

УДК 549 : 622.7 : 669 : 553.31 (477.63)

**Евтехов В.Д., Евтехов Е.В.**

## **ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ИЗ БЕДНЫХ ГЕМАТИТОВЫХ РУД УКРАИНЫ**

*Изложены результаты геологического, минералогического, химического, технологического изучения низкокачественных гематитовых руд (гематитовых кварцитов) месторождений Криворожского и других железорудных бассейнов и районов Украины. Показана высокая эффективность использования гематитовых кварцитов в качестве сырья для производства аглоруды, аглоконцентрата, концентрата, железорудного брикета.*

Основным направлением использования гематитовых руд на протяжении XX ст. являлось производство кусковой агломерационной руды (аглоруды) для доменного производства. Небольшая часть добытой кусковой руды с наиболее высоким содержанием железа (выше 62 мас.%) использовалась непосредственно в мартеновском производстве.

Аглоруда представляет собой один из основных компонентов шихты, из которой путем окислительного обжига производят железорудный агломерат. Последний используется в доменном процессе для производства чугуна. Сырьем для производства аглоруды в Украине являются богатые гематитовые руды. Общее содержание железа ( $Fe_{\text{общ.}}$ ) в их составе изменяется от 46 до 69 мас.%, среднее значение этого показателя – около 57 мас.%. Содержание  $Fe_{\text{общ.}}$  в составе производимой на шахтах Украины аглоруды разных сортов изменяется от 54-55 до 60-61 мас.%; размер рудных частиц в товарной руде разного качества колеблется от 20-0 до 8-0 мм.

Начиная с 70-х годов XX ст. производство аглоруды в Украине постепенно снижается в связи с исчерпанием запасов многих залежей, увеличением глубины отработки руд – от более 100 млн. т. в год в середине XX ст. до 10-15 млн. т в год на протяжении последних 10 лет. Потребность металлургических предприятий в этом сырье не удовлетворяется. Начиная с 2000 г., в Украине и других регионах планеты активно изучается возможность производство из некондиционных гематитовых руд (гематитовых кварцитов) с общим содержанием железа менее 46 мас.% – высококачественных железосодержащих продуктов: агломерационной руды, аглоконцентрата, концентрата, а также аглоокатыша и аглобрикета.

### **Минеральный и химический состав гематитовых кварцитов**

Гематитовые (т.н. «окисленные») кварциты являются продуктом выветривания магнетитовых кварцитов [1, 3, 4], которые в настоящее время разрабатываются в качестве основного железорудного сырья карьерами шести действующих горнообогатительных комбинатов Криворожского бассейна и Кременчугского железорудного района [2, 6].

В табл. 1 на примере железистых кварцитов Криворожского бассейна показано изменение минерального состава магнетитовых кварцитов при их выветривании и замещении гематитовыми кварцитами. Отбор проб производился до глубины 500 м от поверхности в забоях карьеров и из керна разведочных скважин. Определения проводились с пересчетом объемного содержания минералов на массовые проценты для 182 проб магнетитовых кварцитов и 161 пробы гематитовых кварцитов.

Магнетитовые и гематитовые кварциты других месторождений Украины (Горишни-Плавнинского, Лавриковского, Белановского, Еристовского, Галещинского, Южно-Белозерского, Северно-Белозерского, Переверзевского, Гуляй-Польского, Васиновского и др.) близки к криворожским по минеральному составу.

Результаты минералогических исследований авторов статьи и многих авторов предыдущих работ свидетельствуют о том, выветривание первичных магнетитовых кварцитов сопровождается замещением:

– магнетита – мартитом (зернистым гематитом), выделения которого представляют собой агрегаты очень мелких (как правило, менее 0,01 мм по максимальному измерению) пластинчатых, чешуйчатых индивидов железной слюдки; морфологически агрегаты мартита наследуют индивиды и агрегаты замещенного им магнетита;

– железо-содержащих карбонатов (сидерита, сидероплезита, пистомезита и др.) – пылевидным, сыпучим агрегатом дисперсного гематита («гидрогематита»);

– сульфидов железа (пирита, пирротина, марказита и др.) – пылевидным агрегатом дисперсного гематита с незначительной примесью сульфатов железа, кальция, алюминия (ярозита, копиапита, гипса);

– железо-содержащих безглиноземных силикатов (куммингтонита, железистого талька (миннесотаита), рибекита, эгирина и др.) – пылевидным агрегатом дисперсного гематита («гидрогематита») с примесью кварца и более редких халцедона или опала;

– глинозем-железистых силикатов (биотита, хлорита, альмандина, стильпноmelана и др.) – пылевидным агрегатом дисперсного гематита («гидрогематита») и глинистого минерала (обычно каолинита) с примесью кварца и более редких халцедона или опала;

– при условии продолжительного активного действия гипергенных факторов – образованием гидроксидов железа (гетита, лепидокрокита, дисперсного гетита («гидрогетита»)) за счет всех упомянутых выше железосодержащих минералов.

Таблица 1.

