

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 3 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/GZVJ4547>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,189

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

***Б. Т. Сулеймен¹, Н. Ы. Косдаулетов², Г. А. Адилев³,
А. С. Ержанов⁴, П. А. Гамов⁵**

^{1,2,3,4}Карагандинский индустриальный университет,

Республика Казахстан, г. Темиртау;

⁵Южно-Уральский государственный университет,

Российская Федерация, г. Челябинск.

*e-mail: bakysuleimen@mail.ru

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ ЛИСАКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Настоящее исследование посвящено изучению особенностей оолитовой железной руды Лисаковского месторождения. Проведены эксперименты по разложению оолитовой руды в атмосфере воздуха с одновременным контролем температуры и массы образца. Общая потеря массы при обжиге составила практически 15 %. Детальная характеристика химического состава и минералогии сырой и обожженной руды была проведена с использованием оптической и электронной микроскопии, методом рентгенофазового анализа с помощью дифрактометра. Выявлено, что главным рудным минералом оолитовой руды является гётит, который после окислительного обжига трансформируется в гематит. Другим рудным минералом является магнетит, среди неметаллических минералов встречается кварц. Фосфор присутствует в виде гидрофосфата железа и фосфата алюминия. Построена карта распределения основных элементов в исходной руде. Подтверждено, что оолиты образованы преимущественно оксидами железа, присутствуют фазы пустой породы, состоящие в основном из оксидов кремния, кроме того, встречаются и комплексные оксидные фазы, где присутствуют несколько элементов (Fe, Si, Al). Полученные данные могут быть полезны для разработки теории и технологии пирометаллургической переработки оолитовых железных руд с высоким содержанием фосфора.

Ключевые слова: железа, железная руда, гётит, гематит, оолит, фосфор, Лисаковское месторождение, окислительный обжиг.

Введение

Оолитовая железная руда представляет собой одно из наиболее значимых природных ресурсов, играющих важную роль в мировой промышленности. На сегодняшний день существуют огромное количество месторождений оолитовой железной руды: Корби (Великобритания), Гара-Джебилет (Алжир), Лотарингии (Франция), Альберта (Канада), Вади-Фатима (Саудовская Аравия), Пезу (Пакистан), Рамим (Израильско-ливанская граница), Агбая (Нигерия), Ехi (Китай) [1–8]. По литературным данным запасы оолитовых железных руд составляют около 10 млрд.

т в Китае, 140 млн. т. в странах Европы, и 66 млн. т. в Пакистане [8–10]. Одним из крупнейших месторождений железной руды в России и мире является Бакчарское месторождение, запасы которого составляют 28,7 млрд. т. [11]. Бурожелезняковые руды Лисаковского и Аятского месторождения составляют более 6 млрд. тонн и представляют более 60 % запасов всех железорудных месторождений Республики Казахстан [12–13].

Лисаковское железорудное месторождение, расположенное на правом берегу р. Тобол в Костанайской области, является одним из крупнейших и наиболее изученных источников оолитовой руды. Месторождение открыто в 1949 году Уральским геологическим управлением, а с 1970 года разрабатывается открытым способом, что обеспечивает более дешевую добычу руды. Запасы руды, с утвержденными в ГКЗ, оценены по следующим категориям: А+В+С1, со средним содержанием железа 35,4 %, составляют 1728,2 млн т; С2, содержащей около 25,56 % железа, составляют 1158,36 млн т. Забалансовые руды, со средним содержанием железа 25,56 %, составляют 3031,6 млн т. Главным минералом лисаковских руд является гидрогетит. Лисаковские руды представляют собой рыхлую смесь оолитов бурого железняка и зерен кварцевого песка с низким содержанием железа (30–40% Fe), повышенным количеством фосфора (0,8–1,2% P_2O_5) и глинозема (4–5 % Al_2O_3) [15–17].

Целью данной работы является комплексное исследование состава и структурных особенностей железной руды Лисаковского месторождения и процессов преобразования её структурных составляющих при прокаливании. Результаты исследования могут быть полезны для проектирования и разработки технологических схем обогащения и последующей переработки, а также для принятия решений о дальнейшей эксплуатации и развитии Лисаковского месторождения.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования выбрана рыхлая оолитовая руда Лисаковского месторождения крупностью до 1 мм. Комплексное исследование исходного материала включало исследование элементного и минерального состава частиц, преобразований руды при нагреве, построение карт распределение элементов в частицах руды.

