

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 669.7.018.672
МРНТИ 53.81.37
<https://doi.org/10.31643/2018/6445.19>

Комплексное использование
минерального сырья. № 3. 2018.

В. А. ПОЗМОГОВ¹, Е. И. КУЛЬДЕЕВ², Д. В. ДОРОФЕЕВ², Л. М. ИМАНГАЛИЕВА²,
М. Н. КВЯТКОВСКАЯ¹

¹Институт металлургии и обогащения, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева,
Алматы, Казахстан, *e-mail: vpozmogov@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗИСТЫХ ПЕСКОВ ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПОИСКА ПУТЕЙ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

Received: 15 July 2018 / Peer reviewed: 31 July 2018 / Accepted: 10 August 2018

Резюме: Необходимость вовлечения в переработку техногенных отходов – железистых песков Павлодарского алюминиевого завода – связана не только с охраной окружающей среды, но и с потребностью увеличения производства глинозема, комплексной утилизацией отходов и нормализации процесса спекания. Для эффективного использования высокожелезистых бокситов на ранней стадии процесса проводят максимальное отделение железистых соединений от основной массы боксита. Поток железистых песков, направляемых в отвал, составляет примерно 10 % от общего потока боксита, поступающего в процесс, в данном случае – 50 т/ч. В нем содержится до 60 % оксида железа и 17 % оксида алюминия, который безвозвратно теряется, снижая общее извлечение глинозема из боксита. Для вовлечения техногенных отходов в производственный процесс были проведены детальные физико-химические исследования состава железистого песка: рентгенографический, оптический, термический и химический анализы фракций от +1 до –0,15 мм. Показано, что с уменьшением фракции увеличивается содержание оксидов железа (56,3–60,9 %), а содержание оксида алюминия уменьшается (13,4–10,4 %). Рентгенографический анализ усредненной пробы показал, что основными железосодержащими компонентами в составе железистых песков являются, мас. %: гематит 29,1; гетит 8,6; магнетит 6,19; сидерит 8,14; а также пирит и андрадит – по 2,58. Алюминийсодержащими фазами являются, мас. %: гиббсит 11,6; серпентин 8,94 и каолинит 7. В состав также входят сопутствующие минералы, мас. %: кварц 5,8; кальцит 8,49 и гипс 3,7. Проведенный термический анализ также подтвердил наличие установленных фаз. Были определены температуры разложения и окисления компонентов, происходящих при повышении температуры. Определены данные о составе фаз и их превращениях, необходимые при разработке способов утилизации железистых песков. Анализ физико-химических данных состава железистых песков показал, что их можно считать потенциальным сырьем для получения пигментов и чугуна. Разработка новых технических решений, направленных на вовлечение в технологический процесс техногенных отходов – железистого песка – позволит повысить рентабельность существующего глиноземного производства переработки низкокачественных высокожелезистых бокситов.

Ключевые слова: железистые пески, техногенные отходы, фазовый состав, пигменты, чугун

Введение. Качество боксита, используемого для получения глинозема постоянно ухудшается [1-8]. Некондиционное глиноземсодержащее сырье содержит повышенное количество вредных примесей, особенно железосодержащих минералов. Железистые соединения представляют собой балласт, который отрицательно влияет на технологический цикл получения глинозема в целом, увеличивают износ и нагрузку на

используемые аппараты. В настоящее время железистая составляющая бокситов выделяется в начале производственного процесса и удаляется в отвал как техногенный отход, который, накапливаясь, увеличивает нагрузку на окружающую среду. Вовлечение железистого песка в производственный цикл позволит снизить потери алюминия – повысить рентабельность производства, и получить дополнительную востребованную продукцию. Для этого

необходима разработка технологий комплексной утилизации железосодержащих материалов. Продуктами комплексной переработки железосодержащих материалов техногенных отходов глиноземного производства – железистых песков – могут быть железооксидные пигменты и чугуны.

Мировой рынок потребления железооксидных пигментов составляет около 1,5 млн. тонн в год. По прогнозам мировой рынок производства железооксидных пигментов к 2021 году в стоимостном выражении может быть оценен в 2 млрд. долларов США. Для разработки новых способов переработки железистых песков необходимо провести детальный физико-химический анализ их состава.

Экспериментальная часть. В качестве железосодержащего сырья использованы железистые пески глиноземного производства Павлодарского алюминиевого завода (ПАЗ) АО «Алюминий Казахстана». В качестве реагентов для гидротермальной обработки применяли гидроксид натрия квалификации «технический» ГОСТ 2263-79.

Методика проведения эксперимента. Обжиг продуктов проводили в печи SNOL 8,2/1100.

Методы анализа. Рентгеновские экспериментальные данные получены на аппарате BRUKERD8 ADVANCE на медном излучении при ускоряющем напряжении 36 кВ, токе 25 мА.

Химический анализ образцов выполнен на оптическом эмиссионном спектрометре с индуктивно – связанной плазмой Optima 2000 DV (США, PerkinElmer).

Термический анализ выполняли с использованием прибора синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter. Перед нагревом печное пространство откачивалось (уровень достигаемого вакуума – 92 %) и затем продувалось инертным газом в течение 5 мин. Нагрев осуществлялся до температуры 1150 °С со скоростью 10 °С/мин, в атмосфере высокоочищенного аргона. Охлаждение проводилось до 300 °С со скоростью 15 °С/мин. Общий объем поступающего газа выдерживался в пределах 80 мл/мин. Обработка результатов производилась посредством программного обеспечения NETZSCH Proteus.

Минералогический анализ проб проводили на микроскопе в проходящем и отраженном свете. В проходящем свете пробы исследовали

иммерсионным методом под микроскопом МИН-8 при увеличении $\times 320$. В отраженном свете в полированных шлифах пробы исследовали с помощью микроскопа Leica (увеличение $\times 200$ и $\times 100$), получены микрофотографии.

