

УДК 622.34/.622.7

ТЕРМОМАГНИТНОЕ ОБОГАЩЕНИЕ И ДЕФОСФОРАЦИЯ БУРОЖЕЛЕЗНЯКОВЫХ РУД И КОНЦЕНТРАТОВ

Мухтар А.А.¹, к.т.н., доцент, заведующий лабораторией «Обогащение руд» (bkosimova@mail.ru)

Мухымбекова М.К.¹, к.т.н., ведущий научный сотрудник

Макашев А.С.¹, старший научный сотрудник

Савин В.Н.², главный обогатитель (vladimir.savin@arcelormittal.com)

¹Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева

(100009, Республика Казахстан, Караганда, ул. Ермекова, 63)

²АО «АрселорМиттал Темиртау»

(101400, Республика Казахстан, Темиртау, пр. Республики, 1)

Аннотация. Оолитовые бурожелезняковые руды имеют важное экономическое значение за счет колоссальных запасов в мире. Однако использование их в металлургическом производстве в настоящее время весьма ограничено из-за высокого содержания фосфора. Процесс удаления фосфора из этих руд практически невозможен известными методами обогащения, поскольку он присутствует в оолитах в эмульсионно-вкрапленном состоянии, не образуя при этом самостоятельные минералы. Следовательно, использование руд данного типа весьма ограничено. Рост мирового производства стали в настоящее время увеличил спрос на железную руду, в связи с чем в последние десятилетия в мире были предприняты значительные усилия по созданию новых технологических схем дефосфорации бурожелезняковых руд с получением кондиционных железорудных концентратов. Сокращение богатых и легкообогащаемых железных руд в Казахстане приводит к необходимости привлечения в металлургическое производство огромных ресурсов легкодобываемых оолитовых бурожелезняковых руд месторождений Лисаковское, Аятское, Приаральское и других с содержанием железа от 35 до 40 % и фосфора до 1 %. Технология термомагнитного обогащения представляет собой наиболее жизнеспособной и приемлемый способ дефосфорации бурых железняков. Сущность технологии заключается в предварительной обработке руды или концентрата жидкоуглеводородным восстановителем, магнетизирующем обжиге, магнитном обогащении полученного огарка с последующей дефосфорацией магнитного концентрата методом кислотного выщелачивания. Технология испытана в пилотных условиях на представительных пробах Лисаковского концентрата и рудах Аятского и Кокбулакского месторождений.

Ключевые слова: бурожелезняковые руды, концентраты, оолиты, дефосфорация, термомагнитное обогащение, выщелачивание.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-9-708-713

Бурожелезняковые руды в Казахстане являются наиболее распространенным сырьем для черной металлургии, основные запасы которых сосредоточены на месторождениях Лисаковское, Аятское, Кокбулак, Кутанбулак и Талдыеспе и др. [1 – 8]. В настоящее время эксплуатируется Лисаковское месторождение, являющееся одной из сырьевых баз АО «АрселорМиттал Темиртау».

По технологии гравитационно-магнитного обогащения в Лисаковске получают концентрат с содержанием железа ~49 % и фосфора более 0,7 %, что значительно снижает его металлургическую ценность. Как известно, данная железная руда относится оолит-гидрогетитовому типу, где фосфор в оолитах присутствует в тонковкрапленном виде, не образуя самостоятельно минерала, что исключает возможность удаления его известными физическими методами обогащения (флотация и гравитация) [9 – 16]. Поэтому разработка технологии, позволяющая получить дефосфорированный концентрат с высоким содержанием железа из Лисаковского концентрата, является актуальной задачей в настоящее время.

В Химико-металлургическом институте им. Ж. Абишева разработана технология [17], суть которой заключается в предварительной обработке Лисаковского гравитационно-магнитного концентрата (ЛГМК) жидкоуглеводородным восстановителем (ЖУВ), магнетизирующем обжиге концентрата, магнитном обогащении обожженного сырья с получением концентрата и последующей дефосфорацией его методом кислотного выщелачивания.

