

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

№ 1 (2024)

---

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/KBNH3045>

**Импакт-фактор РИНЦ – 0,210**

**Импакт-фактор КазБЦ – 0,406**

---

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);  
Богомолов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);  
Кажибаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

**Зарубежные члены редакционной коллегии:**

Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);  
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);  
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);  
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);  
Magin Lapuerta – 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

**А. А. Мухтар,<sup>1</sup> А. С. Макашев,<sup>1</sup> \*Б. К. Касымова<sup>1</sup>,  
М. М. Атахан<sup>2</sup>, Е. В. Кочегина<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда,  
Республика Казахстан;

<sup>2</sup>Карагандинский технический университет им. Абылкса Сагинова,  
г. Караганда, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>Карагандинский университет имени академика Е. А. Букетов,  
г. Караганда, Республика Казахстан

\*e-mail.ru: [bkosimova@mail.ru](mailto:bkosimova@mail.ru)

### **ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В ПРОЦЕССЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ БУРОЖЕЛЕЗНЯКОВОГО КОНЦЕНТРАТА К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПЕРЕДЕЛУ**

*Статья посвящена исследованию изменения содержания оксида алюминия в Лисаковском бурожелезняковом концентрате (ЛГМК) с химическим составом исходного продукта: Fe – 48 %, 68; P–0,70 %; SiO<sub>2</sub>–12,03 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–4,53 % при термохимической подготовке концентрата к металлургическому переделу с целью получения концентрата с необходимым соотношением SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.*

*При анализе пробы ЛГМК, применены различные методы, включающие термический, рентгенофазовый анализ, а также микроскопическое исследование. Эксперименты включали комбинированные схемы обогащения: сухую магнитную сепарацию, обжиг и выщелачивание.*

*Выщелачивание продукта обжига проведено методом математического планирования четырехфакторного эксперимента на пяти уровнях: температура, °C; время, мин; концентрации H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в %; соотношение жидкого к твердому, (Ж:Т) были определены оптимальные условия для максимального извлечения оксида алюминия в процессе выщелачивания, который соответствует: температура – 25 °C, концентрация серной кислоты 5% и соотношение жидкого к твердому 6/1.*

*В укрупненных лабораторных условиях при установленных оптимальных режимах и продолжительности процесса выщелачивания 30 минут из обожженного ЛГМК получен кондиционный железорудный концентрат, следующего состава, железо – 64,00 %, фосфор – 0,15 %, кремнезём – 4,19 %, оксид алюминия – 2,38 % с соотношением SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1,76.*

*Ключевые слова: бурожелезняковый концентрат, оксид алюминия, термохимическая подготовка, выщелачивание, планирование экспериментов.*

#### **Введение**

Разработка бурожелезняковых месторождений представляет собой одну из ключевых задач в области развития минерально-сырьевой базы черной металлургии в

Казахстане. Эти месторождения, являются наиболее распространенными источниками железной руды в стране, такие как Лисаковское, Аятское, а также месторождения Приаральской группы. Общий объем их запасов, оцениваемый примерно в 12 миллиардов тонн, составляет более половины всех утвержденных запасов железной руды в Казахстане [1; 2; 3; 4; 5]. Учитывая огромный потенциал в настоящее время освоение их в настоящее время является приоритетной задачей. Как известно, текущее решение указанной задачи основывается на эксплуатации Лисаковского месторождения.

Проведенными исследованиями подтверждено, что гравитационно-магнитный концентрат полученный из бурожелезняковой руды Лисаковского месторождения обладает неблагоприятным химическим составом, т.е. низким содержанием железа (до 49%), повышенным содержанием вредной примесей фосфора, из-за которых стандартные технологические подходы к их обработке являются неэффективными.

Факторами, способствующими росту переработки лисаковского концентрата, является повышение содержания железа и уменьшение уровня фосфора. Особенностью лисаковских руд является то, что фосфор не формирует отдельные независимые минералы, а тесно ассоциирован с минералами железа, будучи равномерно распределённым внутри оолитов. В связи с этим, процесс углубленного обогащения руды, наряду с повышением извлечения железа, неизбежно приводит к пропорциональному увеличению количества фосфора в концентрате.