Обсуждение результатов. *Физико-химический состав железистых песков.* Железистые пески на Павлодарском алюминиевом заводе отделяют на стадии мокрого размола боксита на гидроциклонных аппаратах и направляются в отвал [1].

Схема отделения железистых песков представлена на рисунке 1. После грубого размола боксита он направляется на гидроциклон, где проводится первое отделение песковой фракции, которая направляется на доизмельчение, и после двукратного прохождения через гидроциклоны и промывки в вертикальном аппарате железистый песок уходит на шламовое отделение и в отвал. Поток железистых песков, направляемых в отвал, составляет примерно 10 % от общего потока боксита, поступающего в процесс, в данном случае – 50 т/ч. Содержание оксида железа в железистых песках до 60 %. Вместе с железистыми песками в отвал попадает и оксид алюминия (до 17 %), который безвозвратно теряется, что снижает общее извлечение глинозема из боксита.

Поэтому создание технологии комплексной переработки железистых песков с переводом их в полезный продукт является актуальной задачей. Железистые пески могут быть утилизированы путем получения из них железооксидных пигментов и чугуна.

Был проведен ситовой анализ пробы железистого песка. Химический анализ железистых песков, разделенных на фракции, и усредненной пробы приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что содержание основных компонентов – оксида алюминия и оксида железа – с уменьшением крупности материала изменяется разнонаправлено: содержание первого уменьшается, а второго возрастает.

В исследованиях для переработки была использована усредненная проба железистых песков, предварительно измельченная до крупности – 0,1 мм.

На рисунке 2 приведена рентгенограмма усредненной пробы железистого песка, а в таблице 2 приведен фазовый состав этой пробы.

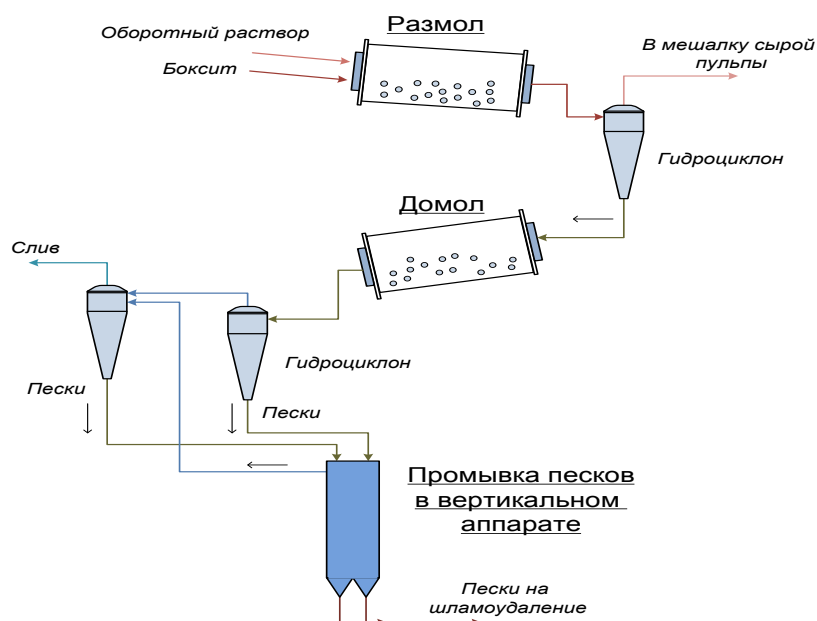


Рисунок 1 – Схема отделения железистых песков

Таблица 1 – Химический состав фракций железистых песков, %

Фракции, мм	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	CO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅
Усредненная проба	0,4	13,4	4,1	56,3	4,6	10,3	4,2	0,1
(-3+1)	0,4	22,3	2,6	39,6	5,4	12,6	3,2	0,3
(-1+0,63)	0,4	16,0	3,4	46,5	5,5	14,1	3,8	0,1
(-0,63+0,25)	0,4	11,5	4,1	54,7	5,5	12,1	4,3	0,01
(-0,25+0,15)	0,4	9,8	4,5	60,4	4,1	8,3	4,2	0,1
(-0,15)	0,5	10,4	3,1	60,9	4,0	8,6	4,5	0,1