В экспериментах применены Лисаковский гравитационно-магнитный концентрат (рис. 1) и суспензия измельченного угля Шубаркольского месторождения, химический состав которых представлен в табл. 1.

Бурожелезняковый концентрат представлен в основном гидрогетитом, двуокисью кремния, оксидом алюминия, а также сложными алюмосиликатными минералами (хлориты). Фосфор связан главным образом с гидрогетитом, о формах его нахождения в оолитах Лисаковского концентрата не существует единого мнения. Фосфор не образует отдельные фазы, в концентрате находится в составе гидрогетита и равномерно распределен в объеме оолита.



Рис. 1. Исходный Лисаковский гравитационно-магнитный концентрат

Fig. 1. Initial Lissakovsk gravitational and magnetic concentrate

Перед магнетизирующим обжигом ЛГМК обрабатывался 40 %-ной водной суспензией угля Шубаркольского месторождения с целью равномерного распределения восстановителя по всему объему концентрата. После сушки шихта обжигалась в лабораторной вращающейся печи ($d = 0,15$ м, $L = 2$ м) с внешним обогревом. Температура обжига концентрата 800 – 850 °С, производительность 8 кг/ч, угол наклона печи 40°. Обожженный продукт (магнетизированный ЛГМК) в количестве 12 кг охлаждался до комнатной температуры, затем в лабораторной шаровой мельнице измельчался до класса крупности $-0,071$ мм (не менее 85 %), далее пульпа измельченного продукта обогащалась мокрой магнитной сепарацией при 0,1 Тл на сепараторе ПБМ-П-25/10. Магнитная фракция после сгущения была помещена в реактор выщелачивания барабанного типа емкостью 5 л, где ее смешивали с 5 %-ным водным раствором серной кислоты с соблюдением соотношения жидкого к твердому Ж:Т = 3:1. Дефосфорация продукта осуществлялась в течение 60 мин при комнат-

ной температуре. По завершению процесса материал разгружался, производился процесс разделения твердого от жидкого, как выщелачивания трехкратно промывался, сушился, фильтрат и промывы после отбора проб нейтрализовались.

Мессбауэровские спектры экспериментальных проб снимались на спектрометре MS-1104Em с источником Co^{57} в матрице родия. Изомерный сдвиг определялся относительно α -Fe. Для анализа использовались порошковые пробы навеской 100 мг. Обработка мессбауэровских спектров осуществлялась по программе Univem MS.

Измерения магнитных свойств магнетизированного продукта проведены на вибрационном магнитометре VSM 250 в максимальном магнитном поле до 20 кЭ.

Электронно-микроскопическое исследование магнитной фракции огарка проведено на растровом электронном микроскопе MIRA 3 фирмы TESCAN.

Химический состав продуктов обжига ЛГМК и магнитного концентрата, а также дефосфорированного продукта представлен в табл. 2, из которой следует, что в процессе магнетизирующего обжига гидрогетиты в оолитах ЛГМК дегидратируются и восстанавливаются до магнетита. Об этом свидетельствуют мессбауэровские исследования исходного ЛГМК и продукта его магнетизирующего обжига (рис. 2, а, б), показывающие значительное увеличение содержания железа в магнетизированном продукте [18].

Обожженный продукт, результаты магнитометрического исследования которого представлены на рис. 2, в, обладает сильномагнитным свойством. Измерены следующие величины: σ_s – удельная намагниченность насыщения; σ_r – остаточная удельная намагниченность; $f_j H_c$ – коэрцитивная сила по намагниченности. Значения

Таблица 1

Химический состав исходных материалов, %

Table 1. Chemical composition of the initial materials, %

Материал	Fe	P	SiO ₂	Al ₂ O ₃	C _{тв}	A ^c	W ^p	V ^{daf}
ЛГМК	49,09	0,76	9,52	5,43	–	–	–	–
Шубаркольский уголь	–	–	–	–	49,99	2,03	10,00	37,98

Примечание. C_{тв} – содержание углерода, A^c – зольность, W^p – влага, V^{daf} – выход летучих.