Средний минеральный состав магнетитовых и гематитовых кварцитов  
Криворожского бассейна

Минералы и минеральные разновидности	Содержание, мас.%	
	магнетитовые кварциты	гематитовые кварциты
гематит,	2,78	41,76
<i>в том числе:</i>		
<i>мартит</i>	0,07	34,78
<i>железная слюдка</i>	2,68	2,97
<i>дисперсный гематит</i>	0,03	4,01
гидроксиды железа,	0,16	4,24
<i>в том числе:</i>		
<i>гетит</i>	0,09	2,43
<i>лепидокрокит</i>	0,01	0,14
<i>дисперсный гетит</i>	0,06	1,67
магнетит	39,83	4,28
минералы группы кварца,	39,27	41,82
<i>в том числе:</i>		
<i>кварц</i>	39,24	41,34
<i>халцедон</i>	0,03	0,43
<i>опал</i>	0,00	0,05
новообразованные (гипергенные) безжелезистые силикаты (каолинит, бейделлит, диккит и др.)	0,01	3,38
реликтовые (метаморфогенные) железо-содержащие силикаты (куммингтонит, биотит, хлорит, альмандин, селадонит, стильпноелан и др.)	13,21	3,09
новообразованные (гипергенные) карбонаты (арагонит, кальцит, доломит, ферродоломит и др.)	0,04	0,56
реликтовые (метаморфогенные) карбонаты (сидерит, сидероплезит, пистомезит и др.)	3,92	0,44
сульфиды железа (пирит, пирротин, марказит, мельниковит и др.)	0,29	0,09
апатит	0,18	0,15
другие минералы (циркон, турмалин, ярозит, копияпит, гипс, алунит, хантит и др.)	0,31	0,19
<b>Всего</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
<b>Количество определений</b>	<b>182</b>	<b>161</b>

Присутствующие в составе исходных железистых кварцитов кварц и железная слюдка (пластинчатый гематит) относительно устойчивы к выветриванию.

Таким образом, основная минералогическая тенденция процесса выветривания магнетитовых кварцитов состоит в уменьшении их минералогического разнообразия, в переходе от полиминеральных (магнетит + гематит + кварц + силикаты + карбонаты и др.) ассоциаций магнетитовых кварцитов к практически биминеральным (гематит + кварц) или реже отмечающимся триминеральным (гематит + кварц + каолинит) ассоциациям гематитовых кварцитов.

Данные табл. 1 подтверждают это: суммарное содержание гематита и кварца в составе гематитовых кварцитов около 85 мас.%, количе-

ство каждого из этих минералов превышает 40 мас.%. Содержание других минералов незначительное – каждого не более 4 мас.%.  
 Минеральный состав железистых кварцитов тесно связан с их химическим составом. Результаты химических анализов железистых кварцитов тех же 343 проб, для которых проводились определения минерального состава, в обобщенном виде приведены в табл. 2.

Таблица 2.  
 Средний химический состав магнетитовых и гематитовых кварцитов Криворожского бассейна

Химические компоненты	Содержание, мас.%	
	магнетитовые кварциты	гематитовые кварциты
SiO <sub>2</sub>	42,46	42,95
TiO <sub>2</sub>	0,081	0,076
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,78	0,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,47	49,28
FeO	18,45	1,83
MnO	0,073	0,044
MgO	2,34	1,43
CaO	1,13	0,69
Na <sub>2</sub> O	0,09	0,03
K <sub>2</sub> O	0,18	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,075	0,068
CO <sub>2</sub>	2,12	0,58
S	0,142	0,037
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,54	1,94
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,11	0,19
<b>Всего</b>	<b>100,041</b>	<b>99,975</b>
<b>Количество определений</b>	<b>182</b>	<b>161</b>

Данные химических анализов свидетельствуют об относительно слабой подвижности рудообразующих химических компонентов при выветривании магнетитовых кварцитов. Содержание кремнезема незначительно увеличивается, вероятно, в связи с выносом части второстепенных компонентов (MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>). Железо переходит из закисной в окисную форму, силикаты железа замещаются оксидами и гидроксидами. При этом общее содержание железа практически не изменяется. В связи с образованием водных силикатов и гидроксидов железа значительно возрастает количество H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>. Относительно стабильно содержание слабо подвижных при гипергенезе TiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Устойчивостью апатита к действию гипергенных факторов обусловлено слабое изменение содержания P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Количество другого вредного компонента железных руд – серы – резко уменьшается в связи с разложением пирита и пирротина в условиях выветривания, замещением их дисперсным гематитом и гидроксидами железа. В целом же гематитовые кварциты характеризуются содержанием вредных химических примесей (S, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O), намного более низким по сравнению со значениями, принятыми на мировом рынке железорудного сырья.

Результаты химических анализов подтверждают двухкомпонентную природу гематитовых кварцитов. Суммарное содержание  $Fe_2O_3$  и  $SiO_2$  составляет около 95 мас.%. Количество каждого из второстепенных химических компонентов не превышает 2 мас.%, общее их содержание составляет около 7 мас.%.

Важное значение для оценки качества железорудного сырья имеют данные о распределении железа по основным минеральным фазам (фазовый состав железа). Фазовые анализы были выполнены для материала тех же проб магнетитовых и гематитовых кварцитов, для которых проводились минералогические исследования. В обобщенном виде результаты фазовых анализов железа приведены в табл. 3.