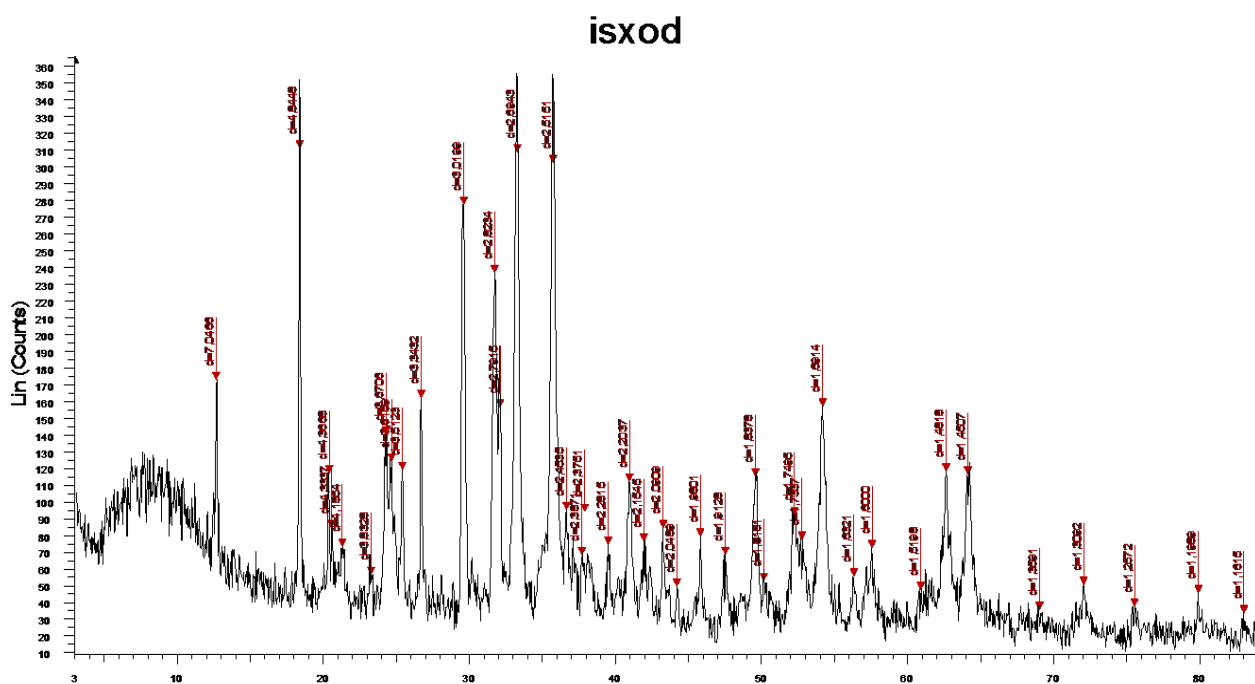


Рисунок 2 – Рентгенограмма усредненной пробы железистого песка

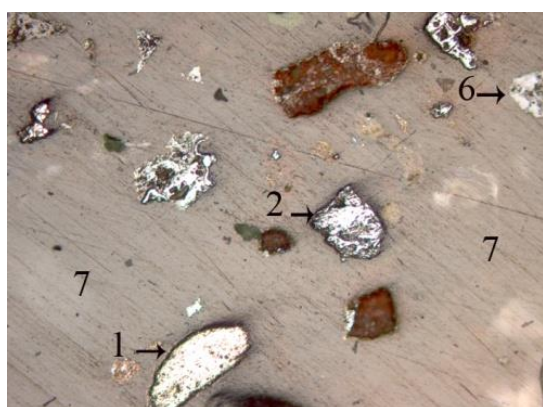
Таблица 2 – Фазовый состав усреднённой пробы железистых песков ПАЗа

Название компонента	Формула	%
Гематит	Fe_2O_3	29,1
Гиббсит	$\text{Al}(\text{OH})_3$	11,6
Гетит	$\text{Fe}^{+3}\text{O}(\text{OH})$	8,6
Магнетит	Fe_3O_4	6,2
Серпентин	$(\text{Mg},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	8,9
Кварц	SiO_2	5,8
Сидерит	FeCO_3	8,1
Гипс	CaSO_4	3,7
Кальцит	CaCO_3	8,5
Каолинит	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	7,0
Пирит	FeS_2	2,6
Андрадит	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2^{+3}(\text{SiO}_4)_3$	2,6

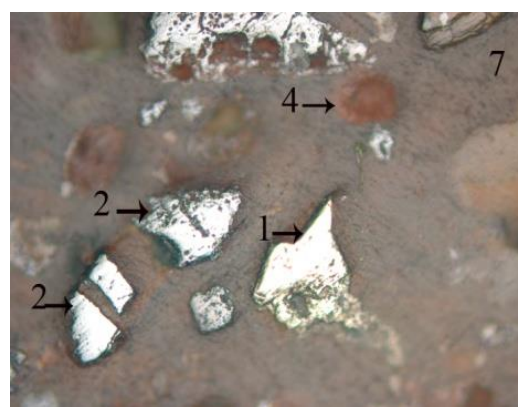
Отдельные минералы, составляющие усредненную пробу железистого песка, определены оптическим методом и указаны на микрофотографиях, представленных на рисунках 3 и 4.

Для исследования поведения железистого песка при нагревании был проведен термический анализ усредненной пробы. Термограммы представлены на рисунках 5 и 6.

На кривой ДТА (рисунок 5) зафиксированы эндотермические эффекты различной интенсивности с максимальным развитием при температурах, °С: 321,6; 524,3; 810,2; 1005,5; и экзотермические эффекты с пиками при температурах, °С: 447,5; 582,9; 815,6; 1012,9. Первый эндотермический эффект сопровождается интенсивным снижением массы, отражающим процесс дегидратации гетита и гиббсита. На кривой ДТГ ему соответствует минимум при 308,2 °С. Восходящая ветвь этого эффекта плавно переходит в экзотермический эффект с пиком при 447,5 °С.



Увеличение x100



Увеличение x200

1 – кальцит CaCO_3 , 2 – кварц $\alpha\text{-SiO}_2$, 4 – гематит Fe_2O_3 , 6 – каолинит $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, 7 – гетит HFeO_2