В процессе обжигового обогащения Лисаковской руды содержание железа в получаемом концентрате достигает 60–62 %, однако соотношение фосфора к железу оставалось на уровне, характерном для гравитационно-магнитного концентрата [6]. К тому же, кремниевый модуль (отношение  $\text{SiO}_2$  к  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) уменьшается до менее одной единицы. Переработка их в доменных печах сопровождается образованием тугоплавких шлаков в области геленита, что вызывает трудности в выплавке передельного чугуна с низким содержанием кремния. В металлургии это усугубляет уже существующую проблему удаления фосфора, так как требует проведения доменной плавки с более высоким запасом тепла, что является экономически неоправданным.

Установлено, что фосфор эффективно удаляется из лисаковского обожженного концентрата с использованием методов выщелачивания минеральными кислотами. Было установлено, что при обжиге гидрогетит в концентрате трансформируется в гематит или магнетит, при этом оолиты приобретают массивную мелкозернистую текстуру и растрескиваются, а фосфор перемещается в точки, доступные для проникновения кислоты, что обеспечивает его эффективное извлечение в раствор. Показано, что в результате термической деструкции оолитов и активации фосфора в них процесс выщелачивания привел к получению кека с содержанием 0,14 % фосфора и 63,83 % железа [7; 8; 9]. Однако, в полученном концентрате несмотря на снижение содержания оксидов кремния и алюминия их соотношение осталось на уровне меньше единицы.

В этой связи целью настоящей работы является исследование влияния технологических факторов на изменение содержания оксида алюминия в продуктах термохимического обогащения бурожелезнякового концентрата.

#### **Объект и методы исследования**

Для проведения лабораторных исследований отобрана представительная проба из Лисаковского гравитационно-магнитного концентрата (ЛГМК), следующего химического состава, %: Fe – 48,68; P–0,70;  $\text{SiO}_2$ –12,03;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ –4,53. По рентгенофазовому анализу руда представлена рядом  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , а также гидрогетитом –  $\text{FeOON}$  и кварцем –  $\alpha\text{-SiO}_2$ . На рентгенограмме (рисунок 1) представлены дифракционные максимумы, характерные для гетита, гидрогетита ( $d/n \text{ \AA}^0$  4,18; 2,69; 2,46;

2,24; 2,18) и кварца (d/n A<sup>0</sup> 4,30; 3,34; 2,58; 2,28). Минеральные формы фосфора и оксида алюминия не обнаружены.

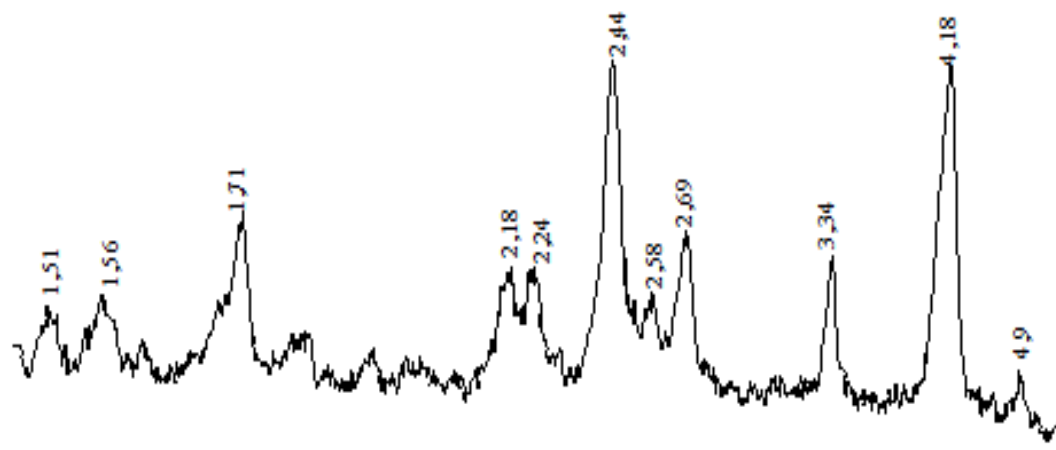


Рисунок 1 – Рентгенограмма концентрата

Термический анализ руды проведен в окислительной среде до температуры 850 °C на кривых ДТА фиксируется эндозффект в области 310 °C с потерей веса пробы до 8,24 %, согласно ннаблюдаемый эффект относится процессу термической дегидратации из гетит-гидрогетитов в руде [10].

Микроскопические исследования показали, частицы исходной руды (рисунок 2а) представлены в основном оолитами крупности частиц от 1 до 2 мм, значительная часть кварца представлена от 0,1-1 мм, а крупность глинистых минералов менее 0,015–0,20 мм. В целом исходная руда имеет оолитовую структуру.

