

## ПОДГОТОВКА ВЫСОКОМАГНЕЗИАЛЬНЫХ СИДЕРИТОВ БАКАЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПРОИЗВОДСТВУ МЕТОДАМИ ПИРО- И ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ

**И.А. Савченко<sup>1</sup>, А.Н. Смирнов<sup>1</sup>, М.Ю. Турчин<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск,

<sup>2</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; ООО «Группа „Магнезит“», г. Сатка

Руды Бакальского рудного поля относятся к труднообогатимым, ввиду того что соединения железа и магния как в составе основного минерала до обжига – сидероплезита, так и в продукте его обжига по существующему способу подготовки образуют общую кристаллическую решётку. Несмотря на то, что было предложено и опробовано в полупромышленных масштабах множество схем подготовки бакальских сидеритов к металлургическому производству методами пирометаллургии, ни одна из них не была реализована в промышленных масштабах.

В работе показано, что термообработка высокомагнезиальных сидеритов в так называемых условиях «мягкого» обжига делает возможным селективное извлечение оксида магния раствором углекислого газа в воде.

Установлено, что эффективная энергия активации процесса выщелачивания составляет примерно 45 кДж/моль, что соответствует протеканию процесса в кинетической области.

Предложена схема подготовки высокомагнезиальных сидеритов к металлургическому производству методами пирометаллургии, реализация которой позволяет получать железорудный концентрат магнезиальный, содержащий более 58 % общего железа при содержании оксида магния 5–8 %. Сопутствующим продуктом при реализации данной схемы является высокоактивная магнезия, доля оксида магния в составе которой составляет не менее 98 %.

Увеличение общего железа не менее чем на 8 % при снижении содержания оксида магния более чем в 2 раза по сравнению с его уровнем в концентрате, получаемом по применяемому ныне способу, позволяет существенно расширить масштабы его применения.

Реализация разработанной схемы подготовки высокомагнезиальных сидеритов к металлургическому производству методами пирометаллургии предусматривает комплексное извлечение попутных элементов, что обеспечивает ее экономическую обоснованность.

*Ключевые слова:* сидероплезит; сидерит; магнезиоферрит; концентрат обожженный сидеритовый; «мягкий» обжиг; магнезиовюстит; выщелачивание; магнезия; железорудный концентрат магнезиальный; агломерат.

### Введение

В настоящее время металлургические предприятия Уральского региона обеспечены местным сырьём только на 50–60 %, при этом запасы качественного железорудного сырья неуклонно сокращаются [1]. В связи с этим возникает необходимость расширить местную сырьевую базу и задействовать труднообогатимые руды, которые до настоящего времени либо вообще не использовались, либо использовались в ограниченных масштабах. Стабильное развитие черной металлургии Урала подразумевает решение задачи эффективной переработки данных руд, что предполагает как увеличение глубины извлечения железа, так и расширение спектра извлекаемых компонентов. При этом технологические схемы подготовки уральских руд к металлургическому производству должны сводить к минимуму экологическую нагрузку на окружающую среду.

Кроме того, постоянно растущие требования к качеству производимой стали заставляют метал-

лургов внедрять новые технологии производства, которые, как правило, влекут за собой увеличение нагрузки на металлургические агрегаты. Как следствие, предъявляются все более жесткие требования на огнеупорные материалы, используемые в них. Основным видом огнеупорной продукции для предприятий черной металлургии являются периклазоуглеродистые изделия. Они используются для футеровки кислородных конвертеров, сталеплавильных печей, сталеразливочных ковшей и других агрегатов. Известно, что чем меньше содержание примесных компонентов в огнеупорных изделиях, в первую очередь, CaO и SiO<sub>2</sub>, тем выше технологические свойства огнеупоров, поэтому задача получения высококачественных огнеупоров, во многом определяется составом обожженного магнезита идущего на их производство и прежде всего содержанием и активностью MgO.

В работе рассмотрены схемы подготовки высокомагнезиальных сидеритов Бакальского рудного поля к металлургическому производству мето-

дами пиро- и гидрометаллургии, которые предусматривают комплексное извлечение попутных элементов. В лабораторных условиях был получен качественный железорудный концентрат, и другие сопутствующие продукты, прежде всего, оксида магния высокой чистоты. Получение продуктов, востребованных как в доменном процессе, так и в производстве высококачественных огнеупоров делает реализацию рассмотренных схем экономически обоснованной.