Таблица 2

Химический состав продуктов обжига, магнитного обогащения и дефосфорации, %

Table 2. Chemical composition of the products of roasting, magnetic concentration and dephosphorizing, %

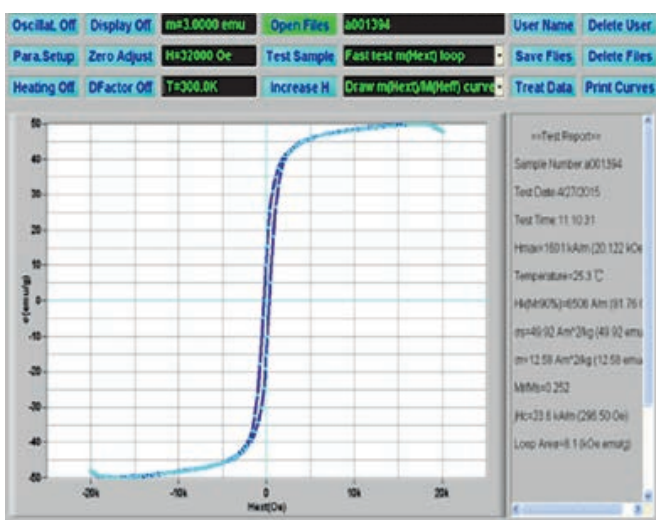
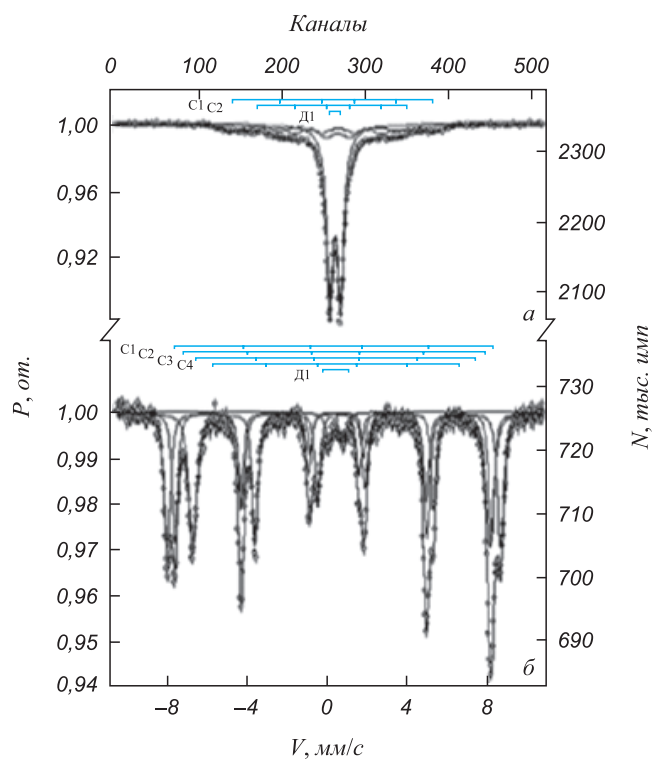
Материал	Fe	P	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Магнетизированный ЛГМК	58,12	0,79	12,62	5,57
Магнитный концентрат	60,41	0,82	6,31	6,09
Дефосфорированный концентрат	64,50	0,12	3,70	4,50

полученных величин приведены в системе СИ (СГС), ($A \cdot m^2/kg$ ($G \cdot cm^3/g$), кА/м (кЭ)).