Для изучения последовательности преобразований в руде при нагреве провели эксперименты во взвешивающей муфельной печи Nabertherm с возможностью непрерывного контроля температуры и массы образца. При этом, в рабочую зону печи помещали корундовый тигель, в который засыпали порошок руды, нагревали со скоростью 250 °С/час до температуры 1200 °С и выдерживали в течение 1 часа. Для исследования на оптическом и электронном микроскопах образцы исходной и обожженной руд заливали эпоксидной смолой, шлифовали и полировали. Химический состав структурных элементов образцов определяли на электронном микроскопе JSM-6460LV фирмы JEOL с использованием энергодисперсионного анализатора фирмы Oxford Instruments для определения элементного состава в точках и по площади микрорентгеноспектральным методом.

Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре «Rigaku Ultima IV». Полученные дифрактограммы расшифровали с помощью программы «Match! 3».

Результаты и обсуждения

На рисунке 1 представлены результаты контроля массы рудного образца при нагреве, а на рисунке 2 – результаты расшифровки рентгенограммы образцов руды до и после обжига.

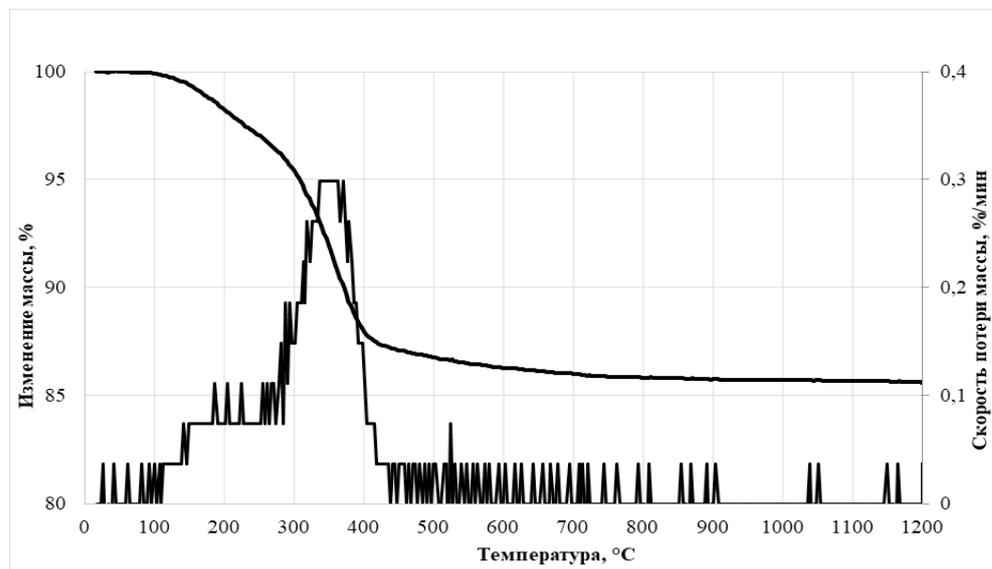


Рисунок 1 – Изменение массы исходного материала при обжиге в атмосфере воздуха

На графике изменения массы от температуры (рис.1) можно выделить четыре характерных участка: менее 320 °С, от 320 °С до 430 °С, от 430 °С до 900 °С и более 900 °С. Учитывая минеральный состав исходной руды, можно предполагать, что на первом участке происходит диссоциация гидроксидов железа [18], на втором участке – диссоциация карбонатов железа и более прочных карбонатов кальция и магния, а на третьем участке разложения гидрофосфата алюминия, также выгорание природного углерода [19]. Повышение температуры выше 900 °С сопровождается незначительной потерей массы руды, при продолжительной выдержке (1 час) при температуре 1200 °С, масса концентрата не изменяется. Общее изменение массы составило 14,5 %. При анализе графика зависимости скорости изменения массы руды от температуры, видны 2 пика скорости. При температуре 186 °С скорость потери массы составляет 0,111 %/мин, а при температуре 337 °С выявляется максимум скорости потери массы и достигает 0,299 %/мин. В температурном интервале 525–1200 °С скорость потери массы составляет от 0,075 до 0 %/мин.

