

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Салихова Семёна Павловича «**Теоретические и технологические основы безотходной пирометаллургической переработки сидероплезитовой руды**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Разведанные запасы сидероплезитовой руды Бакальских месторождений Челябинской области оцениваются примерно в 640 млн. тонн (оценочные до 1 млрд. тонн). Руда является ценным комплексным материалом, содержащим 30-32% железа при низком содержании серы и фосфора, до 15 % карбоната магния и небольшое количество (до 3 %) карбоната марганца. Однако переработка этой руды классическими методами практически невозможна в связи с особенностями минерального и химического состава. Существующие схемы переработки сидеритовой руды Бакальских месторождений сводятся к получению концентрата методом окислительного обжига. Обоженный концентрат в небольшом количестве может быть использован в качестве добавки к шихте при аглодоменном производстве. Поэтому объём добычи Бакальским рудоуправлением не превышает 3 млн. тонн в год.

Существующие пирометаллургические и гидрометаллургические методы не могут обеспечить экономически выгодного получения продуктов (железа и оксида магния или железорудного концентрата и оксида магния) в связи с невозможностью рационального и эффективного разделения фаз, содержащих железо, и фаз, содержащих магний, так как катионы железа и магния находятся в общей кристаллической решётке.

Следует отметить, что технология переработки любого комплексного материала должна быть направлена на извлечение всех ценных компонентов с целью ресурсосбережения и повышения эффективности производства с минимальными затратами на подготовку руды.

Таким образом, представленная диссертационная работа, направленная на разработку теоретических и технологических основ безотходной пирометал-

лургической переработки сидероплезитовой руды Бакальского месторождения, несомненно **является актуальной**.

К **научной новизне** диссертационной работы следует отнести следующее:

1. Обоснована эффективность селективного твердофазного восстановления железа в кристаллической решетке комплексного оксида, образованной катионами железа, магния, марганца, кальция и анионами кислорода.

2. Показано, что селективное твердофазное восстановление и выделение металлического железа может происходить внутри кусков комплексного оксида в окружении анионов кислорода. Восстановление осуществляется посредством передачи электронов от восстановителя к восстанавливаемым катионам в объеме оксида в результате *n*-проводимости остаточных оксидов, образованных катионами невосстанавливаемых металлов.

3. Установлено, что превращение катионов железа оксидной фазы в катионы металлической фазы происходит путем перераспределения электронов, минуя стадию образования атомов.

4. Показано, что для выделения восстановленного железа в объеме оксида не требуется ни подвод восстановителя к месту выделения металлической фазы, ни отвод от него продуктов восстановления. Отсутствие контакта восстановителя с металлом исключает переход в металл углерода и серы, содержащихся в восстановителе.

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в следующем:

1. Экспериментально подтверждена возможность селективного твердофазного восстановления железа с высокой скоростью в кусках сидероплезита в окружении анионов кислорода. Вследствие выделения железа внутри оксида исключается загрязнение железа углеродом и примесями из восстановителя, что позволяет использовать в качестве восстановителя низкокачественные энергетические угли.



2. Разработан композитный материал, содержащий первородное железо и оксидный концентрат, пригодный к использованию в сталеплавильных агрегатах в качестве шихтового материала для разбавления примесей цветных металлов, вносимых металлическим ломом, и высокомагнезиального флюса, используемого для повышения стойкости периклазсодержащей футеровки.

3. Предложена технологическая схема и набор технологического оборудования для безотходной малозатратной ресурсосберегающей пирометаллургической технологии переработки кусковой сидероплезитовой руды, которые защищены патентом РФ на изобретение № 2509161 и патентом РФ на полезную модель № 130994.

4. Результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены в Южно-Уральском государственном университете (НИУ) в учебный процесс при подготовке студентов, обучающихся по направлению 22.03.02 и 22.04.02 – Metallurgy.

Результаты работы достаточно полно обсуждены на региональных, всероссийских и международных конференциях и семинарах. Основные результаты работы отражены в 16 публикациях, в т.ч. в 6 в изданиях, входящих в список изданий, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ и защищены патентом РФ на изобретение и патентом РФ на полезную модель.

В целом следует отметить хороший уровень и разнообразие экспериментальных и расчетных методов исследования, представленных и использованных автором, квалифицированное обсуждение результатов.

Наряду с несомненными достоинствами, по работе следует сделать следующие **замечания**:

1. По оформлению:

- в главе 1, по-разному представлены описания содержания элементов, например: «Основная часть запасов (около 1 млрд. т) этой группы месторождений представлена сидероплезитом, который содержит 29...35 % железа и 9...10 % MgO [5]» и «Содержание железа на контакте изменяется с 27 – 30 % в сидерите до 2 – 5 % в доломите»;

- в таблице 1 (а видимо она должна обозначаться 1.1.) - Химический состав сидеритов Бакальских месторождений, представлена графа Fe, а видимо надо подразумевать Fe<sub>общ</sub>;

- На стр. 55 главы 2 рис.1 (видимо должен быть 2.1) и табл. 2(видимо должна быть 2.1) и т.д. по оформлению диссертационной работы.