Анализ микрофотографии (рис. 3) показал, что поверхность оолитов стала более рыхлой по сравнению с исходным концентратом (см. рис. 1) вследствие структурно-фазовых превращений гидрогетит – магнетит. В них наблюдаются множество микротрещин и пор, которые способствуют беспрепятственному проникновению сернокислотного раствора в оолиты и активному выщелачиванию из них фосфора. Это позволило на

практике получить дефосфорированный концентрат из Лисаковского гравитационно-магнитного концентрата (63,90 % Fe и 0,20 % P).

Технология терромагнитного обогащения дефосфорации испытана в пилотных условиях на представительных пробах руд Аятского и Кокбулакского месторождений [19, 20]. При магнитном обогащении огарка получен концентрат с содержанием железа 55,30 % (табл. 3).



6

Рис. 2. Мессбауэровские спектры исходного ЛГМК (а), магнитного концентрата (б) и петля магнитного гистерезиса продукта (в)

Fig. 2. Mossbauer spectra of initial Lissakovsk gravitational and magnetic concentrate (a), magnetic concentrate (b) and magnetic hysteresis loop of a product (в)

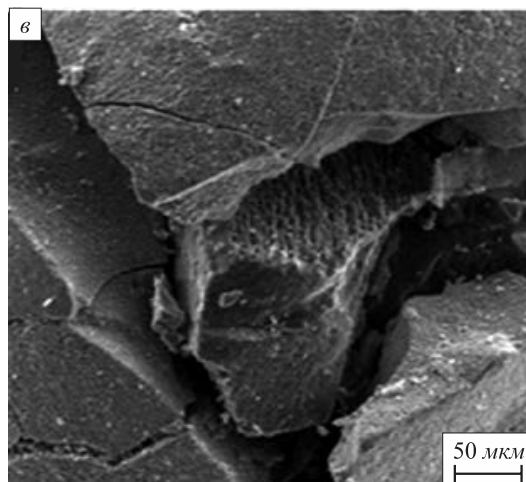
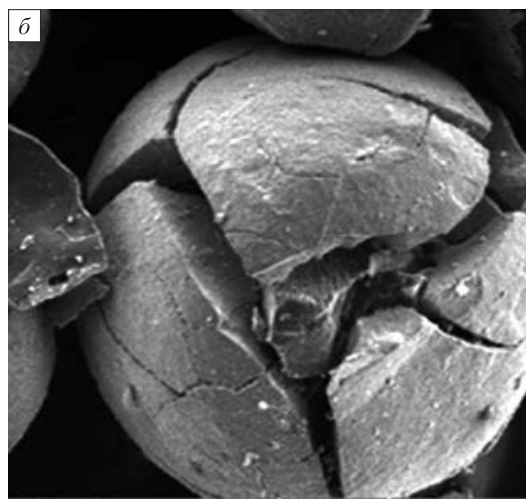
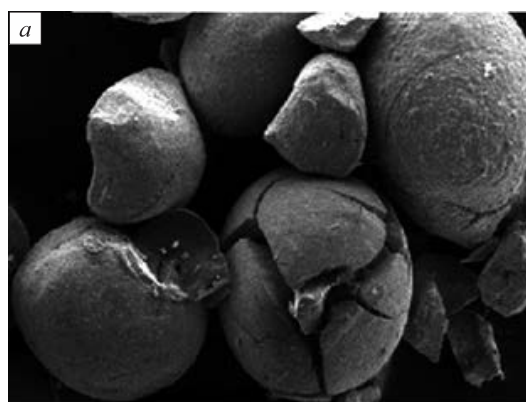


Рис. 3. Микрофотографии обожженного магнитного концентрата

Fig. 3. Microphotos of the roasted magnetic concentrate

Таблица 3

Химический состав исходной руды Аятского месторождения, огарка и магнитной фракции, %

Table 3. Chemical composition of the initial ore of Ayat deposit, of roasted product and of magnetic fraction, %