## Характеристики объекта исследования и способов его переработки

Руды Бакальского рудного поля относятся к труднообогатимым, ввиду того что соединения железа и магния, как в составе основного минерала до обжига – сидероплезита, так и в продукте его обжига по существующему способу подготовки, образуют общую кристаллическую решётку [2].

В настоящее время подготовка бакальских сидеритов к металлургическому производству сводится к проведению высокотемпературного окислительного обжига сырой руды (порядка 1000–1100 °С) и последующей сухой магнитной сепарацией (СМС) полученного огарка. После обогащения концентрат обожженного сидерита (КОС) содержит около 50 % общего железа и большое количество (свыше 16–18 %) оксида магния. Присутствие в КОСе в больших количествах MgO приводит к образованию в процессе плавки высоковязких, тугоплавких шлаков, что ухудшает удаление серы и затрудняет доменный процесс [3]. Поэтому доля КОСа при производстве агломерата, например, в условиях агломерационного производства ОАО «ММК» по данным за 2015 г. составила менее 2 %.

Для получения железорудных концентратов с низким содержанием оксида магния предлагались пиро- и гидрометаллургические способы подготовки бакальских сидеритов к металлургическому производству, которые предполагают структурное разрушение общей кристаллической решётки. Применение высокотемпературного восстановительного обжига приводит к расплавлению металлизированных структур, и позволяет разделять металл и шлак по плотности. В результате получается качественный железный концентрат, но, к сожалению, в настоящее время данный способ экономический не рентабелен [4, 5]. Гидрометал-

лургические способы, основанные на использовании сильных минеральных кислот, предусматривают возможность комплексной переработки высокомагнезиальных сидеритовых руд и получения, помимо железорудного концентрата и других сопутствующих продуктов [6]. Однако необходимость использования в больших количествах сильных минеральных кислот делает эти способы подготовки неприемлемыми ни с экономической, ни с экологической точки зрения. Несмотря на то, что было предложено и опробовано в полупромышленных масштабах множество схем подготовки бакальских сидеритов к металлургическому производству методами пиро- и гидрометаллургии, ни одна из них не была реализована в промышленных масштабах.

В табл. 1 представлен усредненный химический состав бакальских сидеритов.

Железо в бакальской руде в основном входит в состав сидероплезита, доля которого в руде составляет 70–75 %, и в незначительных количествах встречается в виде гидроксидов и оксидов. Кроме того часть железа присутствует в руде в виде пирита. Бакальские руды довольно чистые по фосфору (менее 0,05 %), в них мало серы (в среднем 0,1–0,3 %), цинка и меди (менее 0,005 %), кроме того, они содержат порядка 1–2 % карбоната марганца.

## Результаты экспериментов и их обсуждение

Выполненные термогравиметрические эксперименты, показали, что разложение сидероплезита начинается при температуре около 400 °С и заканчивается при температуре менее 650 °С [7].

Экспериментально установлено, что из магнезиоферрита ( $MgFe_2O_4$ ), образующегося в условиях высокотемпературного окислительного обжига, оксид магния раствором диоксида углерода в воде практически не извлекается. Для предотвращения образования  $MgFe_2O_4$  проводили так называемый «мягкий» обжиг, то есть обжиг при температуре 550–650 °С в отсутствие доступа кислорода воздуха.

Электронно-микроскопические и рентгеноструктурные исследования позволили установить, что в составе КОС, полученного в условиях «мягкого» обжига, оксид магния находится не только в форме  $MgFe_2O_4$ , но и в форме твердого раствора  $FeO_x \cdot MgO_{(1-x)}$  (магнезиовюстит), и в незначитель-

Таблица 1

Усредненный химический состав бакальских сидеритов

Элемент или соединение	Fe <sub>общ</sub>	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO	S	P	Cu	п.п.п.*
Массовая доля, %	29,36	10,61	2,87	7,97	1,30	2,47	0,19	0,205	0,01	0,005	33,0