Таблица 3.

Средний фазовый состав железа магнетитовых и гематитовых кварцитов Криворожского бассейна

Химические компоненты	Содержание, мас.%	
	магнетитовые кварциты	гематитовые кварциты
$Fe_{общ.}$	36,29	35,82
$Fe_{магн.}$	28,67	3,05
$Fe_{март.}$	0,01	24,41
$Fe_{гем.}$	1,94	4,65
$Fe_{гидр.}$	0,11	2,58
$Fe_{сил.}$	3,78	0,86
$Fe_{карб.}$	1,65	0,23
$Fe_{сульф.}$	0,13	0,04
Количество определений	182	161

$Fe_{общ.}$  – общее содержание железа в составе железистых кварцитов. Содержание железа в составе минералов и минеральных разновидностей:  $Fe_{магн.}$  – в составе магнетита;  $Fe_{март.}$  – мартита;  $Fe_{гем.}$  – железной слюдки и дисперсного гематита;  $Fe_{гидр.}$  – гидроксидов железа;  $Fe_{сил.}$  – силикатов;  $Fe_{карб.}$  – карбонатов;  $Fe_{сульф.}$  – сульфидов.

Из данных табл. 3 следует, что общее содержание железа в составе магнетитовых кварцитов в процессе их выветривания незначительно снижается. Происходит его перераспределение между минеральными фазами. Содержание железа в составе магнетита сильно уменьшается в связи с его мартитизацией. Снижается также содержание железа в составе силикатов, карбонатов и сульфидов в связи с их замещением дисперсным гематитом и гидроксидами железа.

### Минерально-сырьевая база

В Криворожском бассейне существует несколько природных и техногенных объектов, которые можно рассматривать в качестве залежей бедных гематитовых руд. К основным можно отнести следующие.

1. Находящиеся в недрах залежи гематитовых кварцитов [2, 3], которые до настоящего времени рассматриваются как вскрышные горные породы. Они извлекаются из шахт при добыче богатых гематитовых руд или из карьеров горнообогатительных комбинатов при добыче бедных

магнетитовых руд и складироваться в отвалах (рис. 3, 4). По разным оценкам, ресурсы гематитовых кварцитов в границах горных отвалов предприятий до глубины 1000 м составляют от 30 до 50 млрд. т, что на порядок выше разведанных запасов железных руд действующих шахт и карьеров. Среднее содержание железа в составе бедных гематитовых руд около 36 мас.% (табл. 3).



*Рис. 3. Собранное в синклиналиную складку пластообразное тело гематитовых кварцитов пятого и шестого железистых горизонтов Ингулецкого месторождения (темнокрасное ядро Лихмановской синклинали – основной геологической структуры месторождения).*

*Гематитовые кварциты извлекаются из недр при добыче магнетитовых кварцитов (черное обрамление тела гематитовых кварцитов) и складироваться в отвалах карьера Ингулецкого ГОКа.*

2. Гематитовые кварциты, извлеченные из недр и накопленные в отвалах действующих и закрытых горнодобывающих предприятий [3] (рис. 5). Материал отвалов кроме гематитовых кварцитов содержит также примесь богатых гематитовых руд (около 5% от общей массы отвалов) и нерудных компонентов (разного состава сланцев, малорудных и безрудных кварцитов, реже амфиболитов, гранитов и др.). Ресурсы гематитовых кварцитов в составе этих техногенных залежей, по предварительным оценкам, составляют от 1,5 до 2 млрд. т. Содержание  $Fe_{\text{общ}}$  в составе слагающего их материала изменяется от 15 до 65 мас.%, в среднем составляет около 34 мас.%.

3. Гематитовые кварциты, извлеченные из недр и специально за-складированные для последующего использования (Южный ГОК, ГОК комбината «АрселорМиттал Кривой Рог» (бывший Новокриворожский ГОК) и другие предприятия) [3]. Рудный материал характеризуется относительной чистотой и однородностью. Количество накопленного в складах материала около 1 млрд. т. Содержание  $Fe_{общ.}$  в его составе колеблется от 30 до 45 мас.%, в среднем составляет около 36 мас.%.



*Рис. 4. Пластообразная залежь гематитовых кварцитов пятого и шестого железистых горизонтов карьера «Южный» бывшего рудника им. С.М.Кирова (в настоящее время – шахтоуправления комбината «АрселорМиттал Кривой Рог»).*

*Гематитовые кварциты (яркокрасное) извлекаются из недр при добыче богатых гематитовых руд (крановато-синее) и складированы в отвалах карьера.*

4. Гематитовые кварциты текущей добычи шахт и карьеров обогатительных комбинатов (рудник «Сухая балка», Криворожский железорудный комбинат, Ингулецкий ГОК, Центральный ГОК, шахтоуправление комбината «АрселорМиттал Кривой Рог» и другие предприятия) [3]. Извлекаемый рудный материал (рис. 6) характеризуется относительной чистотой и однородностью. Количество добываемых гематитовых кварцитов оценивается в 30 млн. т в год. Содержание  $Fe_{общ.}$  в их составе изменяется от 30 до 45 мас.%, в среднем составляет около 35 мас.%.