Продукт	Fe	P	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Руда	38,60	0,38	18,27	7,38
Огарок	53,09	0,46	13,62	7,69
Магнитная фракция	55,30	0,49	10,12	6,70

Таблица 4

Химический состав магнитного и обесфосфоренного концентрата Аятского месторождения

Table 4. Chemical composition of the magnetic and dephosphorized concentrates of the Ayat deposit

Продукт	Содержание компонентов, %				Извлечение компонентов, %			
	Fe	P	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	P	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Магнитный концентрат	55,30	0,49	10,12	6,70	96,87	99,06	69,09	81,01
Обесфосфоренный концентрат	56,90	0,29	7,45	6,15	96,71	55,63	69,19	86,27

Химический состав магнитного и обесфосфоренного концентрата Аятского месторождения представлен в табл. 4.

Химический состав исходных руд Кокбулакского месторождения, полученных огарков и продуктов магнитного обогащения представлен в табл. 5.

При магнитном обогащении огарка первого типа руды получен концентрат с содержанием железа 57,68 %. Магнитный концентрат, полученный из второго типа руды, содержит 54,53 % железа.

Химический состав магнитных (а) и дефосфорированных (б) концентратов месторождения Кокбулак приведен в табл. 6.

В результате проведенных пилотных испытаний по обогащению руды Кокбулакского месторождения получен концентрат с 0,30 % фосфора при содержании

и извлечении железа 61,04 и 99,21 % соответственно (I тип руды) и с 0,29 % фосфора при содержании и извлечении железа 58,40 и 98,84 % соответственно (II тип руды).

Выводы. В результате лабораторных исследований установлены условия обжига, магнитного обогащения и обесфосфоривания Лисаковского гравитационно-магнитного концентрата, что позволило разработать технологическую основу получения кондиционного по железу и фосфору концентрата. Технология также была испытана в пилотных условиях на представительных пробах руд Аятского и Кокбулакского месторождений,

Таблица 6

Химический состав магнитных (а) и дефосфорированных (б) концентратов месторождения Кокбулак

Table 6. Chemical composition of magnetic (a) and dephosphorized (b) concentrates of Kokbulak deposit

Показатель		Материал			
		I тип		II тип	
		а	б	а	б
Химический состав, %	Fe	57,68	61,04	54,34	58,48
	P	1,14	0,30	0,97	0,29
	SiO ₂	5,71	4,48	4,14	3,71
	Al ₂ O ₃	5,79	4,00	5,09	4,35
Извлечение, %	Fe	94,37	99,21	94,35	98,84
	P	94,41	24,67	94,89	27,46
	SiO ₂	51,29	73,55	61,08	82,31
	Al ₂ O ₃	95,90	64,76	95,43	78,49

Химический состав исходных руд (двух типов), огарков и продуктов магнитного обогащения месторождения Кокбулак, %

Table 5. Chemical composition of the initial ores (of 2 types), of roasted products and their products of magnetic concentration of Kokbulak deposit, %

Состав	Руда		Огарки		Магнитный концентрат	
	I тип	II тип	I тип	II тип	I тип	II тип
Fe	48,16	40,98	55,68	51,83	57,68	54,34
P	0,92	0,72	1,10	0,92	1,14	0,97
SiO ₂	9,29	7,27	10,14	6,10	5,71	4,14
Al ₂ O ₃	4,62	4,09	5,5	4,8	5,79	5,09