Оолиты пробы руды термического анализа (рисунок 2б) существенно изменились, целостность которых существенным образом нарушена. Общая форма некоторых частиц сохранилась, но имеют большие радиальные трещины, микроструктура поверхности характеризуется микротрещинами и шероховатостями, что указывает на то, что они подвергались значительному напряжению, из-за потери гидратной влаги в результате быстрого нагрева.

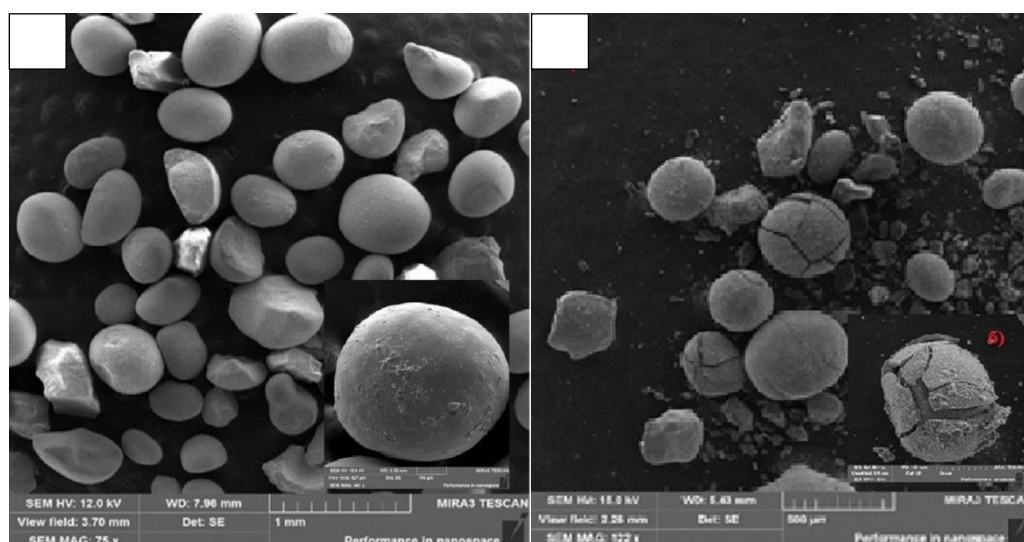


Рисунок 2 – Микрофотография исходного концентрата (а)

и продукта ДТА (б)

С целью подготовки ЛГМК к выщелачиванию навеску материала подвергали сухой магнитной сепараций (С.М.С), в результате полученный магнитный промпродукт с выходом 82,17 % с содержанием железа – 52,09 %, фосфора – 0,75 %, оксида кремния и алюминия – 5,60 % и 4,60 % соответственно, обжигали в окислительной среде при температуре 850°C, в корундовом тигле в муфельной печи, время опыта составила 60 минут. В таблице 1 представлены достигнутые экспериментальные результаты термообработки продукта С.М.С. Суммарная потеря веса пробы в процессе составила 17,50 % связанной удалением из оолитов гидратной и физической влаги. Выход обожжённого продукта соответствует значению 82,50 %

Таблица 1 – Результаты обжига магнитного промпродукта в окислительной среде

№	Продукт	Выход, %	П.в., %	Содержание, %			
				Fe	P	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	Магнитный п/п	–	–	52,09	0,75	5,60	4,60
2	Обожжённый продукт	82,50	17,50	59,87	0,85	5,25	5,56

Рентгенофазовым анализом установлено присутствие в огарке оксида железа – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, диоксида кремния и оксида алюминия, индивидуальные соединения фосфора не обнаружены. Содержание железа и фосфора в обожжённом продукте значительно увеличились с 52,09 % до 59,87 % и с 0,75 % до 0,85 % соответственно, кремниевый модуль (отношение SiO<sub>2</sub> к Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) уменьшился до менее одной единицы.

Полученный таким способом железорудный огарок подвергали выщелачиванию растворами серной кислоты при различных соотношениях жидкого к твёрдому (Ж:Т) в течение 10–50 минут в интервале температур 25–85°C (таблица 2).