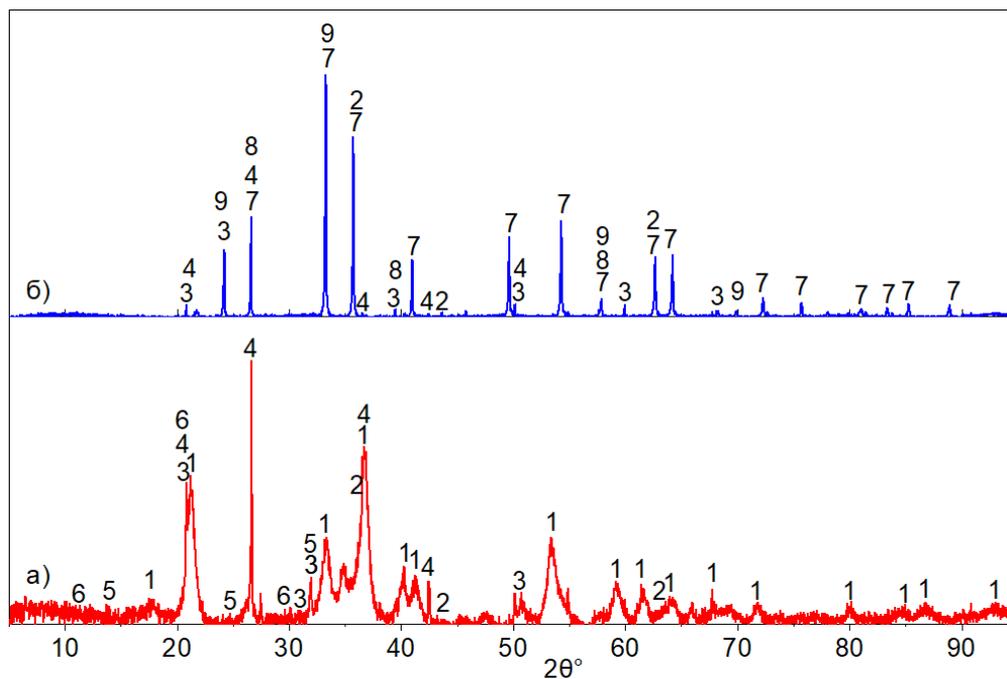


Рисунок 2 – Рентгенограмма исходной (а) и обожженной (б) руды

Фазы: 1 – $\text{FeO}(\text{OH})$, 2 – Fe_3O_4 , 3 – SiO_2 , 4 – AlPO_4 , 5 – $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 6 – $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 7 – Fe_2O_3 , 8 – FePO_5 , $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$

Основными фазами исходной руды являются гётит $\text{FeO}(\text{OH})$, магнетит Fe_3O_4 и кварц SiO_2 , помимо основных фаз выявляются соединения AlPO_4 , $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (рис. 2а). После окислительного обжига выявляются фазы Fe_2O_3 , FePO_5 и $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$. Согласно результатам рентгенофазового анализа, при окислительном нагреве гётит $\text{FeO}(\text{OH})$ теряет воду и превращается в гематит Fe_2O_3 . Фосфор в продукте обжига присутствует в виде соединений FePO_4 и AlPO_4 (рис. 2б).

Использование оптического и электронного микроскопов позволило выявить структурные компоненты руды и проанализировать происходящие в них изменения при окислительном нагреве.

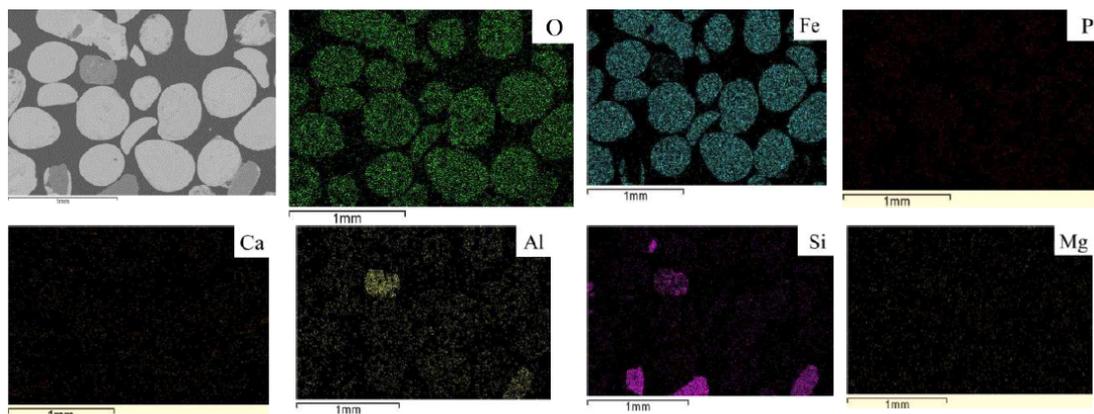


Рисунок 3 – Карты распределения элементов в исходной руде.