*Рис. 5. Законсервированный отвал закрытой шахты «Большевик» (Криворожский железорудный комбинат), сложенный, главным образом, гематитовыми кварцитами.*



*Рис. 6. Складирование гематитовых кварцитов в отвалах действующего карьера «Южный» (шахтоуправление комбината «АрселорМиттал Кривой Рог»).*



5. Крупнозернистый (20-150 мм) отсев дробильно-сортировочных фабрик (ДСФ) шахт, состоящий из гематитовых кварцитов с примесью богатой гематитовой руды (до 10 мас.%), и незначительным количеством нерудных компонентов [3]. Ресурсы оцениваются в 15-20 млн. т, ежегодно этот показатель возрастает на 1,5-2 млн. т. Растут также и потери этого сырья в связи с переполненностью его складов. Содержание  $Fe_{\text{общ}}$  в составе этого вида сырья колеблется от 38 до 46 мас.%, в среднем составляет около 42 мас.%. По качественным показателям отсев ДСФ является приоритетным как исходный материал для производства гематитового концентрата, аглоруды.

### **Минералогическое обоснование и разработка технологии обогащения гематитовых кварцитов**

Результаты минералогического и химического изучения гематитовых кварцитов свидетельствуют, что как железорудное сырье они имеют равную кондиционность с магнетитовыми кварцитами. Необходимо только минералогически обосновать и разработать оптимальную схему производства из них требуемых полезных конечных продуктов: аглоруды, концентрата и др.

Главной особенностью гематитовых кварцитов, которую необходимо учитывать при определении методов их обогащения, является их практически биминеральный гематит-кварцевый состав. Гематит и кварц существенно отличаются по многим физическим свойствам, в том числе по удельной магнитной восприимчивости (гематит – антиферри-магнетик, характеризуется повышенными значениями удельной магнитной восприимчивости; кварц – диамагнетик, практически немагнитный минерал); по плотности (гематит –  $5200 \text{ кг/м}^3$ , кварц –  $2650 \text{ кг/м}^3$ ), по флотационным характеристикам.

При определении технологического потенциала руд, разработке минералогического обоснования оптимальной схемы их обогащения важно оценить характер поведения рудообразующих и второстепенных минералов при рудоподготовке и обогащении. С учетом физических, технологических свойств минералов, результатов предварительных минерало-технологических экспериментов, минералы гематитовых кварцитов можно разделить на три группы:

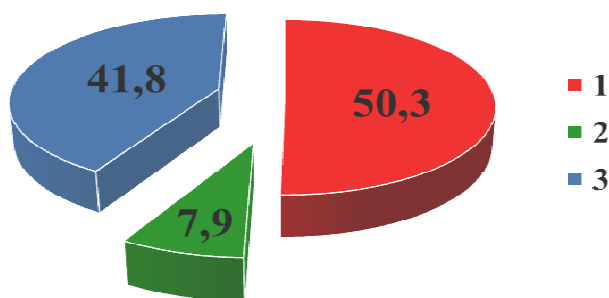
– мартит, железная слюдка, магнетит, гетит, лепидокрокит, присутствующие в виде зернистых агрегатов и образующие после дробления и измельчения рудные частицы с преимущественным размером 0,02-0,05 мм;

– кварц, образующий в процессе измельчения частицы, в основном, крупнее 0,02 мм и не склонный к переизмельчению, ошламованию;

– другие минералы, которые содержатся в составе исходных гематитовых кварцитов в виде очень мелких включений или образуют в них землистые, пылевидные агрегаты, а также минералы, склонные при ру-

доподготовке к переизмельчению (дисперсный гематит, дисперсный гетит, маршалитизированный кварц, каолинит и другие глинистые минералы, выветренные разновидности железо-содержащих и безжелезистых силикатов и карбонатов: хлорита, биотита, куммингтонита, стильпно-мелана, сидерита, сидероплезита и др.); минералы этой группы склонны к образованию в продуктах измельчения тонкозернистого (шламового) материала с преимущественным размером частиц менее 0,02 мм.

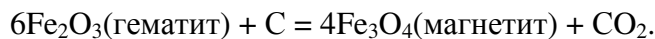
На диаграмме рис. 7 показано количественное соотношение этих минеральных групп в составе гематитовых кварцитов месторождений Кривбасса, рассчитанное по данным табл. 1.



**Рис. 7.** Количественные соотношения (мас.%) основных групп минералов в составе гематитовых кварцитов Криворожского бассейна (по данным табл. 1).

1 – кварц; 2 – мартит + магнетит + железная слюдка + гетит + лепидокрокит; 3 – другие минералы.

В Криворожском бассейне первые попытки решить в промышленных условиях проблему обогащения гематитовых кварцитов были предприняты в 60-70-х годах XX ст. На Центральном ГОКе была построена обогатительная фабрика по обжиг-магнитному обогащению бедных гематитовых руд. Исходное сырье после измельчения подвергалось восстановительному обжигу. Происходило замещение гематита магнетитом:



Частицы образовавшегося при этом магнетита в срастаниях с невосстановленным гематитом извлекались из полученных продуктов методом магнитной сепарации.