Рисунок 3 – Микрофотографии усредненной пробы железистого песка



Магнетит x200

Марказит x200

Пирит x200

Рисунок 4 – Отдельные составляющие минералы пробы железистого песка

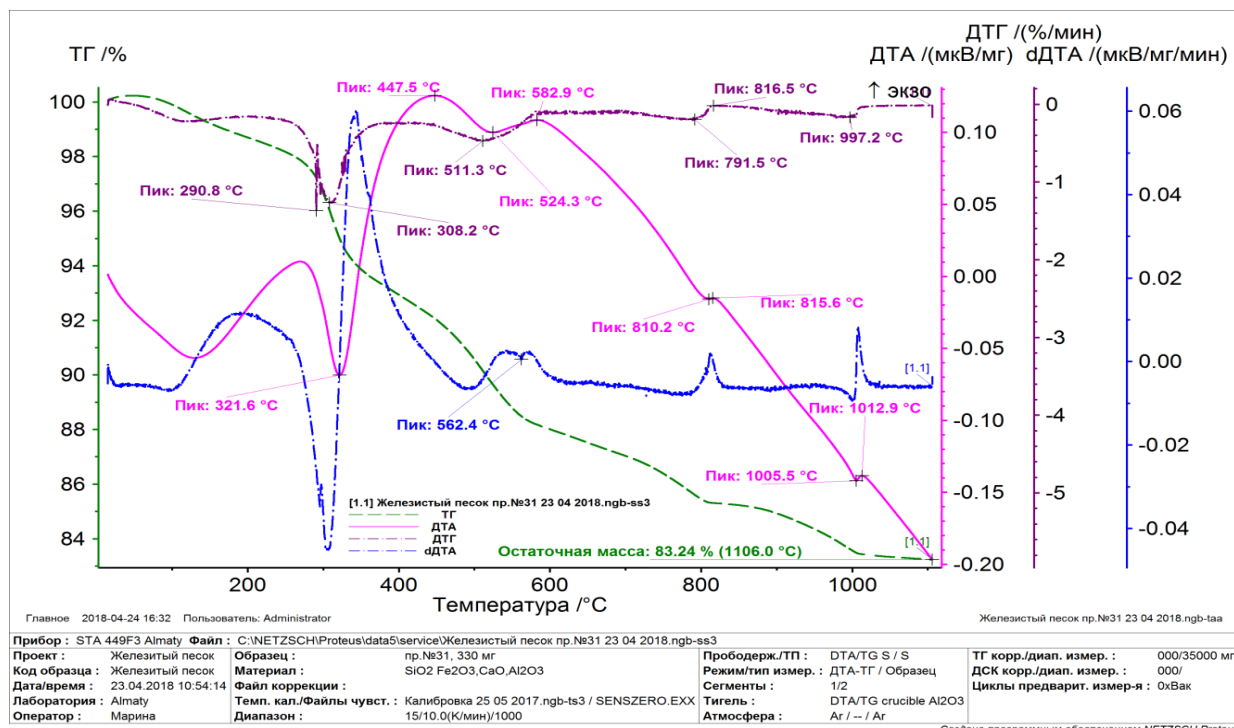


Рисунок 5 – Термограмма усредненной пробы железистого песка

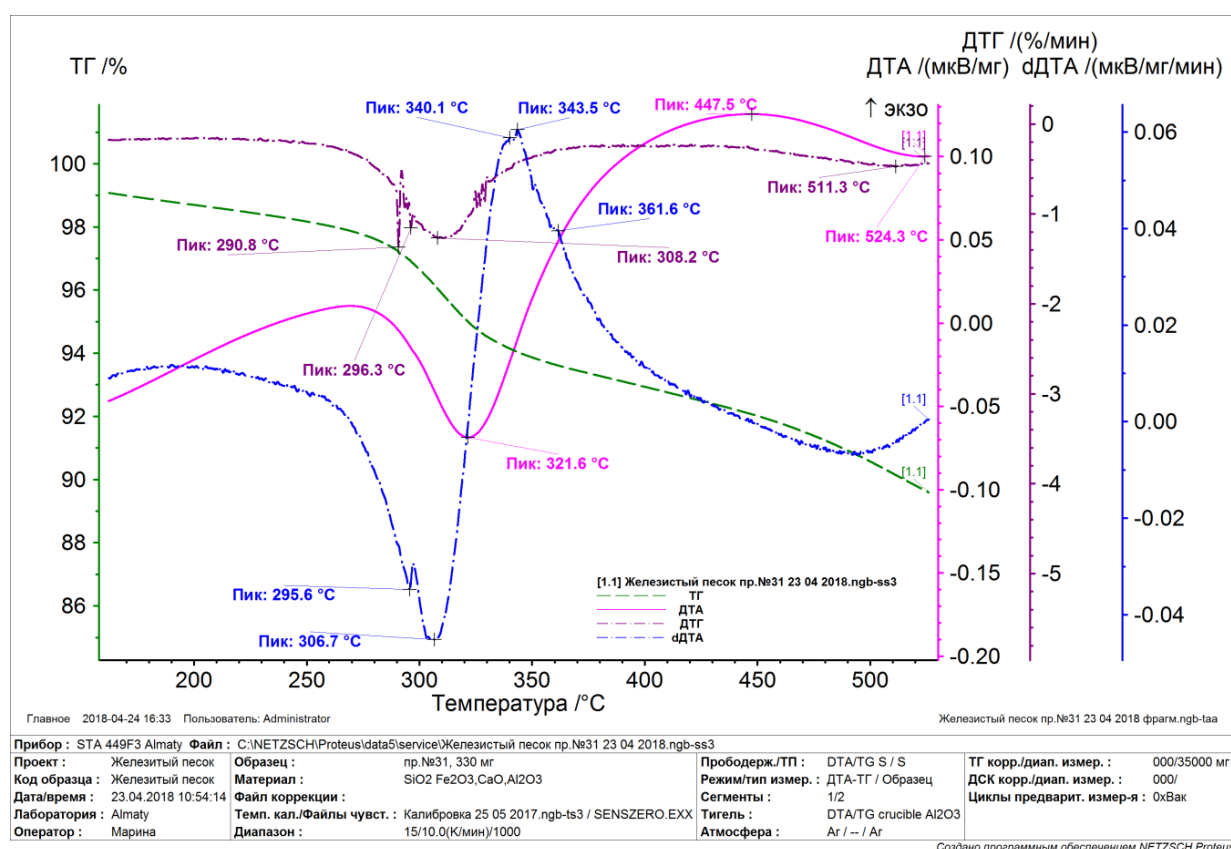


Рисунок 6 – Термограмма усредненной пробы железистого песка, развернутая в диапазоне до 500°C

Такое сочетание эффектов характерно для проявления лепидокрокита – $\gamma\text{-FeOOH}$. Эндотермический эффект отражает дегидратацию и распад лепидокрокита с образованием $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, а экзотермический эффект отражает переход кубической $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в тригональную $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Кроме лепидокрокита в пробе присутствуют еще два аморфных гидроксида железа.

