin, high-grade iron ores, processing waste, reuse of ore processing waste.

О. Демченко, асп.
E-mail: demchenkooleg121@gmail.com,
В. Євтехов, докт. геол.-мінералог. наук, проф., зав. кафедри
E-mail: evtekhov@gmail.com,
А. Євтехова, канд. геол. наук, доц.
E-mail: eva.anna23@gmail.com,
Е. Георгієва, ст. викладач
E-mail: hgeorg7@mail.ru
Криворізький національний університет,
вул. Пушкіна, 37, м. Кривий Ріг, 50002, Україна

ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОВТОРНОГО ЗБАГАЧЕННЯ КРУПНОЗЕРНИСТОГО ВІДСІВУ ДРОБИЛЬНО-СОРТУВАЛЬНИХ ФАБРИК КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ

Багаті залізні руди Криворізького басейну належать до найбільш всебічно вивчених геологічних об'єктів залізисто-кремнистої формації. Розробка родовищ багатих гематитових руд проводиться сімома шахтами і двома кар'єрами. Середній вміст заліза у рудах 55–58 мас.%. У зв'язку зі складністю контактів рудних тіл, недосконалістю технології видобутку руд у рудну масу в процесі її вилучення з надр потрапляють нерудні компоненти. Цим пояснюється більш низький вміст заліза (52–54 мас.%) у складі видобутої рудної маси порівняно з його середнім вмістом у руді підготовлених до відпрацювання покладів.

Для підвищення вмісту заліза в товарній руді до 55–60 мас.% на всіх шахтах Кривбасу працюють дробильно-сортувальні фабрики (ДСФ), на яких методом тристадійного дроблення та грохотіння проводиться розподіл менш міцних частинок багатих руд і більш міцних частинок більшості малозалізистих гірських порід. Відходи збагачення являють собою крупнозернистий відсів ДСФ (розмір частинок 20–100 мм) із загальним вмістом заліза від 39 до 46 мас.%, у середньому близько 43 мас.%.

Метою роботи були: аналіз даних раніше виконаних мінералого-технологічних досліджень, визначення причин неоптимальності їх результатів; мінералогічне обґрунтування ефективної технології виробництва високоякісної аглоруди і концентрату з відсіву ДСФ.

На основі виконаних авторами петрографічних і мінералогічних досліджень для виконання мінералого-технологічних експериментів були вибрані методи магнітного та гравітаційного збагачення відсіву, подрібненого до оптимальної крупності частинок.

Відповідно до одержаних даних, із відсіву ДСФ можливе виробництво корисних кінцевих продуктів із різним вмістом заліза: рядової агломераційної руди (вміст заліза 55–59 мас.%), високоякісної аглоруди (60–62 мас.%); аглоконцентрату (63–64 мас.%); рядового концентрату (65–67 мас.%); високоякісного концентрату (68–69 мас.%). Якість продуктів залежить від крупності частинок у продуктах подрібнення, яка змінюється від 1–2 мм (рядова аглоруда) до менше 0,1 мм (високоякісний концентрат). Порівняння різних методів збагачення подрібненого матеріалу показало, що найефективнішим способом є гравітаційний.

Наукова новизна роботи полягає в мінералогічному обґрунтуванні технології виробництва високоякісних корисних кінцевих продуктів із відсіву ДСФ шахт Кривбасу. Практичне значення роботи – у визначенні можливості виробництва додаткової кількості високоякісної аглоруди і концентрату; зменшення об'єму складування відходів збагачення.

Ключові слова: залізисто-кремниста формація, Криворізький басейн, багаті залізні руди, відходи збагачення, повторне використання відходів збагачення руд.