В конце 70-х годов XX ст. от обжиг-магнитной технологии отказались в связи с относительно низким (61-64 мас.%) содержанием железа в производимом концентрате, высокой энергоемкостью технологического процесса, большим количеством вредных выбросов.

На методе мокрого магнитного обогащения продуктов измельчения гематитовых кварцитов в сильном поле основана технологическая

схема Криворожского ГОКОРа. Уже в ходе строительства комбината метод был опробован в промышленных условиях на одной из секций обогатительной фабрики Новокриворожского ГОКа. В соответствии с результатами испытаний, технология была признана неоптимальной из-за высокой энергоемкости, нестабильности работы основного технологического оборудования, низкого (не выше 60-61 мас.%) содержания железа в концентрате. Предложенные методы повышения качества концентрата с использованием поверхностно-активных веществ, обратной флотации показали их недостаточную техническую, технологическую, экономическую и экологическую эффективность.

Авторами этой статьи в 2002 г. было предложено обогащать гематитовые кварциты с использованием комплексной магнитно-гравитационной технологии. Метод сухой магнитной сепарации рекомендовалось применить на этапе рудоподготовки для удаления нерудных и малорудных частиц из продуктов дробления гематитовых кварцитов до крупности 20-0 (15-0, 10-0 – в зависимости от текстурных характеристик исходного сырья) мм. Измельченный до необходимого размера частиц магнитный продукт дробления – после обесшламливания – предлагалось обогащать методом гравитационной сепарации в водной среде.

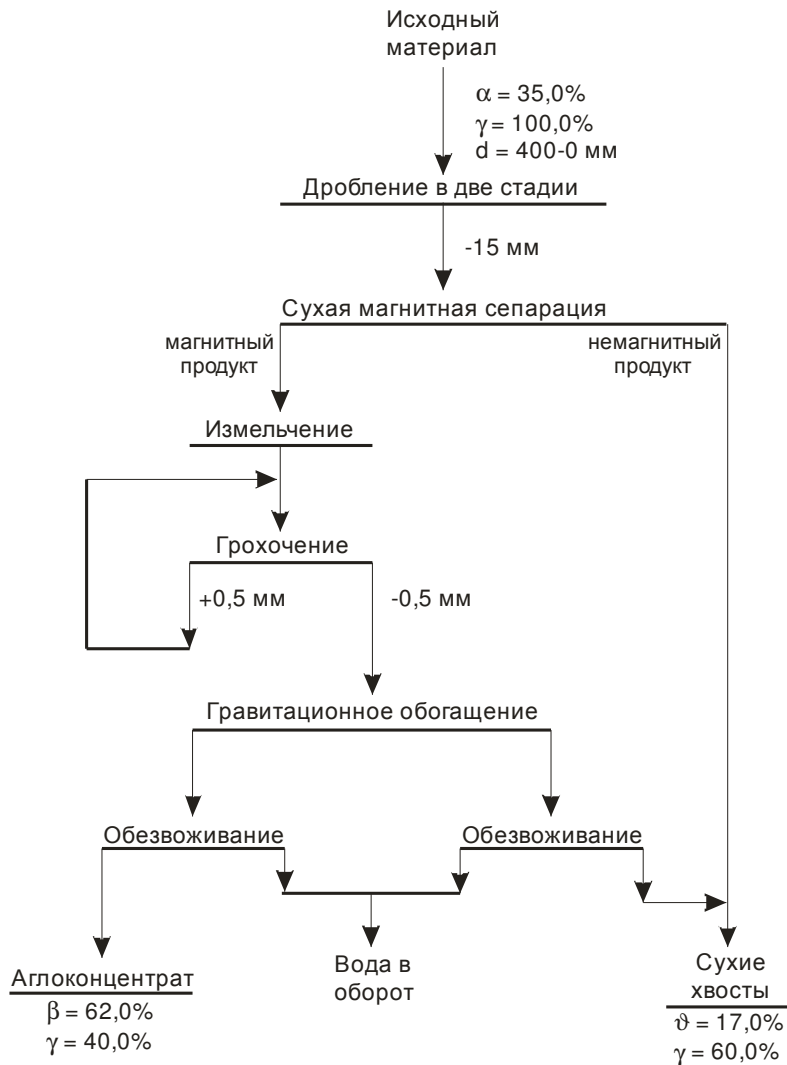
Результаты лабораторных и полупромышленных испытаний, а также опыт работы нескольких промышленных установок показали, что, в зависимости от заданной крупности частиц в продуктах измельчения гематитовых кварцитов, могут быть получены следующие виды полезных конечных продуктов:

- рядовая агломерационная руда с общим содержанием железа 55-57 мас.% – при конечной крупности измельчения исходного материала менее 2 мм;
- аглоруда высокого качества с общим содержанием железа 57-60 мас.% – при крупности частиц менее 1 мм;
- аглоконцентрат с общим содержанием железа 60-63 мас.% – при крупности частиц менее 0,5 мм;
- рядовой концентрат с общим содержанием железа 64-66 мас.% – при крупности частиц около 0,1 мм;
- высококачественный концентрат с общим содержанием железа 67-69 мас.% – при крупности частиц менее 0,1 мм.