В интервале температур до 500 °С в развернутом диапазоне (рисунок 6), на котором приведены увеличенные фрагменты термических кривых в области температур 200–500 °С, можно увидеть дополнительные минимумы на кривой ДТГ при 290,8 °С и 296,3 °С. Экзотермический эффект на кривой ДТА с пиком при 447,5 °С на кривой ДТА разделяется на три пика – при 340,1 °С, 343,5 °С, 361,6 °С. Сочетание этих минимумов с пиками при 340,1 °С и 361,6 °С возможно является проявлением аморфных гидроксидов железа.

На рисунке 5 можно отметить сочетание эндотермического эффекта с экстремумом при 524,3 °С и экзотермических эффектов с пиками при 582,9 °С и 815,6 °С, которые можно отнести к диссоциации сидерита. В области развития эндотермического эффекта с экстремумом при 524,3 °С происходит диссоциация сидерита с выделением CO_2 , образованием магнетита и вюстита. Достаточно слабые экзотермические эффекты отражают окисление магнетита и вюстита остаточным кислородом с образованием гематита. В наложение, пик при 815,6 °С может отражать окисление магнетита, находящегося в пробе как отдельная фаза. На кривой ДТГ этому эффекту соответствует небольшой максимум при 816,5 °С. Сочетание двух слабых эндотермических эффектов с экстремумами при 810,2 °С и 1005,5 °С можно рассматривать как проявление диссоциации доломита. Они развиты на фоне снижения массы навески, на кривой ДТГ им соответствуют минимумы при 791,5 °С и 997,2 °С.

Также можно отметить экзотермический эффект с пиком при 1012,9 °С. В сочетании с эндотермическим эффектом с экстремумом при 524,3 °С это возможно проявление какого-либо глинистого минерала. Отдельно, пик может быть проявлением глинистого минерала аллофан – $m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot p\text{H}_2\text{O}$. Слабый эндотермический эффект с экстремумом при 562,4 °С на кривой dДТА отражает энантиотропное полиморфное превращение кварца.

Из таблицы 2 видно, что железосодержащие фазы представлены двумя видами железа: 3-х валентным (гематит) и 2-х

валентным (гетит, магнетит, пирит, андрадит, сидерит), которые примерно поровну присутствуют в железистом песке. Соединения двухвалентного железа имеют черный цвет, поэтому с большой долей вероятности можно предположить, что пигмент, полученный непосредственно из исходного железистого песка будет черного цвета [9-10]. Исходя из данных термического анализа (рисунки 5 и 6), в железистом песке после термообработки при температуре 524,3 °С происходит диссоциация сидерита с выделением CO_2 , с образованием магнетита и вюстита, которые в свою очередь окисляются с образованием гематита. Гематит представлен в другой цветовой гамме – красно-коричневого цвета. Предварительный обжиг железистого песка оказывает положительное действие: позволяет удалить органические соединения, разложить пирит, марказит и удалить серу, получить обезвоженный продукт.

Усредненную пробу железистого песка подвергали обжигу для изменения фазового состава – перевода железа двухвалентного (II) в трехвалентное (III). Обжиг песков проводили при температуре 600 °С в течение 1 ч и обожженный продукт анализировали рентгенографическим методом.

Рентгенофазовый анализ железистого песка после обжига представлен в таблице 3 и на рисунке 7.

Таблица 3 - Фазовый состав обожженного железистого песка

Наименование	Формула	%
Гематит	Fe_2O_3	48,6
Кварц	SiO_2	27,1
Кальцит	CaCO_3	24,3
Итого		100,0

В результате обжига увеличилось содержание фазы трехвалентного железа – гематита, за счет окисления и перехода двухвалентного железа (гетит, магнетит, сидерит, пирит и андрадит) в трехвалентное. Термическая обработка железистого песка позволяет удалить вредные составляющие (CO_2 и серу) и перевести соединения железа в гетит, который имеет красно-коричневый цвет. Пигмент, полученный из обожженного железистого песка предположительно будет иметь красный оттенок [11-13].