На рисунке 3 представлены карты распределения в исходной руде основных элементов, которые присутствуют в значительном количестве. Видно, что часть элементов (O, Fe, Si, Al) визуально можно соотнести со структурными элементами, представленными на фотографии. Так, оолиты образованы преимущественно оксидами железа. Другие фазы состоят, в основном, из оксидов кремния и алюминия. Кроме того, встречаются и комплексные фазы, где присутствуют сразу несколько элементов (Fe, Si, Al). Фосфор, кальций и магний распределены практически равномерно по всей площади фотографии, и их практически невозможно отнести к какой-то конкретной фазе.

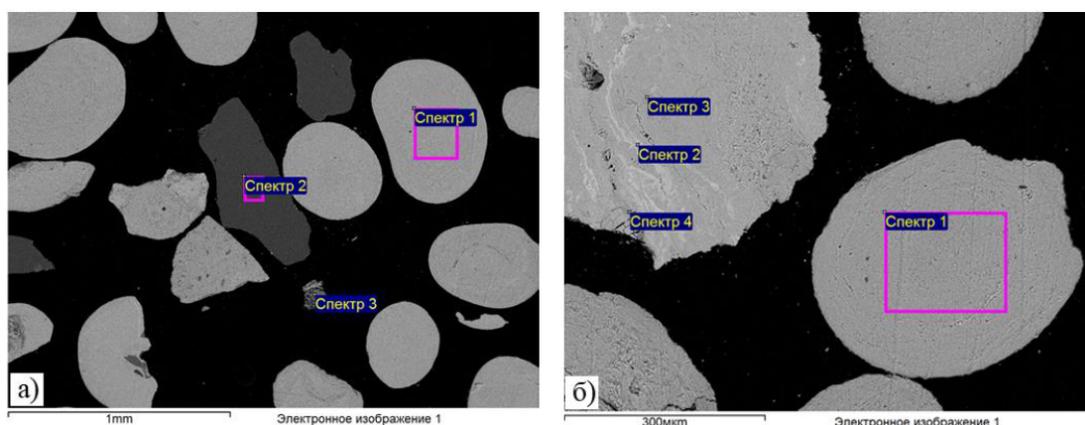


Рисунок 4 – Структурные элементы исходной руды

На рисунки 4 и 5 представлены фотографии с областями микрорентгеноспектрального анализа структурных составляющих в исходном и обожжённом образцах, а результаты микрорентгеноспектрального анализа структурных составляющих представлены в таблице 1 и 2. На рисунке 4а можно увидеть фазы оолита (спектр 1), которые имеют круглую форму, также фазы кварца (спектр 2) и комплексных оксидов (спектр 3). После окислительного

обжига оолиты не разрушаются, имеют также круглую форму, но появляются трещины (рис. 5).

Таблица 1 – Химический состав исходной руды (ат. %)

| Спектр | O | Mg | Al | Si | P | Ca | Ti | V | Mn | Fe | Co | Cu | Zr |
|--------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| 1a | 70,6 | – | 2,6 | 1,0 | 0,4 | 0,1 | – | – | – | 24,9 | 0,2 | – | 0,2 |
| 2a | 67,8 | – | – | 32,2 | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 3a | 67,7 | – | 8,7 | 12,5 | – | 7,6 | 0,1 | 0,1 | – | 3,3 | – | – | – |
| 1б | 70,0 | 0,3 | 2,0 | 1,6 | 0,6 | 0,1 | – | – | 0,1 | 25,2 | 0,1 | – | – |
| 2б | 64,9 | – | – | – | – | 0,1 | – | – | 0,1 | 34,6 | 0,3 | – | – |
| 3б | 70,0 | – | – | – | – | 0,1 | – | – | 0,2 | 29,4 | 0,2 | 0,1 | – |
| 4б | 68,2 | – | – | 0,2 | – | – | – | – | 0,1 | 31,4 | 0,1 | – | – |