На рис. 8 и 9 показаны составленные по результатам лабораторных и полупромышленных испытаний технологические схемы производства аглоконцентрата и высококачественного железорудного концентрата из бедных гематитовых руд Криворожского бассейна. В качестве исходного сырья использовались рядовые гематитовые кварциты пятого и шестого железистых горизонтов месторождения шахты «Заря-Октябрьская» с общим содержанием железа 35 мас.%.

Большинство основных элементов предложенной технологии внедрены в производство на нескольких малых предприятиях Криво-

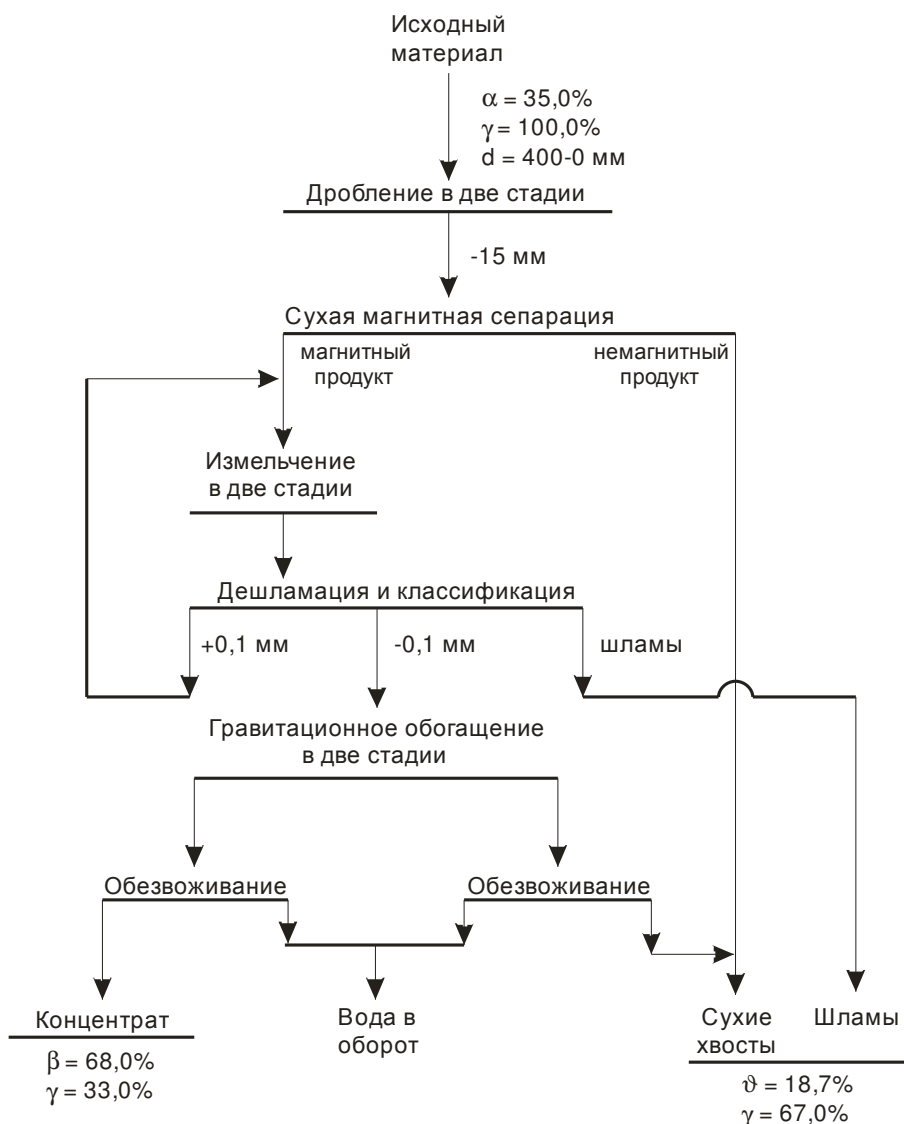
рожского бассейна: в 2006 г. – на установке фирмы «Подряд» по производству рядового гематитового концентрата из отходов шахты «Северная» им. В.А.Валявко (г. Кривой Рог); в 2007 г. – на установке фирмы «Транс-Трейд» по производству такого же концентрата из отходов шахты «Новая» (г. Желтые Воды); в 2008 г. – на установке фирмы «Гонта-Технология» по производству концентрата такого же качества их лежащих металлургических шламов комбината «АрселорМиттал Кривой Рог» (рис. 10).



**Рис. 8.** Технологическая схема производства аглоконцентрата из гематитовых кварцитов шахты «Заря-Октябрьская» Криворожского бассейна.

Для регионов с засушливым климатом (Центральный Казахстан, Намибия, Южная Индия, Иран и др.) авторами настоящей статьи был

предложен вариант магнитно-гравитационной технологии с использованием воздушной классификации дробленой или измельченной исходной руды. Этот вариант не позволяет с надежностью «водной» технологии разделить рудные и нерудные частицы в процессе обогащения, но обеспечивает производство железорудного концентрата с общим содержанием железа от 61 до 63 мас. %.