в результате которого определены условия получения концентратов из руд указных месторождений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 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.
- Рыбаков В.Н., Цылев Л.М., Громов М.И. Интенсификация процесса восстановления при магнетизирующем обжиге окисленных руд. – В кн.: Обжигмагнитное обогащение окисленных руд. – Киев, 1996. С.10 – 16.
- Мирко В.А., Кабанов Ю., Найденов В. Современное состояние развития месторождений бурых железняков Казахстана // Промышленность Казахстана. 2002. № 1. С. 79 – 82.
- Громов М.И., Рыбаков В.Н. Подготовка железорудного сырья к металлургическому переделу. – М.: Наука, 1973. С. 151 – 161.
- Тишков Н.П. Обогащение железных руд Лисаковского месторождения // Обогащение руд. 1987. № 3. С. 9 – 20.
- Кишин В.И. Влияние магнитной обработки на магнитные свойства термомагнитных железных руд // Обогащение руд. 2010. № 6. С. 23 – 26.
- Сергов Е.Е., Лукьянчиков Н.Н., Остапенко П.Е. Эффективность обогащения железных руд. – М.: Недра, 1983. – 243 с.
- Левинтов Б.Л., Мирко В.А., Кантемиров М.Д. и др. Особенности строения бурожелезняковых оолитов и их влияние на эффективность термохимического обогащения лисаковских концентратов // Сталь. 2007. № 8. С. 8 – 11.
- Тациенко П.А. Обжиг руд и концентратов. – М.: Недра, 1985. – 232 с.
- Пчелинцева-Паничкина О.А., Левинтов Б.Л., Бобир А.В. Особенности структурных и фазово-химических превращений в оолитовых минералах при обжиге и выщелачивании лисаковских концентратов // Комплексное использование минерального сырья. 2005. № 4. С. 46 – 53.
- Пчелинцева-Паничкина О.А., Левинтов Б.Л., Коржумбаев Т.В., Черноглазова Т.В. Особенности разделения рудных и нерудных оолитовых минералов в магнитных полях различной напряженности // Комплексное использование минерального сырья. 2004. № 5. С. 45 – 49.
- Тельбаев С., Еденбаев С. Результаты технологических исследований очистки лисаковского железорудного концентрата от фосфора // Промышленность Казахстана. 2008. № 2. С. 92 – 94.
- Максимов Е.В., Бектурганов Н.С., Каткеева Г.Л. и др. Выщелачивание примесей из оолитовой руды и железорудных концентратов // Обогащение руд. 2003. № 2. С. 6 – 8.
- Тациенко П.А., Батишева Т.А., Тарасова Н.В., Найденов В.А. Использование твердого восстановителя на опытно-промышленной установке обжигмагнитного обогащения Лисаковского ГОКа // Обогащение руд. 1977. № 3. С. 20 – 23.
- Гугля В.Г., Подолин С.А. Поведение фосфора в процессе жидкофазного восстановления // Изв. вуз. Черная металлургия. 2001. № 3. С. 5 – 9.
- Каваками М., Баба М., Ямада К. и др. Жидкофазное восстановление процессом DIOS // Новости черной металлургии за рубежом. 1996. № 1. С. 35 – 37.
- Мухтар А.А., Рау А.П., Макашев А.С., Момынбеков А.Д. Исследование процесса термомагнитного обогащения бурожелезняковых руд Лисаковского месторождения // Промышленность Казахстана. 2016. № 4(97). С. 58 – 61.
- Мухтар А.А., Бектурганов Н.С., Коровушкин В.В., Вернер И.А. Исследование продуктов обжига бурожелезняковых концентратов методами ЯГРС и термомагнитного анализа // Обогащение руд. 2011. № 3. С. 28 – 30.
- Mukhtar A.A., Mulymbekova M.K., Nurumgaliev A.H. etc. Investigation of magnetic roasting process of Ayatsk limonite ore with water-oil emulsion // XVI Balkan Mineral Processing Congress. – Belgrade, Serbia. 2015. P. 269 – 2717.
- Мухтар А.А., Мухымбекова М.К., Макашев А.С. и др. Обжигмагнитное обогащение лимонитизированной руды месторождения Кок-Булак // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 9. С. 88 – 94.

Поступила 11 июня 2018 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2018. VOL. 61. No. 9, pp. 708–713.