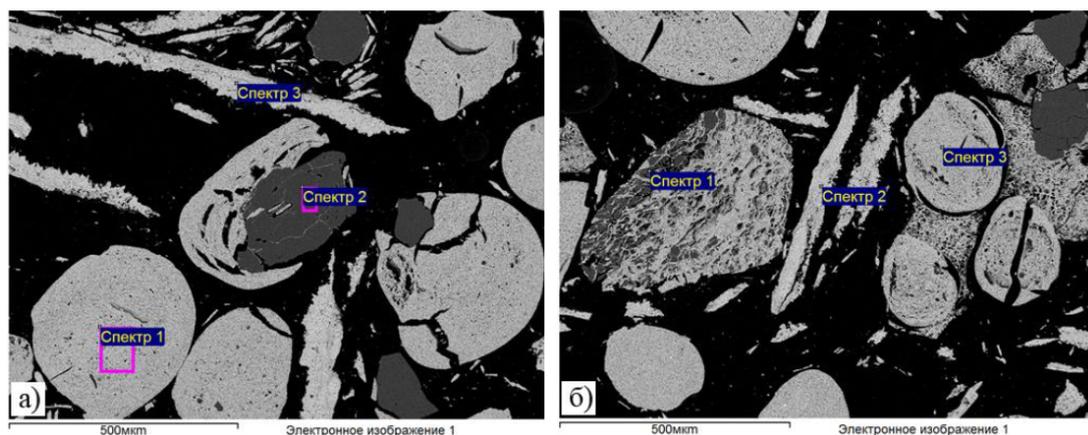


Рисунок 5 – Структурные элементы обожженного образца

Таблица 2 – Химический состав обожженной руды (ат. %)

| Спектр | O | Mg | Al | Si | P | Ca | Ti | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Zr |
|--------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|
| 1a | 61,8 | 0,3 | 2,2 | 1,6 | 0,3 | 0,2 | – | – | 0,1 | 33,2 | 0,2 | – | 0,1 |
| 2a | 67,7 | – | – | 32,2 | – | – | – | – | – | 0,1 | – | – | – |
| 3a | 54,2 | – | 0,6 | 0,2 | – | – | – | 0,7 | 0,7 | 43,1 | 0,3 | 0,2 | – |
| 1б | 69,4 | – | 0,8 | 27,6 | – | 0,1 | – | – | – | 2,1 | – | – | – |
| 2б | 54,1 | – | – | 5,5 | – | – | 0,6 | 12,6 | 0,4 | 19,6 | – | 7,2 | – |
| 3б | 53,5 | – | 4,2 | 2,4 | 0,3 | 0,2 | – | 0,1 | 0,1 | 38,8 | 0,2 | – | 0,2 |

Из таблицы 2 следует, что при окислительном обжиге за счет удаления H_2O и CO_2 , количество кислорода в обожженной руде снижается, а количество остальных элементов увеличивается пропорционально. В таблицах 1 и 2 в точках 2a можно увидеть чистый диоксид кремния.

В результате окислительного обжига в оолитовой руде Лисаковского месторождения магнитные свойства не появляются. Показано что обжиг не привёл к механическому разрушению оолитов, однако в них появились небольшие трещины.

Выводы

1 По результатам рентгенофазового анализа определены основные фазы оолитовой железной руды Лисаковского месторождения, такие как гетит, магнетит и кварц.

2 Микрорентгеноспектральной анализ структурных составляющих в исходном и обожжённом образцах показал содержание следующих элементов: Fe, Al, Si, Mg, P, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zr.

3 Фосфор в руде распределен равномерно и находится в виде гидрофосфата железа, а также фосфата алюминия, после обжига уже в виде фосфата железа и алюминия.

4 В результате обжига в атмосфере воздуха гетит теряет кристаллохимическую воду и превращается в гематит, происходит диссоциация карбонатов и более прочных карбонатов кальция и магния, разложения гидрофосфата алюминия, также выгорание природного углерода.

Финансирование

Данная работа выполнена в рамках исследования, финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19579175).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Varoquaux, Jean-Arthur, G., and Eugene.** French Iron Ore Deposits, Les Gisements De Minerai De Fer Français.// Annales des Mines. – 1980. Vol. 186, № 7–8, P. 135–154.

2 **Manieh, A. A.** «Oolite Liberation of Oolitic Iron Ore, Wadi Fatima, Saudi Arabia» //International Journal of Mineral Processing. – 1984. Vol.13, № 3, P. 187–192.

3 **Manieh, A. A.** Upgrading of Wadi Fatima Iron Ore // International Journal of Mineral Processing. – 1986. Vol.17, № 1–2, P. 151–157.

4 **Weissberger, S., and Zimmels, Y.** Studies on Concentration and Direct Reduction of the Ramim Iron Ore // International Journal of Mineral Processing. – 1983. Vol.11, № 2, P. 115–130.

5 **Petruk, W.** Mineralogical Characteristics of an Oolitic Iron Deposit in the Peace River District, Alberta // Canadian Mineralogist. – 1977. Vol. 15, P. 3–13.