**Рис. 9.** Технологическая схема производства высококачественного железорудного концентрата из гематитовых кварцитов шахты «Заря-Октябрьская» Криворожского бассейна.

На протяжении последних лет Научно-производственным объединением «РИВС» (г. Санкт-Петербург) и рядом других научно-

исследовательских, проектных и производственных организаций были сформулированы принципиальные положения флотационной технологии производства высококачественного железорудного концентрата из гематитовых кварцитов. Они основаны на положительных результатах, полученных при доводке черновых железорудных концентратов Ингулецкого, Полтавского и других ГОКов [5]. Были проведены лабораторные испытания, подтвердившие расчетные показатели. Но флотационную технологию необходимо совершенствовать с учетом необходимости минимизировать потери железа в отходах обогащения и риски, связанные с возможным негативным действием флотореагентов на окружающую среду.



*Рис. 10. Общий вид установки предприятия «Гонта-Технология» по производству концентрата лежалых металлургических шламов комбината «АрселорМиттал Кривой Рог».*

### **Окускование концентрата и обжиг окатышей (брикета)**

Возможность производства аглобрикета из тонкозернистого железорудного сырья высказывалась ранее. Но ее реализации помешала нерешенность проблем источников исходного сырья, эффективных технологий его обогащения, окускования и обжига. В настоящее время эти проблемы на уровне ноу-хау, лабораторных исследований и частично – на уровне промышленных испытаний решены. Выполнена значительная часть предпроектных испытаний и расчетов. В соответствии с их результатами, общую очередность работ по производству аглоокатыша

или аглобрикета из бедных гематитовых руд можно представить следующим образом:

- добыча некондиционного гематитового сырья;
- производство гематитового концентрата;
- окускование (окомкование, брикетирование) гематитового концентрата;
- использование окатышей или брикета в доменном производстве;
- восстановительный обжиг и металлизация окатышей или брикета;
- использование металлизированного окатыша или брикета в электрометаллургии;

Эксперименты по производству окатышей и брикетированию концентрата производились в соответствии с технологией, разработанной А.В.Петровым. К рядовому концентрату (общее содержание железа 65,5 мас.%), полученному из гематитовых кварцитов шахты «Заря-Октябрьская», добавлялись тонкоизмельченные скрепляющие и шихтообразующие материалы, а в случае моделирования восстановительного обжига окатышей и брикета – также углеродные, углеводородные компоненты, которые при обжиге играли роль энергоносителей и восстановителей железа. Окомкование и обжиг производились с использованием лабораторных установок.

В результате окислительного обжига были получены брикеты с общим содержанием железа около 63 мас.%, кремнезема около 7 мас.%, серы 0,05 мас.%, пентоксида фосфора 0,054 мас.%. При восстановительном обжиге были получены частично восстановленные железорудные окатыши и брикеты (рис. 11) со следующими средними показателями: Fe<sub>общ.</sub> – 82,45 мас.%; SiO<sub>2</sub> – 3,56 мас.%; S – 0,002 мас.%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,049 мас.%.



**Рис. 11.** Металлизированные брикеты из концентрата, полученного из гематитовых кварцитов шахты «Заря-Октябрьская». Диаметр брикетов около 20 мм.

### Заключение

Многие компоненты предлагаемого к проектированию комплекса по производству аглоруды, аглоконцентрата, концентрата, а также аглоокатыша или аглобрикета в разной степени готовы:

- накоплено на поверхности более 2 млрд. т. гематитового сырья;
- в зонах отвалов можно выделить несколько участков площадью до 10 га, необходимых для строительства комплексов – каждого производительностью 1-2 млн. т. исходного сырья в год;
- необходимое для комплекса дробильное и измельчительное оборудование производится серийно многими отечественными и зарубежными предприятиями;
- оборудование для сухой магнитной сепарации дробленого исходного сырья производится в Украине (предприятия «Продэкология», Ровно, «Магнис ЛТД», Луганск, «Промтехнологии», Кривой Рог);
- гравитационное оборудование для обеспечения основных операций обогащения продуктов измельчения гематитовых кварцитов производится в Украине, Российской Федерации, Германии, Австралии и других государствах;
- режимы гравитационного обогащения отработаны на действующих установках предприятий «Подряд», Кривой Рог, «Гонта-Технология», Кривой Рог, «Транс-Трейд», Желтые Воды;
- разработана и испытана в условиях действующего производства технология сухого складирования хвостов обогащения в объемы отработанного исходного сырья, что исключает необходимость строительства хвостохранилищ;
- агрегаты по производству брикета и окатышей изготавливают многие предприятия Украины, Российской Федерации и других государств;
- обжиговые установки с требуемыми характеристиками могут быть изготовлены на предприятиях Российской Федерации, Европы, США, Японии и других государств.

Внедрение в производство технологии изготовления аглобрикета или аглоокатыша позволит отказаться от дорогостоящих энерго- и материалозатратных агломерационного и доменного производств.

По предварительным расчетам, себестоимость аглобрикета в 1,4-1,6 раза ниже себестоимости агломерата, производимого по традиционной технологии.