\* Потери после прокаливания при температуре 1000 °С

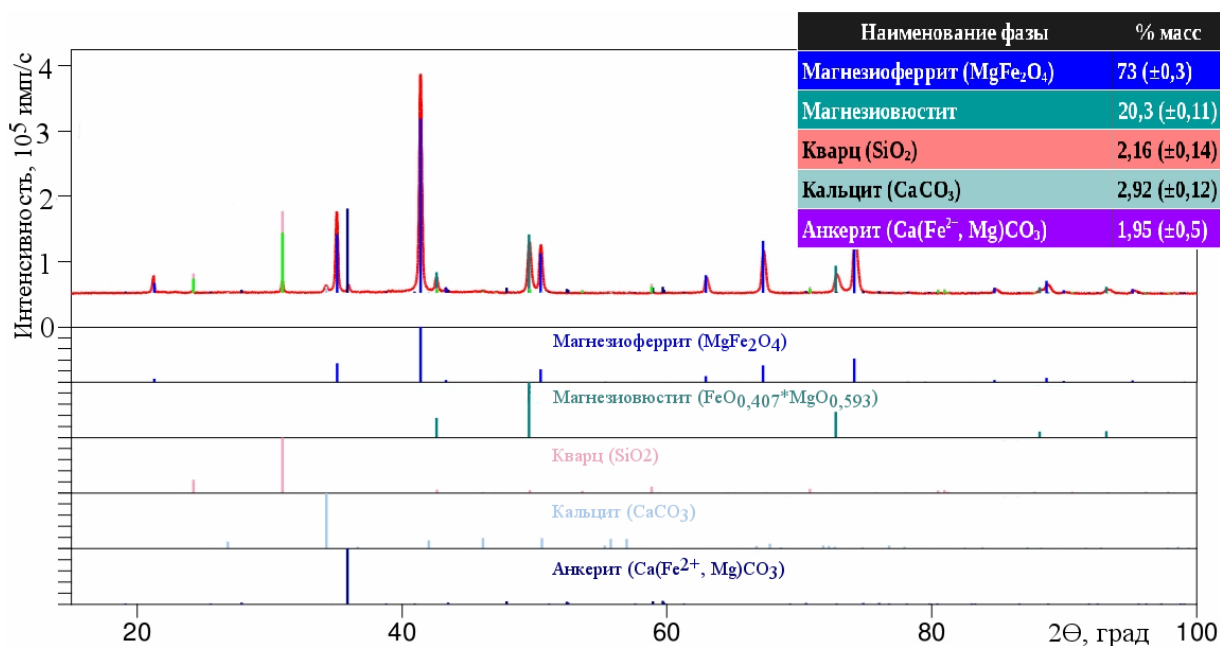
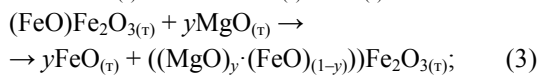
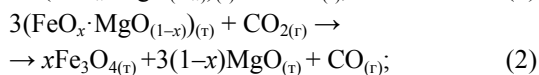
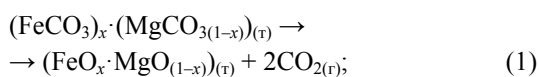


Рис. 1. Дифрактограмма КОС, полученного в условиях «мягкого» обжига

ных количествах в виде периклаза (MgO). Железо, помимо фазы магнезиоферрита, находится и в фазе магнетита (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)<sup>1</sup>. Также были идентифицированы: кварц, кальцит, анкерит и др. Дифрактограмма КОС, обожжённого в условиях «мягкого» обжига, приведена на рис. 1 [8].

Образование основных фаз происходит в результате протекания следующих реакций:



Было установлено наличие в составе получаемого в результате «мягкого» обжига КОС от 0,1 до 1,1 % аморфного углерода, присутствие которого объясняется протеканием реакции (4) [9]. По результатам хроматографического анализа состава газовой фазы, образующейся при «мягком» обжиге сидеритовой руды, основными газообразными продуктами обжига являются CO<sub>2</sub> и CO, которые находятся в соотношении приблизительно 4 : 1, соответственно [10].