2. На стр. 6 при описании используемых методов исследований автор отмечает, что рентгенофазовый анализ проведен на дифрактометре ДРОН-4 (затем в тексте диссертации это повторяется неоднократно). В настоящее время проведение указанных исследований на таком оборудовании проводить видимо не следует, т.к. это качественный анализ и не несет достоверных сведений.

3. На стр. 28 главы 1 автор отмечает, что «...все рассмотренные схемы и способы подготовки и обогащения сидеритов Бакальских месторождений, изученные до настоящего времени, не обеспечивают снижения содержания оксида магния в конечном продукте их переработки, что обусловлено особенностями их минералогического состава». На самом деле в представленном автором обзоре публикаций (глава 1), имеется описание технологии переработки сидеритов с отделением оксидов магния (51. Михеенков М.А., Шешуков О.Ю., Вязникова Е.А., Овчинникова Л.А. Новая технология переработки бакальских сидеритов с получением железосодержащих материалов. Черная металлургия. 2016. № 6 (1398). С. 39-42.). Это невнимательность или просто формальный подход к литературному обзору?

4. Во второй главе автор проводит исследования при температурах 600 и 900 °С. В третьей же главе автор начинает исследования при температурах 600 °С, 900 °С, 1200 °С и 1300 °С. Чем обоснован выбор таких температур? Кроме того, вызывает сомнение утверждение автора «...что при обжиге в инертной атмосфере в продуктах обжига фиксируются магнезиовюстит и магнезиоферрит, а при обжиге в окислительных условиях фиксируются те же фазы, но доля магнезиоферрита больше, а магнезиовюстита меньше.». По нашим данным (см. Шешуков О.Ю., Михеенков М.А., Вязникова и др. Изучение механизма образования магнезиоферрита при нагреве сидеритов Бакальского место-



рождения /Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований Труды III Конгресса с международным участием: Техноген – 2017, г. Екатеринбург 2017, С. 88.), при обжиге в инертной атмосфере продуктами разложения сидерита действительно являются вюстит (возможно магнезиевюстит) и магнезиоферрит, но в условиях окислительного обжига методами высокотемпературной рентгенографии образование вюстита в продуктах разложения не было зафиксировано. Это связано с тем, что в окислительных условиях вюстит очень быстро окисляется и сразу переходит в  $Fe_2O_3$  по реакции:  $2FeO + 1/2O_2 = Fe_2O_3$ . Энергия Гиббса данной реакции при температуре 400 °С (при которой возможно образование данной фазы после разложения сидерита) составляет не менее -400 кДж/моль, что говорит о высокой вероятности протекания такой реакции. Вследствие данных причин продуктами разложения сидерита в окислительных условиях не может быть вюстит (или магнезиевюстит), ими являются магнезиоферрит и гематит, поэтому все дальнейшие рассуждения автора о механизме восстановления оксидов железа в сидеритах вызывают сомнения, поскольку даже в присутствии восстановителя образуется  $CO_2$ , создающий слабо-окислительную атмосферу.

5. Если по утверждению автора первородное железо «плющится» при помоле, что затрудняет твердофазное разделение сидероплезита и железа, там может быть смысл допустить топохимическое восстановление оксидов железа углеродом и его науглераживание, что бы предотвратить расплющивание.

6. Поскольку в работе не приведен материально-тепловой баланс, то вызывает сомнение возможность нагрева сидерита в трубчатой печи, имеющей очень низкий тепловой КПД, только отходящими газами ДСП до температур восстановления оксидов железа (около 1000 °С).

7. Хотя автор в качестве доказательств практической значимости представленной диссертационной работы указывает, что результаты теоретических и экспериментальных исследований защищены патентом РФ на изобретение № 2509161 и патентом РФ на полезную модель № 130994, а также внедрены в

Южно-Уральском государственном университете (НИУ) в учебный процесс при подготовке студентов, обучающихся по направлению 22.03.02 и 22.04.02 – **Металлургия**, следует отметить, что желательны иметь и акты промышленных испытаний.

## ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация С.М. Салихова является законченной научной работой, в которой результатом теоретических и экспериментальных исследований являются научные и технологические основы безотходной пирометаллургической технологии переработки сидероплезитовой руды. Они могут быть использованы для получения композитного материала на уже существующем оборудовании с использованием в качестве восстановителя энергетического угля вместо дефицитного и дорогого кокса.

Автореферат диссертации в основном отражает её содержание.

Все сказанное выше дает основание считать, что диссертационная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями от 21 апреля 2016 г. № 335, а ее автор **Салихов Семён Павлович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - **Металлургия черных, цветных и редких металлов**.

Официальный оппонент



Шешуков Олег Юрьевич, доктор технических наук, директор Института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

620002, г. Екатеринбург,  
ул. Мира, 28.  
Тел.: (343) 3754439  
E-mail: o.j.sheshukov@urfu.ru

Я, Шешуков Олег Юрьевич, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе Шешуков