Основные риски, связанные с внедрением в производство технологий обогащения гематитовых кварцитов:

- неоптимальность минерального состава исходного сырья, главным образом, низкое значение отношения количества минералов, дающих при измельчении зернистый материал (мартит + железная слюдка + гетит + магнетит) к количеству минералов, дающих при измельчении



пелитоморфний матеріал (преимущественно, дисперсний гематит, дисперсний гетит);

– наличие в исходном сырье рудообразующих минералов с сильно отличающейся удельной магнитной восприимчивостью (мартит + магнетит + гетит), что вызывает риски неоптимальности разделения рудной и нерудной составляющих измельченного материала при использовании сепараторов с сильным магнитным полем;

– склонность некоторых рудных минералов (главным образом, мартита) к переизмельчению при рудоподготовке.

Эти риски преодолимы при условии детального минералогического исследования гематитовых кварцитов и разработки минералогически обоснованных технологий рудоподготовки и производства из них концентрата.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Белевцев Я.Н., Тохтуев Г.В., Стрыгин А.И. и др. Геология криворожских железорудных месторождений // Киев: Изд. АН УССР, 1962.– Т. 1 – 484 с., т. 2 – 567 с.*

2. *Богданова И.П., Гехт М.И., Докучаева И.Н. и др. Технологическая оценка железных руд / Изучение вещественного состава и обогатимости железных руд // Москва: Недра, 1976.– С. 57-97.*

3. *Евтехов В.Д., Евтехов Е.В. Сырьевая база предприятий по производству гематитового концентрата в Криворожском бассейне / VI Конгресс обогатителей стран СНГ. Сборник материалов. Московский институт стали и сплавов. 28-30 марта 2007 г. // Москва, 2007.– Т. II.– С. 113-114.*

4. *Лазаренко Е.К., Гершойг Ю.Г., Бучинская Н.И. и др. Минералогия Криворожского бассейна // Киев: Наукова думка, 1977.– 544 с.*

5. *Назаров Ю.П., Смирнов Ю.А. Опыт флотационного обогащения железных руд // Горный журнал.– 2010.– №10.– С. 64-68.*

6. *Пирогов Б.И., Поротов Г.С., Холошин И.В., Тарасенко В.Н. Технологическая минералогия железных руд // Ленинград: Наука, 1988.– 302 с.*

**ЄВТЕХОВ В.Д., ЄВТЕХОВ Є.В. Геологічне і мінералогічне обґрунтування можливості виробництва високоякісної металургійної сировини з бідних гематитових руд України.**

**РЕЗЮМЕ.** Бідні гематитові руди (гематитові кварцити) родовищ Криворізького басейну та аналогічних родовищ України є продуктом вивітрювання магнетитових кварцитів. Середній вміст заліза в складі гематитових кварцитів 35-38 мас.%. Мінеральний склад практично двокомпонентний – гематит + кварц. З використанням комбінованої магнітно-гравітаційної технології з гематитових кварцитів можливе виробництво металургійної сировини різної якості: агломераційної руди, аглоконцентрату, концентрату. Собівартість її нижча від собівартості аналогічних продуктів збагачення, які виробляються в поточний час з використанням традиційних технологій.

**Ключові слова:** залізо-кремниста формація, гематитові кварцити, мінеральний склад, збагачуваність.

**ЕВТЕХОВ В.Д., ЕВТЕХОВ Е.В. Геологическое и минералогическое обоснование возможности производства высококачественного металлургического сырья из бедных гематитовых руд Украины.**

*РЕЗЮМЕ.* Бедные гематитовые руды (гематитовые кварциты) месторождений Криворожского бассейна и аналогичных месторождений Украины являются продуктом выветривания магнетитовых кварцитов. Среднее содержание железа в составе гематитовых кварцитов 35-38 мас.%. Минеральный состав практически двухкомпонентный – гематит + кварц. С использованием комбинированной магнитно-гравитационной технологии из гематитовых кварцитов возможно производство металлургического сырья разного качества: агломерационной руды, аглоконцентрата, концентрата. Себестоимость его ниже себестоимости аналогичных продуктов обогащения, производимых в настоящее время с использованием традиционных технологий.

**Ключевые слова:** железисто-кремнистая формация, гематитовые кварциты, минеральный состав, обогатимость.

**EVTEKHOV V.D., EVTEKHOV E.V. Geological and mineralogical grounding for the possibility of producing high quality metallurgical raw product from low grade hematite ores of Ukraine.**

*SUMMARY:* Low grade hematite ores (hematite quartzites) from the deposits of the Kryvyi Rih basin and similar deposits of Ukraine are the product of weathering of magnetite quartzites. Average iron content in hematite quartzites is 35-38 mas.% Mineral composition is practically two-component – hematite + quartz. Production of metallurgical feed material of various quality, sinter ore, sinter concentrate, concentrate is possible from hematite quartzites using combined magnetic-gravitational technology. Its prime cost is less than one of analogous products of beneficiation made with the use of traditional technologies at the present time.

**Key words:** banded iron formation, hematite quartzites, mineral composition, dressability.

*Надійшла до редакції 20 жовтня 2009 р.  
Представив до публікації проф. Б.І.Пирогов.*