В результате обработки КОСа, полученного в условиях «мягкого» обжига, слабой угольной ки-

слотой (раствор диоксида углерода в воде) при комнатной температуре и давлении диоксида углерода равном одной атмосфере становится возможным извлечение до 30 % оксида магния в течение 5 ч. Для увеличения данных показателей были разработаны способы активации обожжённого в «мягких» условиях КОСа, применение которых, при комнатной температуре и давлении диоксида углерода равном одной атмосфере, позволяет удалять до 60–65 % MgO всего за первые 30 мин и до 70–75 % за 1–1,5 ч [11].

Селективное извлечение оксида магния (выщелачивание) из предварительно измельчённой до 200 мкм железорудной фракции проводили при соотношении твёрдое – жидкое 1 : 20.

Параметры процесса выщелачивания были определены на основании предварительно проведённых лабораторных экспериментов. В результате обработки кинетических кривых процесса извлечения MgO при различных температурах, была определена эффективная энергия активации, значение которой составляет примерно 45 кДж/моль, что соответствует протеканию процесса в кинетической области реагирования [12, 13].

Применение предлагаемого способа подготовки высокомагнезиальных сидеритовых руд Бакала позволяет получать железорудный концентрат магнезиальный (ЖКМ), содержащий не менее 58 % общего железа, при содержании в нем оксида магния от 5 до 8 %. Химический состав КОС, хвостов магнитного обогащения и ЖКМ, полученных по предлагаемой схеме в «укрупненных» лабораторных условиях, представлен в табл. 2. Снижение содержания оксида магния в ЖКМ более чем в 2 раза, по сравнению с его уровнем в КОСе, полученном по применяемому ныне способу, позволяет

<sup>1</sup> Из-за наложения пиков магнетита – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Fe<sup>2+</sup>2Fe<sup>3+</sup>O<sub>4</sub><sup>2-</sup>) и магнезиоферрита – MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (Mg<sup>2+</sup>2Fe<sup>3+</sup>O<sub>4</sub><sup>2-</sup>), которые имеют идентичную кристаллическую структуру, их разделение на дифрактограмме затруднено.

Таблица 2

Химический состав КОС, хвостов магнитного обогащения, ЖКМ и характеристики магнезии, полученных по предлагаемой схеме

Фракция	Содержание компонента, %										Fe <sub>общ</sub> /MgO
	Fe <sub>общ</sub>	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	
КОС	51,93	15,69	1,45	2,94	2,18	0,95	0,050	0,004	0,1	0,24	3,31
Хвосты	8,40	11,23	15,70	32,27	0,30	10,19	0,090	0,036	0,28	2,52	0,75
ЖКМ	58,9	5,24	1,52	3,11	2,46	0,99	0,038	0,003	0,14	0,34	11,24

Таблица 3

Химический состав и активность магнезии, полученной по предлагаемой схеме

Элемент или соединение	Fe <sub>общ</sub>	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	MnO	п.п.п.	Активность по «лимонному числу», с
Магнезия, %	0,09	98,5	0,83	0,12	0,05	0,2	55–66

существенно расширить масштабы его применения. Увеличение соотношения Fe<sub>общ</sub>/MgO в ЖКМ до 7,6–11,2 позволит, например, в условиях ОАО «ММК» увеличить его потребление в 2,3–3,2 раза и довести до 550–650 тыс. т.

Спекания шихты в лабораторных условиях с использованием полученного ЖКМ, показали улучшение показателей холодной прочности агломерата и увеличение выхода годного на 1,6 %, по сравнению со спеканием той же шихты с участием КОСа, полученного по применяемому ныне способу подготовки. Доля ЖКМ и КОС была рассчитана таким образом, чтобы содержание оксида магния в полученных пробах агломерата было одинаково.

Химический состав и активность магнезии, полученной по предлагаемой схеме, представлены в табл. 3.

Магнезия с такими характеристиками обладает высоким потенциалом импортозамещения и может заменить, например, зарубежный аналог, используемый в настоящее время для производства электроизоляционного покрытия и глубокой твёрдофазной десульфурации трансформаторной стали, для производства высококачественного периклаза.

Как показали расчеты с использованием возможностей программы Альт-Инвест, при переработке 1,5 млн т высокомагнезиальной сидеритовой руды в год по предложенной схеме подготовки ожидаемый экономический эффект, достигнет 841 млн руб. в год, а дисконтированный срок окупаемости проекта составит 7,2 года (в ценах 2016 г.). Реализация данного проекта по подготовке высокомагнезиальных сидеритовых руд к металлургическому производству в условиях Бакальского рудоуправления позволит создать дополнительные рабочие места и улучшить социально-экономические условия в целом.