6 **Adedeji F. A. and Sale F. R.** Characterization and reducibility of Itakpe and Agbaja (Nigerian) iron ores // Clay Miner. –1984. Vol. 19, P. 843.

7 **Sun Y. S., Gao P., Han Y. X., and Ren D. Z.** Reaction behavior of iron minerals and metallic iron particles growth in coal-based reduction of an oolitic iron ore// Ind. Eng. Chem. Res. – 2013 Vol. 52, P. 2323.

8 **Abro M. I., Pathan A. G., and Mallah A. H.** Liberation of oolitic hematite grains from iron ore // Dilband Mines Pakistan, Mehran Univ. Res. J. Eng. Technol. – 2011, Vol. 30, P. 329.

9 **Wu J., Wen Z. J., and Cen M. J.** Development of technologies for high phosphorus oolitic hematite utilization// Steel Res. Int. – 2011, Vol. 82, P. 494.

10 **Yu Y. F. and Qi C. Y.** Magnetizing roasting mechanism and effective ore dressing process for oolitic hematite ore// J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed. – 2011, Vol. 26, P. 177.

11 **Тигунов, Л. П., Ануфриева, С. И., Броницкая, Е. С., Кривоконева, Г. К., Соколова, В. Н., Аликберов, В. М., Сладкова, Г. А., Файнштейн, Г. Г. Паровинчак М. С.** Современные технологические решения переработки железосодержащих руд Бакчарского месторождения // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 2. – С. 37–43.

12 **Мирко, В. А., Кабанов, Ю., Найденов, В.** Современное состояние развития месторождений бурых железняков Казахстана // Промышленность Казахстана. – 2002. – № 1. – С. 79–82.

13 **Смирнов, Л. А., Бабенко, А. А.** Вовлечение в производство Лисаковского концентрата – одно из направлений расширения железорудной базы Урала и Сибири // Матер. Междунар. конгр. «300 лет Уральской металлургии». – Екатеринбург. – 2001. – С. 48–49.

14 Оолитовые железные руды Лисаковского месторождения Кустанайской области // под ред. И.П. Бардина. – М. : Изд-во «Академия наук», 1962. – 234 с.

15 **Каскатаева, К. Б., Кряжева, Т. В., Аскарлова, Н. С.** Минеральный состав руд Лисаковского месторождения // Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации: Международная научно-практическая конференция. (Сагиновские чтения № 11). – Караганда : КарГТУ, 2019. – С. 287–290.

16 **Каскатаева, К. Б., Каскатай, А. М., Кряжева, Т. В.** Характеристика оолитовых руд Лисаковского месторождения // Проблемы геологии и освоения недр: XXIV Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск: ТПУ, 2020. – С. 205–207.

17 **Каскатаева К. Б., Кряжева Т. В., Аскарлова Н. С.** Минеральный состав руд Лисаковского месторождения // Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации: Международная научно-практическая конференция. (Сагиновские чтения № 11). – Караганда : КарГТУ, 2019. – Ч. 3. – С. 287–290.

18 **Карелин, В. Г., Резвов, Г. А., Кузовникова, Е. А.** Кинетические особенности дегидратации лисаковского концентрата в кипящем слое. – Металлургическая теплотехника, 1975, № 4, С. 153 – 156.

19 **Карелин, В. Г. и др.** Комбинированная пиро-гидрометаллургическая технология обесфосфоривания бурого железняка лисаковского месторождения //Черная металлургия. – 2015. – №. 2. – С. 10–15.

REFERENCES

1 **Varoquaux, Jean-Arthur, G., and Eugene.** French Iron Ore Deposits, Les Gisements De Minerai De Fer Français.// Annales des Mines. – 1980.Vol. 186, № 7–8, P. 135–154.

2 **Manieh, A. A.** «Oolite Liberation of Oolitic Iron Ore, Wadi Fatima, Saudi Arabia» // International Journal of Mineral Processing. – 1984. Vol.13, № 3, P. 187–192.

3 **Manieh, A. A.** Upgrading of Wadi Fatima Iron Ore // International Journal of Mineral Processing. – 1986. Vol.17, № 1–2, P. 151–157.

4 **Weissberger, S., and Zimmels, Y.** Studies on Concentration and Direct Reduction of the Ramim Iron Ore // International Journal of Mineral Processing. – 1983. Vol.11, № 2, P. 115–130.

5 **Petruk, W.** Mineralogical Characteristics of an Oolitic Iron Deposit in the Peace River District, Alberta // Canadian Mineralogist. – 1977. Vol. 15, P. 3–13.