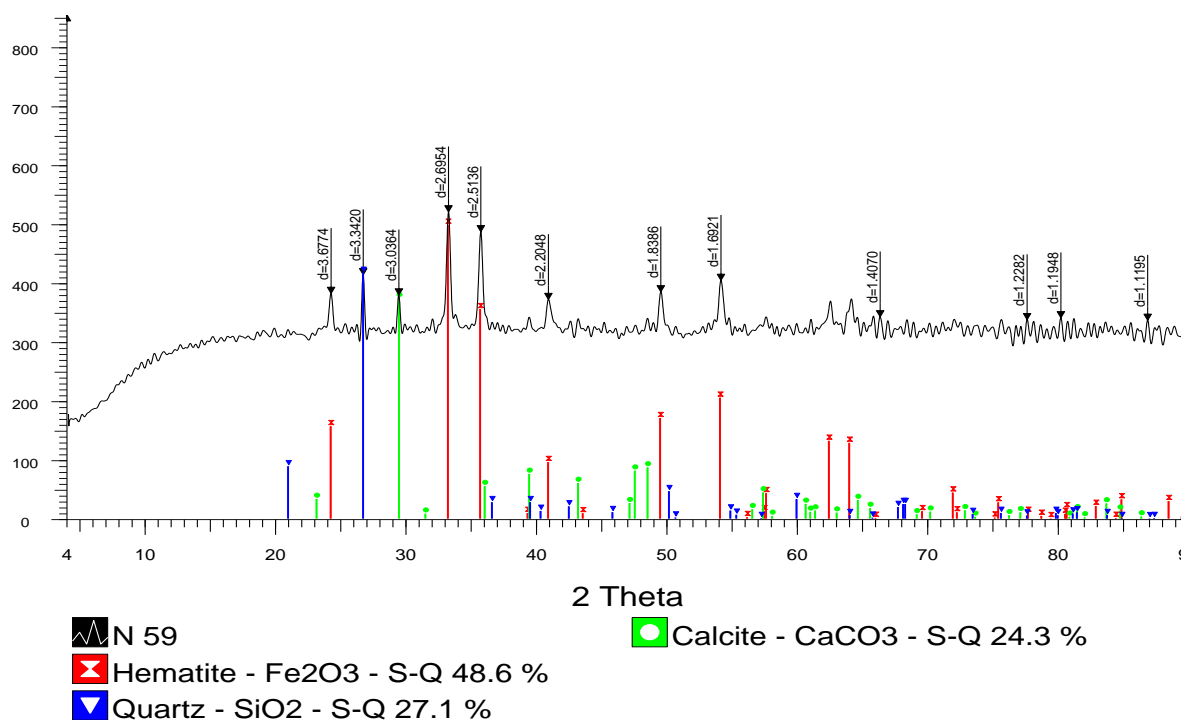


Рисунок 7 - Рентгенограмма железистого песка после обжига

Железистые пески можно также перерабатывать непосредственно на чугун по кричной технологии [14]. Практически полное отсутствие в песках фосфора, серы и других вредных веществ позволяет рассчитывать на получение кричного железа высокого качества. Сущность кричной технологии заключается в восстановительном обжиге в трубчатой печи железистых руд в смеси с флюсующими добавками. Шихта по мере продвижения в печи непрерывно нагревается отопительными газами и в ней в зависимости от температуры нагрева протекают различные физико-химические процессы: до температуры 600 °С происходит испарение влаги, в области 600-1100 °С – восстановление оксидов железа, а при более высоких температурах (1200-1350 °С и выше) нагретая шихта переходит в полурасплавленное (вязкое) состояние. В последней зоне интенсифицируется восстановление железа, в результате чего восстановленные металлические частицы железа при вращении печи смешиваются в крупные зерна, распределенные по всей массе шлака, и образуют крицу. После охлаждения и дробления массы (клинкера) крицу отделяют от шлака грохочением (или отсадкой) и магнитной сепарацией.

Выводы. Методами химического, рентгенографического, оптического и

термического анализ исследован физико-химический состав железистых песков глиноземного производства – потенциального железосодержащего сырья для получения чугуна и железосодержащих пигментов. Показано, что основными железосодержащими фазами в железистом песке являются гематит, гетит, магнетит, сидерит, а также пирит и андрадит, которые в сумме составляют 57 % от всего состава. Алюминийсодержащими фазами являются гиббсит, серпентин и каолинит (27 %). В состав также входят сопутствующие минералы: кварц, кальцит и гипс (18 %). Проведенный термический анализ подтвердил наличие выявленных фаз, а также помог установить температуры разложения и окисления компонентов, которые необходимы при разработке способов утилизации железистых песков. Рентгенофазовый анализ обожженного железистого песка показал, что все соединения железа полностью окислились до трехвалентного и представлены монофазой – гематитом. Обжиг железистого песка позволил удалить вредные составляющие – CO_2 и серу. Полученные физико-химические данные состава железистых песков позволяют сделать вывод о том, что железистые пески можно считать потенциальным сырьем для получения пигментов и чугуна.

Результаты проведенных физико-химических исследований по изучению состава железистых песков являются основой для разработки способа их переработки с получением железоокисных пигментов и чугуна.

Работа выполнена при финансовой поддержке КН МОН РК по программе BR05236406 «Разработка и реализация инновационных технологий, обеспечивающих повышение извлечения цветных, благородных редких и редкоземельных металлов и решение производственных задач промышленных предприятий республики Казахстан».

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ибрагимов А.Т., Будон С.В. Развитие технологии производства глинозема из бокситов Казахстана. – Павлодар: Дом печати, 2010. – С. 304.
- 2 Иванов А. И., Кожевников Г. Н., Ситдииков Ф. Г., Иванова Л.П. Комплексная переработка бокситов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 180 с.
- 3 Шморгуненко Н.С., Корнев В.И. Комплексная переработка и использование отвальных шламов глиноземного производства. – М.: Металлургия, 1982. – 128 с.
- 4 Ни Л.П., Ловаши И., Зазубин А.И., Евсеев Ю.Н. К вопросу о комплексной переработке красных шламов // Вестн. АН КазССР. – 1975. – №1. – С. 30-33.
- 5 Borra C.R., Pontikes Y., Binnemans K., Gerven T.V. Leaching of rare earths from bauxite residue (red mud). // *Minerals Engineering*. – 2015. – № 76. – P. 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.01.005>.
- 6 Mishra B., Staley A., Kirkpatrick D. Recovery and utilization of iron from red mud // *Light Metals*. 2001. – № 1 – P. 149-156.
- 7 Mingjun Rao, Jinqiang Zhuang, Guanghui Li, Jinghua Zeng, Tao Jiang. Iron Recovery from Red Mud by Reduction Roasting-Magnetic Separation // *Light Metals*. – 2013. – № 1 – P. 125-130. <https://doi.org/10.1002/9781118663189.ch22>.
- 8 Hanne Sellaeg, Leiv Kolbeinsen, Jafar Safarian. Iron Separation from Bauxite through Smelting-Reduction Process // *Light Metals*. – 2017. – № 1 – P. 127-135. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51541-0_19.
- 9 Пат. 2047631 РФ. Способ получения железоокисных пигментов / Калиниченко И.И., Соколов В.И., Никоненко Е.А., Колесникова М.П., Пуртов А.И.; опубл. 10.11.1995. Бюл. № 31.
- 10 Пат. 2346018 РФ. Способ получения черного железоокисного пигмента / Исмагилова Г.В., Колесникова М.П., Кузнецов А.И., Купцов С.Г., Никоненко Е.А., Рухлядева М.С., Соколов В.И.; опубл. от 10.02.2009. Бюл. № 4.
- 11 Пат. 2131444 РФ. Способ производства железоокисных пигментов / Савченко А.И., Чернобук Ю.Н., Завьялова Г.Г., Туркин Ю.И.,