## Выводы

1. Определены условия термообработки высокомагнезиальных сидеритов, которые делают возможным селективное извлечение оксида магния раствором углекислого газа в воде.

2. Эффективная энергия активации процесса выщелачивания составляет, примерно, 45 кДж/моль, что соответствует протеканию процесса в кинетической области.

3. Предложена схема подготовки высокомагнезиальных сидеритов к металлургическому производству методами пиро- и гидрометаллургии. Реализация предложенной схемы позволяет получать железорудный концентрат магнезиальный, содержащий более 58 % общего железа при содержании оксида магния 5–8 %. Сопутствующими продуктами при реализации данной схемы является высокоактивная магнезия, доля оксида магния в составе которой составляет не менее 98 %.

4. Реализация разработанной схемы подготовки высокомагнезиальных сидеритов к металлургическому производству методами пиро- и гидрометаллургии предусматривает комплексное извлечение попутных элементов, что обеспечивает ее экономическую обоснованность.

## Литература

1. Крятов, Б.М. Железорудная отрасль России. Проблемы сырьевой базы / Б. М. Крятов. – Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2006. – № 1. – С. 8–13.

2. Винчел, А.Н. Оптическая минералогия / А.Н. Винчел, Г. Винчел; пер. с англ. М.К. Бельштерли и В.П. Петрова; под ред. Д.С. Белякина. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1953. – 565 с.

3. Жунёв, А.Г. Подготовка сидеритовых руд Бакальского месторождения к доменной плавке / А.Г. Жунёв, Г.Г. Авдошин // Горный журнал. – 1982. – № 11. – С. 20–22.

4. Пирометаллургическая переработка комплексных руд / Л.И. Леонтьев, Н.А. Ватолин, С.В. Шаврин, Н.С. Шумаков. – М.: Металлургия, 1997. – 432 с.

5. Роцин, А.В. Кристаллохимические преобразования в оксидах при металлизации бедных и комплексных железосодержащих руд: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.В. Роцин. – Челябинск, 2007. – 38 с.

6. Применение пиро- и гидрометаллургических технологий для очистки Бакальских сидероплезитовых руд от магния / А.В. Курков [и др.] // Инновационные процессы в технологиях комплексной, экологически безопасной переработки минерального и нетрадиционного сырья: материалы междунар. совещания «Плаксинские чтения – 2009». – Новосибирск, 2009. – С. 198–199.

7. Физико-химические основы комплексной переработки высокомагнезиальных сидеритовых руд Бакальского месторождения / С.П. Клочковский, А.Н. Смирнов, И.А. Савченко и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 4 (3). – С. 572–575.

8. Клочковский, С.П. Разработка физико-химических основ комплексного использования высокомагнезиальных сидеритов / С.П. Клочковский, А.Н. Смирнов, И.А. Савченко // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2015. – № 1 (49). – С. 26–31.

9. Клочковский, С.П. Комплексное использование высокомагнезиальных сидеритовых руд /

С.П. Клочковский, А.Н. Смирнов // Создание высокоэффективных производств на предприятиях горно-металлургического комплекса: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Уральский рабочий, 2013. – С. 56–57.

10. Хроматографический анализ газовой фазы, образующейся при «мягком» обжиге высокомагнезиальной сидеритовой руды / Р.Н. Абдрахманов, С.П. Клочковский, И.А. Савченко, А.Н. Смирнов // Теория и технология металлургического производства. – 2013. – № 1(13). – С. 13–15.

11. Пат. 2536618 Российская Федерация, МПК С 22 В 26/22, С 22 В 1/02, С 22 В 3/06, В 03 С 1/005. Способ переработки сидеритовых руд (варианты) / В.М. Колокольцев, С.П. Клочковский, А.Н. Смирнов; Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – 2013122827/02; заявл. 17.05.2013; опубл. 27.12.2014, Бюл. № 36. – 12 с.: ил.