6 **Adedeji F. A. and Sale F. R.** Characterization and reducibility of Itakpe and Agbaja (Nigerian) iron ores // Clay Miner. – 1984. Vol. 19, P. 843.

7 **Sun Y. S., Gao P., Han Y. X., and Ren D. Z.** Reaction behavior of iron minerals and metallic iron particles growth in coal-based reduction of an oolitic iron ore // Ind. Eng. Chem. Res. – 2013 Vol. 52, P. 2323.

8 **Abrom, I., Pathan A. G., and Mallah A. H.** Liberation of oolitic hematite grains from iron ore // Dilband Mines Pakistan, Mehran Univ. Res. J. Eng. Technol. – 2011, Vol. 30, P. 329.

9 **Wu J., Wen Z. J., and Cen M. J.** Development of technologies for high phosphorus oolitic hematite utilization // Steel Res. Int. – 2011, Vol. 82, P. 494.

10 **Y. F. Yu and C. Y. Qi.** Magnetizing roasting mechanism and effective ore dressing process for oolitic hematite ore // J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed. – 2011, Vol. 26, P. 177.

11 **Tigunov, L. P., Anufrieva, S. I., Bronitskaya, E. S., Krivokoneva, G. K., Sokolova, V. N., Alikberov, V. M., Sladkova, G. A., Feinstein, G. G. Parovinchak, M. S.** Sovremennyye tekhnologicheskie resheniya pererabotki zhelezosoderzhashchikh rud Bakcharskogo mestorozhdeniya [Modern technological solutions for processing iron-containing ores of the Bakcharskoye deposit] // Razvedka i obrabotka nedr. – 2010. – № 2. – P. 37–43.

12 **Mirko, V. A., Kabanov, Yu., Naidenov, V.** Sovremennoe sostoyanie razvitiya mestorozhdenij buryx zheleznyakov Kazaxstana [Current state of development of brown iron deposits in Kazakhstan] // Promyshlennost' Kazaxstana. – 2002. – № 1. – P. 79–82.

13 **Smirnov, L. A., Babenko, A. A.** Vovlechenie v proizvodstvo Lisakovskogo koncentrata – odno iz napravlenij rasshireniya zhelezorudnoj bazy Urala i Sibiri [Involvement in the production of Lisakovsky concentrate is one of the directions of expanding the iron ore base of the Urals and Siberia] // Mater. Mezhdunar. kongr. «300 let Ural'skoj metallurgii». – Ekaterinburg. – 2001. – P. 48-49.

14 **Bardina, I. P.** Oolitovy'e zhelezny'e rudy Lisakovskogo mestorozhdeniya Kustanaj-skoj oblasti [Oolitic iron ores of the Lisakovsky deposit of the Kostanay region] // ed. by I.P. Bardin. – M.: Izd-vo «Akademiya nauk», 1962. – 234 p.

15 **Kaskataeva, K. B., Kryazheva, T. V., Askarova, N. C.** Mineral'nyj sostav rud Lisakovskogo mestorozhdeniya [Mineral composition of ores of the Lisakovsky deposit] // Integraciya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizacii Plana

nacii: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. (Saginovskie chteniya № 11). – Karaganda: KarGTU, 2019. – P. 287–290.

16 **Kaskataeva, K. B., Kaskatay, A. M., Kryazheva, T. V.** Charakteristika oolitovy`x rud Lisakovskogo mestorozhdeniya [Characteristics of oolitic ores of the Lisakovskoe deposit] // Problemy` geologii i osvoeniya neдр: XXIV Mezhdunarodny`j nauchny`j simpozium studentov i molody`x ucheny`x imeni akademika M.A. Usova. – Tomsk: TPU, 2020. – P. 205–207.

17 **Kaskataeva, K. B., Kryazheva, T. V., Askarova, N. S.** Mineral`ny`j sostav rud Lisakovskogo mestorozhdeniya [Mineral composition of the ores of the Lisakovskoye deposit] // Integraciya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizacii Plana nacii: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. (Saginovskie chteniya № 11). – Karaganda: KarGTU, 2019. – P. 287–290.

18 **Karelin V. G., Rezvov G. A., Kuzovnikova E. A.** Kineticheskie osobennosti degidracii lisakovskogo koncentrata v kipyashhem sloe [Kinetic features of the dehydration of the Lisakovsky concentrate in a fluidized bed]. - Metallurgicheskaya teplotexnika, 1975, №. 4, P. 153 – 156.