Таблица 2 – Уровни изучаемых факторов

Фактор	Уровень				
	1	2	3	4	5
X <sub>1</sub> , температура, °C	25	40	55	70	85
X <sub>2</sub> , время, мин	10	20	30	40	50
X <sub>3</sub> , концентрации H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , %	1	2	3	4	5
X <sub>4</sub> , соотношение жидкого к твёрдому, Ж:Т	2/1	3/1	4/1	5/1	6/1

Опыты проведены согласно матрице 4 факторного эксперимента на 5 уровнях, которая приведена в таблице 3, где: Y<sub>э</sub>, Y<sub>п</sub> – экспериментальные и расчетные значения степени извлечения оксида алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в раствор; X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub> – изучаемые факторы. Значение степени извлечения оксида алюминия в раствор рассчитывали по формуле:

$$Y_3 = \frac{\gamma_I \times \beta_I - \gamma_{\text{кек}} \times \beta_{\text{кек}}}{\gamma_I \times \beta_I} \quad (1)$$

где,  $\gamma_I, \beta_I, \gamma_{\text{кек}}, \beta_{\text{кек}}$  – выход и содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в исходном и конечном продукте

### Результаты исследований и их обсуждение

Результаты экспериментов по выщелачиванию  $\text{Al}_2\text{O}_3$  из обожженного концентрата приведены в таблице 3. Экспериментальные ( $Y_3$ ) значения частных функций приведены в таблице 4, частные точечные зависимости, полученные выборкой из  $Y_3$  представлены на рисунке 3. Они аппроксимированы функциями приведенными в таблице 5, где также представлены расчетные ( $Y_p$ ) значения. Коэффициенты корреляции ( $R$ ) и значимость ( $tr$ ) для частных функций приведены в таблице 6.

Таблица 3 – Матрица эксперимента по выщелачиванию алюминия и полученные результаты

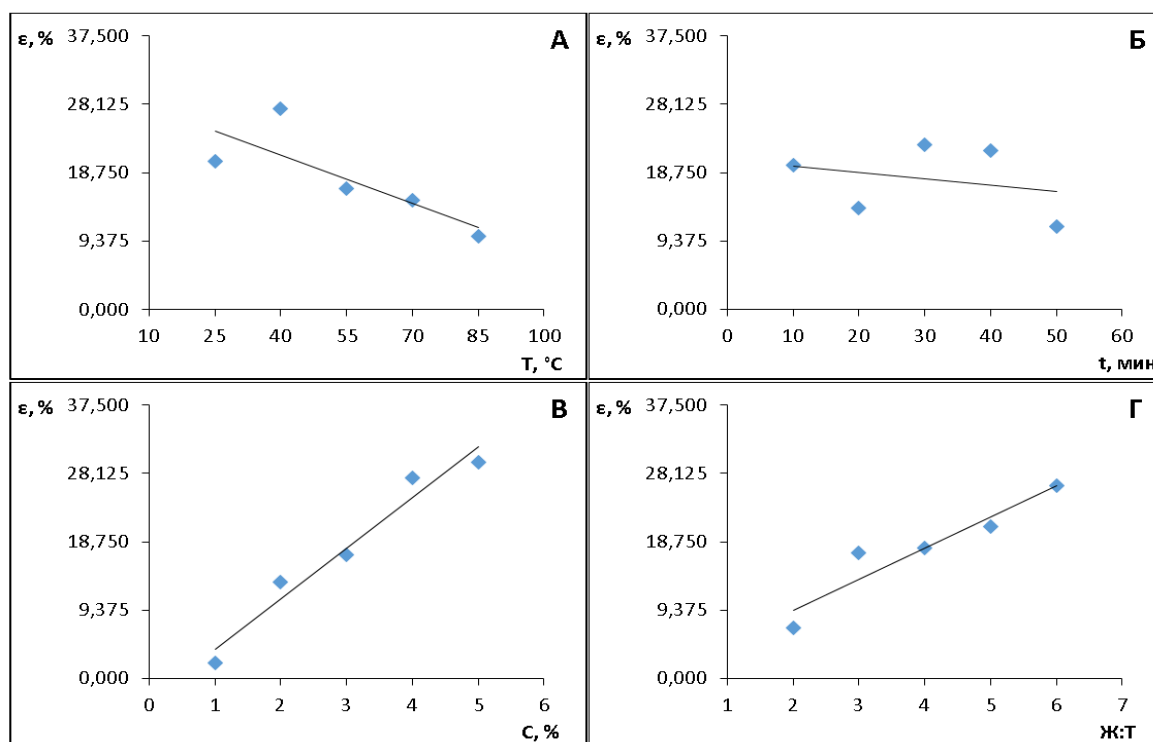
№ опыта	Факторы				Значения функций $Y$ – степень извлечения, %	
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$Y_3$	$Y_{II}$
1	25	10	1	2/1	-0,46	2,90
2	25	30	3	4/1	26,52	24,51
3	25	20	2	3/1	11,03	11,45
4	25	50	5	6/1	32,59	64,14
5	25	40	4	5/1	31,92	42,08
6	55	10	3	3/1	12,41	13,66
7	55	30	2	6/1	28,26	16,17
8	55	20	5	5/1	30,27	39,33
9	55	50	4	2/1	6,01	13,07
10	55	40	1	4/1	6,13	4,03
11	40	10	2	5/1	26,38	16,07
12	40	30	5	2/1	31,55	19,80
13	40	20	4	4/1	36,69	29,43
14	40	50	1	3/1	6,51	3,64
15	40	40	3	6/1	36,48	31,27
16	85	10	5	4/1	20,35	20,07
17	85	30	4	3/1	22,81	11,97
18	85	20	1	6/1	-5,62	3,75
19	85	50	3	5/1	11,97	13,98
20	85	40	2	2/1	0,79	3,64
21	70	10	4	6/1	40,42	29,88
22	70	30	1	5/1	4,01	4,06
23	70	20	3	2/1	-2,78	7,68
24	70	50	2	4/1	-0,10	8,95
25	70	40	5	3/1	33,57	19,78