Свинин П.А., Николаева Е.А.; опубл. 10.06.1999. Бюл. № 16.

12 Самченко С.В., Земскова О.В., Козлова И.В. Технология пигментов и красителей. Учеб. Пособ. для ВУЗов. – М.: НИУ МГСУ, 2015. – С 151.

13 Шпигельхауер Ш. Неорганические железоокисные пигменты и их применение в лакокрасочных материалах. // *RuColor: Сб. докл. I-ой междунар. конф., 10–12 сентября 2014 г.* [Электрон. ресурс] – URL: <http://www.rucolor.com/upload/iblock/737/04.pdf> (дата обращения 04.06.2018.)

14 Вегман Е. Ф., Жеребин Б. П., Похвиснев А. Н., Юсфин Ю. С., Курунов И. Ф., Пареньков А. Е., Черноусов П. И.. *Металлургия чугуна*. – М.: Академкнига, 2004.– 774с.

15 Ковзаленко В.А., Сарсенбай Г., Садыков Н.М., Абдулвалиев Р.А. Комплексная переработка каолиновых глин с получением промышленных продуктов. // *Комплексное использование минерального сырья*. – 2018 – №1, – С. 26-33.

REFERENCES

- 1 Ibragimov A.T., Budon S.V. *Razvitiye tekhnologii proizvodstva glinozema i zboksitov Kazakhstana*. (Development of alumina production technology from bauxite in Kazakhstan). Pavlodar: Press House, **2010**. 304. (in Russ.)
- 2 Ivanov A.I., Kozhevnikov G.N., Sitdikov F.G., Ivanova L.P. *Kompleksnaya pererabotka boksitov*. (Complex processing of bauxite). Ekaterinburg: UrO RAN, **2003**. 180. (in Russ.)
- 3 Shmorgunenko N.S., Kornev V.I. *Kompleksnaya pererabotka i ispol'zovaniye otval'nykh shlamov glinozemnogo proizvodstva*. (Complex processing and use of sludge slimes of alumina production). Moscow: metallurgy) **1982**. 128. (in Russ.)
- 4 Ni L.P., Lovashi I., Zazubin A.I., Yevseyev Yu.N. *K voprosu o kompleksnoy pererabotke krasnykh shlamov* (On the issue of complex processing of red muds). *Vestn. AN Kaz SSR= Herald of AS Kaz SSR*. **1975**. 1. 30-33.(in Russ.).
- 5 Borra C.R., Pontikes Y., Binnemans K., Gerven T.V. Leaching of rare earths from bauxite residue (red mud). *Minerals Engineering*. **2015**. 76. 20-27. Doi:10.1016/j.mineng.2015.01.005. (in Eng.)
- 6 Mishra B., Staley A., Kirkpatrick D. Recovery and utilization of iron from red mud. *Light Metals*. **2001**. 1. 149-156. (in Eng.)
- 7 Mingjun Rao, Jinqiang Zhuang, Guanghui Li, Jinghua Zeng, Tao Jiang. Iron Recovery from Red Mud by Reduction Roasting-Magnetic Separation. *Light Metals*. **2013**. 1. 125-130. (in Eng.)
- 8 Sellaeg H., Kolbeinsen L., Safarian J. Iron Separation from Bauxite through Smelting-Reduction Process. *Light Metals*. **2017**. 1. 127-135. Doi:10.1007/978-3-319-51541-0_19. (in Eng.)

9 Pat. 2047631 RU. *Sposob polucheniya zhelezookisnykh pigmentov* (Method for obtaining iron-oxide pigments). Kalinichenko I.I., Sokolov V.I., Nikonenko Ye.A., Kolesnikova M.P., Purtov A.I. Opubl.10.11.1995. *Bul. 31*. (in Russ.)

10 Pat. 2346018 RU. *Sposob polucheniya chernogo zhelezookisnogo pigmenta* (A method for obtaining a black ferric oxide pigment). Ismagilova G.V., Kolesnikova M.P., Kuznetsov A.I., Kuptsov S.G., Nikonenko Ye.A., Rukhlyadeva M.S., Sokolov V.I. Publ. 10.02.2009. *Bul. 4*. (in Russ.)

11 Pat. 2131444 RU. *Sposob proizvodstva zhelezookisnykh pigmentov* (Method of production of iron-oxide pigments). Savchenko A.I., Chernobuk Yu.N., Zav'yalova G.G., Turkin Yu.I., Svinin P.A., Nikolayeva Y.A. Publ. 10.06.1999. *Bul. 16*. (in Russ.)

12 Samchenko S.V., Zemskova O.V., Kozlova I.V. *Tekhnologiya pigmentov i krasitelej*. (Technology of pigments and dyes). *Uchebnoe posobiye dlya VUZov*. (Tutorial for Higher school) Moscow: NIU MGSU, 2015. 151. (in Russ.)