12. Селективное извлечение оксида магния из высокомагнезиальных сидеритов Бакальского рудного поля / А.Н. Смирнов, М.Ю. Турчин, И.А. Савченко, А.П. Лаптев // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Новые Огнеупоры». – 2015. – № 8. – С. 13–16.

13. Разработка принципиальных основ технологии комплексной переработки высокомагнезиальных сидеритов / В.М. Колокольцев, С.П. Клочковский, А.Н. Смирнов, И.А. Савченко // Физико-химическая геотехнология: материалы науч. конф. – М., 2013. – Т. 2. – С. 41–44.

**Савченко Илья Андреевич**, аспирант кафедры физической химии и химической технологии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; savchenkoilya@mail.ru.

**Смирнов Андрей Николаевич**, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой физической химии и химической технологии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; sman@magtu.ru.

**Турчин Максим Юрьевич**, аспирант кафедры физической химии и химической технологии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; директор департамента развития, технический директор Саткинской промышленной площадки, ООО «Группа „Магнезит“», г. Сатка; mturchin@magnezit.com.

*Поступила в редакцию 6 мая 2016 г.*

**PREPARATION OF HIGH-MAGNESIUM SIDERITES OF THE BAKAL ORE FIELD FOR METALLURGICAL PRODUCTION BY METHODS OF PYRO- AND HYDROMETALLURGY**

**I.A. Savchenko**<sup>1</sup>, *savchenkoilya@mail.ru*,  
**A.N. Smirnov**<sup>1</sup>, *sman@magtu.ru*,  
**M.Yu. Turchin**<sup>1,2</sup>, *mturchin@magnezit.com*

<sup>1</sup> *Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation*,

<sup>2</sup> *OJSC "Magnezit Group", Satka, Russian Federation*

Ores of the Bakal ore field are hard to concentrate, due to the fact that compounds of iron and magnesium, both the ones comprised in the main mineral before roasting – a sideroplesite, – and in a roasted product obtained by the existing method of preparation, form common crystal lattice. Despite the fact that it was proposed and tested on semi-industrial scale a number of schemes of the Bakal siderite's preparation to metallurgical production by methods of pyro- and hydrometallurgy, none of them has been implemented on an industrial scale.

It is shown in the paper that heat treatment of high-magnesium siderites in the so-called conditions of "soft" roasting, enables selective extraction of magnesium oxide with a solution of carbon dioxide in water.

It is established that the effective activation energy of the leaching process is, about, 45 kJ/mol, which corresponds to the process proceeding in the kinetic regime.

The scheme of preparation of high-magnesium siderite to metallurgical production by methods of pyro- and hydrometallurgy, which allows to obtain magnesian iron ore concentrate containing more than 58 % of total iron whereas the content of magnesium oxide is of 5–8 %, is proposed. The accompanying product of this scheme implementation is highly active magnesia, containing no less than 98 % of magnesium oxide.

The increase in total iron of no less than 8 % simultaneously with the decrease in the content of magnesium oxide of more than twice, compared to its level in the concentrate obtained by the existing method allows to significantly expand the scope of its application.

Implementation of the developed scheme of preparation of high-magnesium siderite to metallurgical production by methods of pyro- and hydrometallurgy provides complex extraction of associated elements that makes the scheme economically valid.

*Keywords: sideroplesite; siderite; magnesioferrite; roasted iron ore siderite concentrate; "soft" roasting; magnesiowüstite; leaching; magnesia; magnesian iron-ore concentrate; agglomerate.*