Таблица 4 – Экспериментальные значения частных функций

Функция	Уровень					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
$Y_1$	20,32	27,52	16,61	15,03	10,06	17,91
$Y_2$	19,82	13,92	22,63	21,78	11,40	17,91
$Y_3$	2,12	13,27	16,92	27,57	29,67	17,91
$Y_4$	7,02	17,27	17,92	20,91	26,43	17,91

Таблица 5 – Расчетные значения частных функций

Функция	Уровень					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
$Y_1 = -0,2201 X_1 + 30,0166$	24,51	21,21	17,91	14,61	11,31	17,91
$Y_2 = -0,0899 X_2 + 20,6055$	19,71	18,81	17,91	17,01	16,11	17,91
$Y_3 = 6,9403 X_3 - 2,9118$	4,03	10,97	17,91	24,85	31,79	17,91
$Y_4 = 4,2453 X_4 + 0,9280$	9,42	13,66	17,91	22,15	26,40	17,91



От температуры (а), времени (б), концентрации  $H_2SO_4$  (в)  
и соотношения жидкого к твердому (г).

Рисунок 3 – Частные зависимости степени  $Al_2O_3$  в раствор

Частные зависимости степени извлечения  $Al_2O_3$  в раствор имеют линейный характер (рисунок 3), анализ которых показал, что на степень извлечения оксида алюминия в раствор наиболее сильно влияет концентрация  $H_2SO_4$  и соотношение жидкого к твердому. Повышение температуры выщелачивания сопровождается снижением степени извлечения  $Al_2O_3$  в раствор. Повышение продолжительности выщелачивания от 10 до 50 минут существенным образом не влияет на извлечения в



раствор  $Al_2O_3$ , поэтому частная зависимость  $Y_2(t)$  является незначимой функцией (таблица 6).

Таблица 6 – Значимость частных функций ( $Y_i$ )

$Y_i$	R	tr	Значимость функции по $tr > 2,00$
$Y_1$	0,72	2,59	Значима
$Y_2$	0,29	0,62	Не значима
$Y_3$	0,97	28,43	Значима
$Y_4$	0,93	11,92	Значима

Таким образом, обобщенное многофакторное уравнение выщелачивания  $Al_2O_3$  из обожженного бурожелезнякового концентрата состоящей из значимых частных функций имеет следующий вид:

$$Y_n = -0,0202 X_1 X_3 X_4 + 0,0085 X_1 X_4 + 2,7574 X_3 X_4 - 1,1568 X_4 - 0,0044 X_1 X_3 + 0,0019 X_1 + 0,6027 X_3 - 0,2529 \quad (2)$$

Значение коэффициента корреляции обобщенного уравнения ( $R=0,68$ ) указывает на приемлемое совпадение экспериментальных и расчетных данных. Ошибка уравнения составила  $\sigma=10,78$  %.