THERMOMAGNETIC CONCENTRATION AND DEPHOSPHORIZING OF BROWN CLAY IRON ORE AND CONCENTRATES

A.A. Mukhtar¹, M.K. Mulymbekova¹, A.S. Makashev¹, V.N. Savin²

¹Chemical-Metallurgical Institute named after Zh. Abishev, Karaganda, Republic of Kazakhstan

²JSC “ArcelorMittal Timertau”, Timertau, Republic of Kazakhstan

Abstract. Oolitic brown clay iron ores are of prime economic importance because of their enormous stocks in the world. However, their use in metallurgical production is very severely limited at the present time because of the high content of phosphorus in them. The process of phosphorus extracting from these ores almost cannot be realized by the known enrichment methods, since phosphorus presents in oolites in the emulsionated and impregnated state, without forming the independent minerals in this case. Therefore, using of ores of the given type is very limited. Growth of the world steel production at this time has considerably increased demand for iron ore, for that reason in the last decades in the world there were made considerable efforts on creation of new manufacturing schemes of brown clay iron ores obtaining standard iron ore concentrates. Considerable reduction of rich and easily beneficiated iron ores in Kazakhstan results in necessity to attract in metallurgical production the huge resources of the easily extracted

oolitic brown clay iron ores of Lissakovsk, Ayat, Priaral, and other fields with the iron content from 35 to 40 % and phosphorus up to 1 %. The technology of thermomagnetic beneficiation is represented as the most self-sustainable and acceptable dephosphorizing technology of brown limonites. The essence of the technology consists in the reproduction by liquid hydrocarbon reducer (LHR), mesmerizing roasting of the concentrate, magnetic concentration of the roasted raw material receiving the magnetic concentrate with the subsequent dephosphorizing of the obtained concentrate by the acid leaching method. The technology was tested in pilot conditions by representative samplings of the Lissakovsk concentrate and the ores of Ayat and Kokbulak fields.

Keywords: brown clay iron ore, concentrate, oolite, dephosphorizing, thermomagnetic concentration, leaching.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-9-708-713

REFERENCES

- Smirnov L.A., Babenko A.A. Involvement of Lisakovsk concentrate in production as one of the directions of expansion of the iron ore base of the Urals and Siberia. In: *Materialy Mezhdunarodnogo kongressa “300 let Ural’skoi metallurgii”* [Materials of the Int.