13 Shpigel'khauer Sh. *Neorganicheskiye zhelezookisnyye pigmenty i ikh primeneniye v lakokrasochnykh materialakh*. (Inorganic iron oxide pigments and their use in paint and varnish materials). RuColor: sb. dokl. I-oj mezhdunar. konf. (RuColor: proceedings of 1st intrnation. conf.) 10.12 September. 2014. [Electron. resource]. <http://www.rucolor.com/upload/iblock/737/04.pdf>. (in Russ.)

14 Vegman Y.F., Zherebin B. N., Pokhvisnev A. N. *Metallurgiya chuguna*. (Metallurgy of cast iron). Moscow: Akademkniga, 2004. 774. (in Russ.)

15 Kovzalenko V.A., Sarsenbaj G., Sadykov N. M., Abdulvaliyev R.A. *Kompleksnaya pererabotka kaolinitovykh glin s polucheniem promyshlennykh produktov*. (Complex processing of kaolinite clays with obtaining of industrial products). *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya = Complex use of mineral resources*. 2018. 1. 26-33. (in Russ.)

ТҮЙІНДЕМЕ

Павлодар алюминий зауытының темірі көп құмдарын техногенді қалдықтар мен қайта өңдеуге тарту қажеттілігі - қоршаған ортаны қорғау үшін ғана емес және алюминий оксиді өндірісінің көбеюі қажеттілігіне байланысты ұлғайту қалдықтардың процесінің дұрыс жүруі мен кешенді қалдықтарды қалыпқа келтіру. Темірі көп құмды бокситті тиімді қолдану үшін процестің бастапқы кезеңінде бокситтің негізгі массасымен темір қосылыстардың максималды бөлінуі жүзеге асырылады. Қалдыққа бағытталған темірі көп құмның ағымы - 50 т / сағ құрайды. Ол құрамында темір оксидінің 60% және алюминий оксидінің 17% бар, ол қайтымсыз жоғалып, бокситтен алюминийдің жалпы шығарылуын азайтады. Өндірістік процеске техногенді қалдықтарын тарту үшін темірлі құмның құрамына толық физико-химиялық зерттеулер жүргізілді: рентгенографиялық, оптикалық, термиялық және химиялық талдау +1-0,15 мм фракциялар. Фракцияның азаюымен темір оксидтерінің мөлшері (56,3-60,9%) артып, алюминий оксидінің мөлшері азаяды (13,4-10,4%). Орташа үлгідегі рентгенографиялық талдау көрсеткендей, темір құмдарындағы негізгі темір құрамдас бөліктері, %: гематит 29,1; гетит 8,6; магнетит 6,19; сидерит 8,14; сондай-ақ пирит және андратит - 2,58. Алюминийден тұратын фазалар, %: гиббсит 11,6; серпентин 8,94 және каолинит 7. Композиция құрамына кіреді, %: кварц 5,8; кальцит 8,49 және гипс 3,7. Жүргізілген термиялық талдау да белгіленген фазалардың болуын растайды. Жоғары температура кезінде пайда болатын компоненттердің ыдырауы мен тотығу температурасы анықталды. Фазалардың құрамы туралы белгілі мәліметтер темірлі құмдарды кәдеге жаратудың және олардың айналулары кезінде қажетке ие. Темірлі құмның құрамының физико-химиялық деректерін талдау пигменттер мен шойын шығару үшін әлеуметті шикізат ретінде қарастыруға болатындығын көрсетті. Жаңа техникалық шешімдерді әзірлеу, темірлі құмды техногенді қалдықтардың технологиялық үрдісіне бағытталған тартуларында қазіргі базис алюминий оксиді өндірісіндегі төменгі сапалы темірі көп бокситтерді қайта өңдеудің тиімділігін қотеруге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: Темірлі құмдар, техногендік қалдықтар, фазалық құрамы, пигменттері, шойын

ABSTRACT

The need to involve the production wastes – ferrous sands of the Pavlodar aluminum plant into the processing is associated not only with environmental protection, but also with the necessity to increase alumina production, complex waste utilization and the sintering process normalization. For high-iron bauxites effective using in the early stage of the process, the maximum separation of ferriferous sands from bauxite is carried out. The waste flow of ferriferous sands is 50 t/h, which are 10 % from general flow of feed bauxite. It contains up to 60 % of iron oxide and 17 % of aluminum oxide, which is irretrievably lost, reducing the overall extraction of alumina from bauxite. To involve production wastes in the processing, detailed physicochemical studies of the composition of ferriferous sand by methods as follows: X-ray, optical, thermal, phase and chemical analyzes of the fractions from +1 to -0.15 mm were carried out. It is shown that with the decrease of the fraction, the content of iron oxides (56.3-60.9 %) increases, and the content of aluminum oxide decreases (13.4-10.4 %). X-ray analysis of the averaged sample showed that the main iron-containing components in the ferriferous sands are, %: hematite 29.1; hetite 8.6; magnetite 6.19; siderite 8.14; as well as pyrite and andradite – by 2.58. Aluminum-containing phases are, %: gibbsite 11.6; serpentine 8.94 and kaolinite 7. The composition also includes concomitants, %: quartz 5.8; calcite 8.49 and gypsum 3.7. The performed thermal analysis also confirmed the presence of identified phases. The decomposition and oxidation temperatures of the components that occur with increasing temperature were determined. The obtained data on the phase composition and its transformations are necessary when developing methods for the ferriferous sands utilization. An analysis of the physicochemical data of ferriferous sands' composition has shown that they can be considered as a potential raw material for pigments and cast iron production. The development of new technical solutions aimed at the involvement of production wastes – ferriferous sands in the process will increase the profitability of the existing alumina production by low-quality high-iron bauxite processing.

Key words: ferriferous sands, production wastes, phase composition, pigments, cast iron

Поступила 15.07.2018