Анализ уравнения (2) позволил определить оптимальные условия процесса выщелачивания  $Al_2O_3$  из обожженного бурожелезнякового концентрата: температура ( $X_1$ ) –  $25^\circ C$ ; концентрация  $H_2SO_4$  ( $X_3$ ) – 5%; соотношение жидкого к твердому ( $X_4$ ) – 6/1, при которых степень извлечения  $Al_2O_3$  в раствор составило – 64,14%. Таким образом, при этих режимах и продолжительности выщелачивания 30 минут в укрупненных лабораторных условиях получен кондиционный железорудный концентрат, следующего состава, железо – 64,00 %, фосфор – 0,15 %, кремнезём – 4,19 %, оксид алюминия – 2,38 % с соотношением  $SiO_2/Al_2O_3 = 1,76$ .

#### Информация о финансировании

Исследование выполнено в рамках договора, заключенным между Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан и Химико-металлургическим институтом им. Ж. Абишева, грант ИРН №AP19675375.

#### Выводы

Изучено влияние различных технологических факторов на процесс изменения содержания оксида алюминия в продуктах дефосфорации бурожелезнякового концентрата.

Методом математического планирования эксперимента получена обобщенная многофакторная модель выщелачивания оксида алюминия сернокислым раствором из обожженного бурожелезнякового концентрата.

Определены оптимальные условия максимального извлечения оксида алюминия (64,14 %) при выщелачивании, который соответствует - температура  $25^\circ C$ , концентрация серной кислоты 5 % и соотношение жидкого к твердому 6/1.

В укрупненных лабораторных условиях при установленных оптимальных режимах и продолжительности процесса выщелачивания 30 минут из обожженного ЛГМК получен кондиционный концентрат с содержанием оксида алюминия 2,38 % и кремниевым модулем ( $SiO_2/Al_2O_3$ ) равное 1,76.

---

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

---

- 1 **Формозова, Л. Н.** Железные руды Северного Приаралья. – М. : АН СССР, 1959. – 446 с.
- 2 **Слипченко, Б. В.** О двух генетических типах оолитовых железных руд Лисаковского месторождения (Северный Казахстан) // Геологический журнал. – 1981. – Т. 41. – № 6. – С. 53–61.
- 3 **Бекмухаметов, А. Е., Билялов, Б. Д.** Металлогения экзогенных руд железа Торгайского прогиба перспективы промышленного освоения их Лисаковским ГОК. – Алматы : НИЦ «Гылым», 2003. – 366 с.
- 4 **Эрикссон, М., Лёф, А., Лёф, О.** Обзор мирового рынка железной руды за 2019 – 2020 годы // Горная промышленность. – 2021. – № 1. – С. 74 – 82. DOI: <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-74-82>.
- 5 **Яницкий, А. Л.** Олигоценовые оолитовые железные руды Северного Тургай и их генезис. – М. : Изд-во АН СССР, 1960. – 220 с.
- 6 **Мухтар, А. А., Нускабеков, Ж. С., Момынбеков, А. Д. Коровушкин, В. В.** Обжигмагнитное обогащение бурожелезняковой руды Абаилского месторождения // Обогащение руд. – 2015. – № 4. С. 13–16. – <https://doi.org/10.17580/or.2015.04.03>.
- 7 **Zainullin, L. A., Karelin, V. G., Epishin, A. Yu., Artov, D. A.** Enhancement of Pyro-Hydrometallurgical Technology of Dephosphorization of Brown Iron Ore of the Lisakovsk Field by Hot Leaching Method // METALLURGIST. – 2020. – Vol. 64. – Issue 5–6. – P. 522–525. – <https://doi.org/10.1007/s11015-020-01022-8>.
- 8 **Mukhtar, A. A., Mukhymbekova, M. K., Makashev, A. S., Savin, V. N.** Thermomagnetic enrichment and dephosphorization of brown iron ore and concentrates // Steel in Translation. – 2018. – No. 9. – P. 553–557.// DOI: 10.3103/S0967091218090103.
- 9 **Wang, H. H., Li, G. Q., Zhao, D., Mab, J. H., Yang, J.** Dephosphorization of high phosphorus oolitic hematite by acid leaching and the leaching kinetics //Hydrometallurgy. - 2017. – Vol. 171. – P. 61–68.
- 10 **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.

REFERENCES

- 1 **Formozova, L. N.** Zhelezny`e rudy` Severnogo Priaral`ya [Iron ores of the Northern Aral Sea region]. – Moscow : USSR Academy of Sciences, 1959. – 446 p.
- 2 **Slipchenko, B. V.** O dvux geneticheskix tipax oolitovy`x zhelezny`x rud Lisakovskogo mestorozhdeniya (Severnýj Kazaxstan) [About two genetic types of oolitic iron ores of the Lisakovsky deposit (Northern Kazakhstan)] // Geological Journal. – 1981. – Vol. 41. – № 6. – P. 53–61.

3 **Bekmukhametov, A. E., Bilyalov, B. D.** Metallogeniya e`kzogenny`x rud zheleza Torgajskogo progiba perspektivy` promy`shlennogo osvoeniya ix Lisakovskim GOK [Metallogeny of exogenous iron ores of the Torgai trough, prospects for their industrial development by the Lisakovsky Mining and Processing Plant]. – Almaty : Scientific Research Center «Gylym», – 2003. – 366 p.

4 **E`riksson, M., Lyof, A., Lyof O.** Obzor mirovogo ry`nka zheleznoj rudy` za 2019-2020 gody` [Review of the world iron ore market for 2019-2020] // Mining industry. – 2021. – № 1. – P. 74 – 82. – <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-74-82>.

5 **Yaniczkij, A. L.** Oligocenovy`e oolitovy`e zhelezny`e rudy` Severnogo Turgaya i ix genesis [Oligocene oolitic iron ores of Northern Turgai and their genesis]. – Moscow : Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1960. – 220 p.

6 **Muxtar, A. A., Nuskabekov, Zh. S., Momynbekov, A. D. Korovushkin, V. V.** Obzhigmagnitnoe obogashhenie burozheleznyakovoj rudy` Abailskogo mestorozhdeniya [Roasting and magnetic enrichment of brown iron ore of the Abail deposit] // Ore enrichment. – 2015. – № 4. – P. 13–16. – <https://doi.org/10.17580/or.2015.04.03>.

7 **Zainullin, L. A., Karelin, V. G., Epishin, A. Yu., Artov, D. A.** Enhancement of Pyro-Hydrometallurgical Technology of Dephosphorization of Brown Iron Ore of the Lisakovsk Field by Hot Leaching Method //METALLURGIST. – 2020. – Vol. 64. Issue 5–6. – P. 522–525. – <https://doi.org/10.1007/s11015-020-01022-8>.

8 **Mukhtar, A. A., Mukhymbekova, M. K., Makashev, A. S., Savin, V. N.** Thermomagnetic enrichment and dephosphorization of brown iron ore and concentrates // Steel in Translation. – 2018. – No. 9. – P. 553–557. – <https://doi.org/10.3103/S0967091218090103>.

9 **Wang, H. H., Li, G. Q., Zhao, D., Mab, J. H., Yang, J.** Dephosphorization of high phosphorus oolitic hematite by acid leaching and the leaching kinetics // Hydrometallurgy. – 2017. – Vol. 171. – P. 61–68.

10 **Muxtar, A. A., Bekturganov, N. S., Korovushkin, V. V., Verner, I. A.** Issledovanie produktov obzhiga burozheleznyakovy`x koncentratov metodami YaGRS i termomagnitnogo analiza [Study of the products of roasting brown iron ore concentrates using the methods of YaGRS and thermomagnetic analysis] // Ore beneficiation. – 2011. – № 3. – P. 28–30.

Поступило в редакцию 08.02.24.

Поступило с исправлениями 10.02.24.

Принято в печать 20.02.2024.

*А. А. Мухтар,<sup>1</sup> А. С. Макашев,<sup>1</sup> \*Б. К. Касымова<sup>1</sup>,  
М. М. Атахан<sup>2</sup>, Е. В. Кочегина<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Ж.Әбішев атындағы Химико-металлургиялық институт,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.;

<sup>2</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.;

<sup>3</sup>Академик Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

08.02.24 ж. баспаға түсті.

10.02.24 ж. түзетулерімен түсті.