- Congress. "300 Years of the Ural Metallurgy]. Ekaterinburg, 2001, pp. 48–49. (In Russ.).
2. Rybakov V.N., Tsylev L.M., Gromov M.I. Intensification of the reduction process during magnetizing roasting of oxidized ores. In: *Obzhigmagnitnoe obogashchenie oksislennykh rud* [Roasting magnetic concentration of oxidized ores]. Kiev, 1996, pp. 10–16. (In Russ.).
 3. Mirko V.A., Kabanov Yu., Naidenov V. Current state of brown iron ore deposits in Kazakhstan. *Promyshlennost' Kazakhstana*. 2002, no. 1, pp. 79–82. (In Russ.).
 4. Gromov M.I., Rybakov V.N. *Podgotovka zhelezorudnogo syr'ya k metallurgicheskomu peredelu* [Preparation of iron ore raw materials for metallurgical processing]. Moscow: Nauka, 1973, pp. 151–161. (In Russ.).
 5. Tishkov N.P. Concentration of Lisakovsk iron ores. *Obogashchenie rud*. 1987, no. 3, pp. 9–20. (In Russ.).
 6. Kilin V.I. Effect of magnetic treatment on magnetic properties of strong magnetic iron ores. *Obogashchenie rud*. 2010, no. 6, pp. 23–26. (In Russ.).
 7. Sergov E.E., Luk'yanchikov N.N., Ostapenko P.E. *Effektivnost' obogashcheniya zheleznykh rud* [Efficiency of iron ore concentration]. Moscow: Nedra, 1983, 243 p. (In Russ.).
 8. Levintov B.L., Mirko V.A., Kantemirov M.D., Klimushkin A.N., Naidenov V.A., Bobir A.V. Structure of oolitic brown iron ores and their influence on the thermochemical enrichment of Lisakovsk concentrates. *Steel in Translation*. 2007, vol. 37, no. 8, pp. 681–685.
 9. Tatsienko P.A. *Obzhig rud i konsentratov* [Roasting of ores and concentrates]. Moscow: Nedra, 1985, 232 p. [in Russ].
 10. Pchelintseva-Panichkina O.A., Levintov B.L., Bobir A.V. Features of structural and phase-chemical transformations in oolitic minerals during roasting and leaching of Lisakovsk concentrates. *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya*. 2005, no. 4, pp. 46–53. (In Russ.).
 11. Pchelintseva-Panichkina O.A., Levintov B.L., Korzhumbaev T.V., Chernoglazova T.V. Features of separation of ore and non-ore oolitic minerals in magnetic fields of various intensity. *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya*. 2004, no. 5, pp. 45–49. [in Russ].
 12. Tel'baev S., Edenbaev S. Results of technological studies of dephosphorizing of Lisakovsk iron ore concentrate. *Promyshlennost' Kazakhstana*. 2008, no. 2, pp. 92–94. (In Russ.).
 13. Maksimov E.V., Bekturganov N.S., Katkeeva G.L. etc. Leaching of impurities from oolite ore and iron ore concentrates. *Obogashchenie rud*. 2003, no. 2, pp. 6–8. (In Russ.).
 14. Tatsienko P.A., Batisheva T.A., Tarasova N.V., Naidenov V.A. Using a solid reductant in the pilot industrial unit of roasting magnetic concentration at Lisakovsk MPP. *Obogashchenie rud*. 1977, no. 3, pp. 20–23. (In Russ.).
 15. Guglya V.G., Podolin S.A. Behavior of phosphorus during liquid-phase reduction. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2001, no. 3, pp. 5–9. (In Russ.).
 16. Kavakami M., Baba M., Yamada K., Saito K., Isidzaka X. Liquid phase reduction by DIOS process. *Novosti chernoi metallurgii za rubezhom*. 1996, no. 1, pp. 35–37. (In Russ.).
 17. Mukhtar A.A., Rau A.P., Makashev A.S., Momynbekov A.D. Investigation of thermomagnetic concentration process of brown clay iron ores of the Lisakovsk deposit. *Promyshlennost' Kazakhstana*. 2016, no. 4(97), pp. 58–61. (In Russ.).
 18. Mukhtar A.A., Bekturganov N.S., Korovushkin V.V., Verner I.A. Investigation of roasting products of brown clay iron concentrates by nuclear – gamma resonance spectrometry methods and thermomagnetic analysis. *Obogashchenie rud*. 2011, no. 3, pp. 28–30. (In Russ.).
 19. Mukhtar A.A., Mulymbekova M.K., Nurumgaliev A.H., Momynbekov A.D., Nuskabekov J.S. *Investigation of magnetic roasting process of Ayatsk limonite ore with water-oil emulsion* [XVI Balkan Mineral Processing Congress]. Belgrade: Serbia, 2015, pp. 269–271.
 20. Mukhtar A.A., Mulymbekova M.K., Makashev A.S., Momynbekov A.D., Nuskabekov Zh.S., Kasymova B.K. Roasting magnetic concentration of limonitized ore of Kok-Bulak deposit. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2015, no. 9, pp. 88–94. (In Russ.).

Information about the authors:

A.A. Mukhtar, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor, Head of the Laboratory "Concentration of Ores" (bkosimova@mail.ru)
M.K. Mulymbekova, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher
A.S. Makashev, Senior Researcher
V.N. Savin, Chief Preparator (vladimir.savin@arcelormittal.com)

Received June 11, 2018