**References**

1. Kryatov B.M. [The Iron Ore Industry of Russia. Problems of the Resource Base]. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, 2006, no. 1, pp. 8–13. (in Russ.)
2. Wichell A.N., Winchell H. Elements Of Optical Mineralogy: An Introduction To Microscopic Petrography. N.Y. et al., John Wiley and Sons Inc.; London, Chapman and Hall, 1951. 551 p.
3. Zhunev A.G., Avdoshin G.G. [Preparation of Siderites Ores from the Bakal's Deposit to the Blast Furnace Process]. *Gornyy zhurnal*, 1982, no. 11, pp. 20–22. (in Russ.)
4. Leont'ev L.I., Vatolin N.A., Shavrin S.V., Shumakov N.S. *Pirometallurgicheskaya pererabotka kompleksnykh rud* [Pyrometallurgical Processing of Complex Ores]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1997. 432 p.
5. Roshchin A.V. *Kristallokhimicheskie preobrazovaniya v oksidakh pri metallizatsii bednykh i kompleksnykh zhelezosoderzhashchikh rud*. Avtoreferat dokt. diss. [Crystal Chemical Transformations in Oxides in the Metallization of Poor and Complex Iron Ores. Doct. Diss.]. Chelyabinsk, 2007. 38 p.
6. Kurkov A.V. et al. [Application of Pyro- and Hydrometallurgical Technologies for Removing Magnesium from the Bakal Sideroplesite Ores]. *Innovatsionnye protsessy v tekhnologiyakh kompleksnoy, ekologicheski bezopasnoy pererabotki mineral'nogo i netraditsionnogo syr'ya. Materialy mezhdunarodnogo soveshchaniya "Plaksinskie chteniya – 2009"* [Innovative Processes in Technologies of Complex, Environmentally Safe Processing of Mineral and Nonconventional Raw Materials. Materials of the International Conference "Plaksin Readings – 2009"]. Novosibirsk, 2009, pp. 198–199. (in Russ.)
7. Klochkovskiy S.P., Smirnov A.N., Savchenko I.A., Abdrakhmanov R.N., Sysoev V.I. [Physico-Chemical Basis of Complex Processing of High-Magnesium Siderite Ores from the Bakal Deposit]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2014, vol. 16, no. 4 (3), pp. 572–575. (in Russ.)

8. Klochkovskiy S.P., Smirnov A.N., Savchenko I.A. [Development of Physicochemical Foundations for Complex Use of High-Magnesium Siderites]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2015, no. 1 (49), pp. 26–31. (in Russ.)

9. Klochkovskiy S.P., Smirnov A.N., Savchenko I.A. [Comprehensive Use of High-Magnesium Siderite Ores]. *Sozdanie vysokoeffektivnykh proizvodstv na predpriyatiyakh gorno-metallurgicheskogo kompleksa: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Creation of Highly Efficient Production Lines at the Enterprises of Mining and Metallurgical Complex: Materials of International Scientific and Practical Conference]. Ekaterinburg, Ural'skiy Rabochiy Publ., 2013, pp. 56–57. (in Russ.)

10. Abdrakhmanov R.N., Klochkovskiy S.P., Savchenko I.A., Smirnov A.N. [Chromatographic Analysis of the Gas Phase Formed During “Soft” Roasting of High-Magnesium Siderite Ore]. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*, 2013, no. 1 (13), pp. 13–15. (in Russ.)

11. Kolokol'tsev V.M., Klochkovskiy S.P., Smirnov A.N. *Sposob pererabotki sideritovykh rud (varianty)* [Sideritic Ore Processing Method (Versions)]. Patent RF, no. 2536618, 2014.

12. Smirnov A.N., Turchin M.Yu., Savchenko I.A., Laptev A.P. [Selective Extraction of Magnesium Oxide from High-Magnesium Siderites of Bakal Ore Field]. *Novye Ogneupory*, 2015, no. 8, pp. 13–16. (in Russ.)

13. Kolokol'tsev V. M., Klochkovskiy S. P., Smirnov A. N., Savchenko I.A. [Development of Fundamental Bases of the Technology of Complex Processing of High-Magnesium Siderites]. *Fiziko-khimicheskaya geotekhnologiya. Materialy nauchnoy konferentsii* [Physical-Chemical Geotechnology. Materials of Scientific Conference]. Vol. 2. Moscow, Moscow State Mining University Publ., 2013, pp. 41–44. (in Russ.)

Received 6 May 2016

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Савченко, И.А. Подготовка высокомагнезиальных сидеритов Бакальского рудного поля к металлургическому производству методами пиро- и гидрометаллургии / И.А. Савченко, А.Н. Смирнов, М.Ю. Турчин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 3. – С. 63–69. DOI: 10.14529/met160309

#### FOR CITATION

Savchenko I.A., Smirnov A.N., Turchin M.Yu. Preparation of High-Magnesium Siderites of the Bakal Ore Field for Metallurgical Production by Methods of Pyro- and Hydrometallurgy. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 3, pp. 63–69. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160309