20.02.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

**МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ӨНДЕУГЕ БУРЫЛ ТЕМІР КОНЦЕНТРАТЫН  
ТЕРМОХИМИЯЛЫҚ ДАЙЫНДАУ ҮРДІСІ БАРЫСЫНДА  
ҚҰРАМЫНДАҒЫ АЛЮМИНИЙ ОКСИДІНІҢ  
АУЫТҚУЫН ЗЕРТТЕУ**

*Мақала бастапқы шикізаттың химиялық құрамымен: Fe – 48 %, 68; P–0,70 %; SiO<sub>2</sub>–12,03 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–4,53 %, SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> қажетті қатынасы бар өнімді алу мақсатында концентратты металлургиялық өңдеуге термохимиялық дайындау кезінде Лисаковск бурыл темір концентратындағы (ЛГМК) алюминий оксиді құрамының өзгеруін зерттеуге арналған.*

*ЛГМК сынамасын талдау кезінде термиялық, рентгендік фазалық талдауды, сондай-ақ микроскопиялық зерттеуді қамтитын әртүрлі әдістер қолданылды. Тәжірибелер құрғақ магнитті бөлу, күйдіру және шаймалау үрдістерінің біріктірілген байыту сұлбасын қамтыды.*

*Күйдірілген өнімдерді шаймалау бес деңгейлі төрт факторлы экспериментті математикалық жоспарлау әдісімен жүзеге асырылады: температура, °C; уақыт, мин; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> концентрациясы %; сұйықтықтың қаттыға қатынасы, (C:Қ). шаймалау процесінде алюминий оксидін максималды бөліп алудың оңтайлы шарттары анықталды: температура - 25° C, күкірт қышқылының концентрациясы – 5 % және сұйық пен қатты қатынасы – 6/1.*

*Белгіленген оңтайлы режимдер мен шаймалау процесінің ұзақтығы 30 минут болған кезде күйдірілген ЛГМК-дан төменгі құрамдағы кондициялық темір кені концентраты, темір – 64,00 %, фосфор – 0,15 %, кремнезем – 4,19 %, алюминий оксиді – 2,38 % SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1,76 болатын өнім ірілендірілген зертханалық жағдайда алынды.*

*Кілтті сөздер: бурыл темір кен концентраты, алюминий оксиді, термохимиялық дайындау, шаймалау, эксперименттерді жоспарлау.*

**A. A. Mukhtar,<sup>1</sup> A. S. Makashev<sup>1</sup>, \*B. K. Kasymova<sup>1</sup>,  
M. M. Atakhan<sup>2</sup>, E. V. Kochergina<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Chemical and Metallurgical Institute named after J. Abishev,  
Republic of Kazakhstan, Karaganda;

<sup>2</sup>Karaganda Technical University named after Abylks Saginov  
Republic of Kazakhstan, Karaganda;

<sup>3</sup>Karaganda University named after academician E. A. Buketov  
Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Received 08.02.24.

Received in revised form 10.02.24.

Accepted for publication 20.02.24.

---

**THE STUDY OF THE BEHAVIOR OF ALUMINUM OXIDE  
IN THE PROCESS OF THERMOCHEMICAL PREPARATION  
OF BROWN LIMESTONE CONCENTRATE FOR  
METALLURGICAL PROCESSING**

*The article is dedicated to the study of changes in the content of aluminum oxide in the Lisakovsk brown iron ore concentrate (LSMC) with the chemical composition of the initial product: Fe – 48.68 %; P – 0.70 %; SiO<sub>2</sub> – 12.03 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4.53 %, during the thermochemical preparation of the concentrate for metallurgical conversion with the aim of obtaining a concentrate with the necessary SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ratio.*

*In the analysis of the (LSMC) sample, various methods were applied, including thermal, X-ray phase analysis, as well as microscopic examination. The experiments included combined enrichment schemes: dry magnetic separation, roasting, and leaching.*

*Leaching of the roasted products was conducted using a four-factor experimental design with five levels: temperature, °C; time, min; concentration of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in %; liquid to solid ratio (L:S) optimal conditions for maximizing the extraction of aluminum oxide during leaching were determined to be: temperature – 25°C, sulfuric acid concentration – 5 %, and liquid to solid ratio – 6/1.*

*Under scaled-up laboratory conditions at the established optimal regimes and with a leaching process duration of 30 minutes, a conditioned iron ore concentrate was obtained from the roasted LSMC with the following composition: iron – 64.00 %, phosphorus – 0.15 %, silica – 4.19 %, aluminum oxide – 2.38 % with a SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ratio of 1.76.*

*Keywords: brown iron ore concentrate, aluminum oxide, thermochemical preparation, leaching, experimental planning.*

Теруге 18.03.24 ж. жіберілді. Басуға 29.03.24 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 14,79. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4203

«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

e-mail: nitk.tou.edu.kz

www.stk.tou.edu.kz