19 **Karelin, V. G. et al.** Kombinirovannaya piro-gidrometallurgicheskaya texnologiya obesfosforivaniya burogo zheleznyaka lisakovskogo mestorozhdeniya [Combined pyro-hydrometallurgical technology for dephosphorization of brown iron ore from the Lisakovskoye deposit] // Chernaya metallurgiya. – 2015. – №. 2. – P. 10–15.

Материал поступил в редакцию 18.06.23.

***Б. Т. Сулеймен¹, Н. Ы. Косдаулетов², Г. А. Адилев³, А. С. Ержанов⁴, П. А. Гамов⁵**
^{1,2,3,4}Қарағанды индустриялық университеті,
 Қазақстан Республикасы, Теміртау қ;
⁵Оңтүстік-Орал мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы, Челябинск қ.
 Материал 18.06.23 баспаға түсті.

ЛИСАКОВСК КЕН ОРНЫНЫҢ ТЕМІР КЕНІНІҢ ҚҰРАМЫ МЕН ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІН КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУ

Бұл зерттеу Лисаковск кен орнындағы оолит темір кенінің ерекшеліктерін зерттеуге арналған. Үлгінің температурасы мен массасын бір мезгілде бақылай отырып, ауа атмосферасында оолит кенін ыдырату бойынша эксперименттер жүргізілді. Күйдіру кезінде жалпы массаның жоғалуы шамамен 15% құрады. Шикі және күйдірілген кендердің химиялық құрамы мен минералогиясының егжей-тегжейлі сипаттамасы оптикалық және электронды микроскопияны, дифрактометрдің көмегімен рентгендік фазалық талдау әдісін қолдана отырып жүргізілді. Оолит кенінің негізгі кен минералы гетит екені анықталды, ол тотығу күйдірілгеннен кейін гематитке айналады. Басқа кен минералы-магнетит, металл емес минералдар арасында кварц кездеседі. Фосфор темір гидрофосфаты және алюминий фосфаты түрінде болады. Бастапқы кендегі негізгі элементтердің таралу картасы салынды.

Оолиттердің негізінен бірдей-лез оксидтерінен түзілетіні расталды, негізінен кремний тотықтарынан тұратын бос жыныстың фазалары бар, сонымен қатар бірнеше элементтер (Fe, Si, Al) болатын кешенді тотық фазалары бар. Нәтижелер жоғары фосфорлы оолит темір кендерін пирометаллургиялық өңдеудің теориясы мен технологиясын жасау үшін пайдалы болуы мүмкін.

Кілтті сөздер: темір, темір кені, гётит, гематит, оолит, фосфор, Лисаковск кен орны, тотықтырып күйдіру.

***B. T. Suleimen¹, N. Y. Kosdauletov², G. A. Adilov³, A. S. Yerzhanov⁴, P. A. Gamov⁵**

^{1,2,3,4}Karaganda Industrial University, Republic of Kazakhstan, Temirtau;

⁵South Ural State University, Russian Federation, Chelyabinsk

Material received on 18.06.23.

INTEGRATED STUDY OF THE COMPOSITION AND STRUCTURAL FEATURES OF IRON ORE OF THE LISAKOVSKOYE DEPOSIT

This study is devoted to the study of the features of the oolitic iron ore of the Lisakovskoe deposit. Experiments were carried out on the decomposition of oolitic ore in an air atmosphere with simultaneous control of temperature and sample weight. The total weight loss during firing was almost 15%. A detailed characterization of the chemical composition and mineralogy of raw and burnt ore was carried out using optical and electron microscopy, X-ray phase analysis using a diffractometer. It was revealed that the main ore mineral of oolitic ore is goethite, which after oxidative roasting is transformed into hematite. Magnetite is another ore mineral; quartz is found among non-metallic minerals. Phosphorus is present in the form of iron hydrophosphate and aluminum phosphate. A map of the distribution of the main elements in the original ore has been constructed. It is confirmed that the oolites are formed mainly by iron oxides, there are gangue phases, consisting mainly of silicon oxides, in addition, there are also complex oxide phases, where several elements (Fe, Si, Al) are present. The obtained data can be useful for developing the theory and technology of pyrometallurgical processing of oolitic iron ores with a high phosphorus content.

Keywords: iron, iron ore, goethite, hematite, oolite, phosphorus, Lisakovskoe deposit, oxidative roasting.

Теруге 08.09.23 ж. жіберілді. Басуға 29.09.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 17,61 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4133

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz