

ISSN 2518-170X (Online),
ISSN 2224-5278 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ГЕОЛОГИЯ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР
СЕРИЯСЫ



СЕРИЯ
ГЕОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



SERIES
OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

4 (424)

ШІЛДЕ – ТАМЫЗ 2017 ж.
ИЮЛЬ – АВГУСТ 2017 г.
JULY – AUGUST 2017

ЖУРНАЛ 1940 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1940 г.
THE JOURNAL WAS FOUNDED IN 1940.

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р ы

э. ғ. д., профессор, ҚР ҰҒА академигі

И.К. Бейсембетов

Бас редакторының орынбасары

Жолтаев Г.Ж. проф., геол.-мин. ғ. докторы

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Абаканов Т.Д. проф. (Қазақстан)
Абишева З.С. проф., академик (Қазақстан)
Алиев Т. проф., академик (Әзірбайжан)
Бакиров А.Б. проф., (Қырғыстан)
Беспәев Х.А. проф. (Қазақстан)
Бишимбаев В.К. проф., академик (Қазақстан)
Буктуков Н.С. проф., академик (Қазақстан)
Булат А.Ф. проф., академик (Украина)
Ганиев И.Н. проф., академик (Тәжікстан)
Грэвис Р.М. проф. (АҚШ)
Ерғалиев Г.Х. проф., академик (Қазақстан)
Жуков Н.М. проф. (Қазақстан)
Кенжалиев Б.К. проф. (Қазақстан)
Қожахметов С.М. проф., академик (Қазақстан)
Конторович А.Э. проф., академик (Ресей)
Курскеев А.К. проф., академик (Қазақстан)
Курчавов А.М. проф., (Ресей)
Медеу А.Р. проф., академик (Қазақстан)
Мұхамеджанов М.А. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Нигматова С.А. проф. (Қазақстан)
Оздоев С.М. проф., академик (Қазақстан)
Постолатий В. проф., академик (Молдова)
Ракишев Б.Р. проф., академик (Қазақстан)
Сейтов Н.С. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Сейтмуратова Э.Ю. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Степанец В.Г. проф., (Германия)
Хамфери Дж.Д. проф. (АҚШ)
Штейнер М. проф. (Германия)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология мен техникалық ғылымдар сериясы».

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).

Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде 30.04.2010 ж. берілген №10892-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18, <http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2017

Редакцияның Қазақстан, 050010, Алматы қ., Қабанбай батыра көш., 69а.

мекенжайы: Қ. И. Сәтбаев атындағы геология ғылымдар институты, 334 бөлме. Тел.: 291-59-38.

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Г л а в н ы й р е д а к т о р
д. э. н., профессор, академик НАН РК

И. К. Бейсембетов

Заместитель главного редактора

Жолтаев Г.Ж. проф., доктор геол.-мин. наук

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

Абаканов Т.Д. проф. (Казахстан)
Абишева З.С. проф., академик (Казахстан)
Алиев Т. проф., академик (Азербайджан)
Бакиров А.Б. проф., (Кыргызстан)
Беспаяев Х.А. проф. (Казахстан)
Бишимбаев В.К. проф., академик (Казахстан)
Буктуков Н.С. проф., академик (Казахстан)
Булат А.Ф. проф., академик (Украина)
Ганиев И.Н. проф., академик (Таджикистан)
Грэвис Р.М. проф. (США)
Ергалиев Г.Х. проф., академик (Казахстан)
Жуков Н.М. проф. (Казахстан)
Кенжалиев Б.К. проф. (Казахстан)
Кожаметов С.М. проф., академик (Казахстан)
Конторович А.Э. проф., академик (Россия)
Курскеев А.К. проф., академик (Казахстан)
Курчавов А.М. проф., (Россия)
Медеу А.Р. проф., академик (Казахстан)
Мухамеджанов М.А. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Нигматова С.А. проф. (Казахстан)
Оздоев С.М. проф., академик (Казахстан)
Постолатий В. проф., академик (Молдова)
Ракишев Б.Р. проф., академик (Казахстан)
Сейтов Н.С. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Сейтмуратова Э.Ю. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Степанец В.Г. проф., (Германия)
Хамфери Дж.Д. проф. (США)
Штейнер М. проф. (Германия)

«Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук».

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №10892-Ж, выданное 30.04.2010 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

<http://наука-нанрк.kz/geology-technical.kz>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2017

Адрес редакции: Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а.

Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, комната 334. Тел.: 291-59-38.

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

E d i t o r i n c h i e f

doctor of Economics, professor, academician of NAS RK

I. K. Beisembetov

Deputy editor in chief

Zholtayev G.Zh. prof., dr. geol-min. sc.

E d i t o r i a l b o a r d:

Abakanov T.D. prof. (Kazakhstan)
Abisheva Z.S. prof., academician (Kazakhstan)
Aliyev T. prof., academician (Azerbaijan)
Bakirov A.B. prof., (Kyrgyzstan)
Bespayev Kh.A. prof. (Kazakhstan)
Bishimbayev V.K. prof., academician (Kazakhstan)
Buktukov N.S. prof., academician (Kazakhstan)
Bulat A.F. prof., academician (Ukraine)
Ganiyev I.N. prof., academician (Tadjikistan)
Gravis R.M. prof. (USA)
Yergaliev G.Kh. prof., academician (Kazakhstan)
Zhukov N.M. prof. (Kazakhstan)
Kenzhaliyev B.K. prof. (Kazakhstan)
Kozhakhmetov S.M. prof., academician (Kazakhstan)
Kontorovich A.Ye. prof., academician (Russia)
Kurskeyev A.K. prof., academician (Kazakhstan)
Kurchavov A.M. prof., (Russia)
Medeu A.R. prof., academician (Kazakhstan)
Muhamedzhanov M.A. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Nigmatova S.A. prof. (Kazakhstan)
Ozdoyev S.M. prof., academician (Kazakhstan)
Postolatii V. prof., academician (Moldova)
Rakishev B.R. prof., academician (Kazakhstan)
Seitov N.S. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Seitmuratova Ye.U. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Stepanets V.G. prof., (Germany)
Humphery G.D. prof. (USA)
Steiner M. prof. (Germany)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences.

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 10892-Ж, issued 30.04.2010

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
<http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2017

Editorial address: Institute of Geological Sciences named after K.I. Satpayev
69a, Kabanbai batyr str., of. 334, Almaty, 050010, Kazakhstan, tel.: 291-59-38.

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 177 – 183

V. M. Shevko¹, D. K. Aytkulov², B. B. Atamkulov³, K. S. Izbaskhanov⁴, M. A. Naimanbaev⁵

¹South-Kazakhstan state university named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan,

²I. Satpaev Institute of Geological Sciences, Almaty, Kazakhstan,

³Ministry of Defense and Aerospace Industry of the Republic Kazakhstan, Astana, Kazakhstan,

⁴JSC "Tau-Ken Samruk", Astana, Kazakhstan,

⁵JSC "Institute of Metallurgy and Enrichment", Almaty, Kazakhstan.

E-mail: shevkovm@mail.ru, dos.ait.58@mail.ru

**COMPLEX ELECTROTHERMIC PROCESSING
OF THE POOR OXIDE ORE OF THE ACHISAY DEPOSIT**

Abstract. In view of the obvious shortcomings in the waelz processing of oxide ores (significant coke consumption, long duration, formation of a clinker, irrationality of ore processing with $\leq 5\%$ Zn), the problem in zinc metallurgy is the complex processing of poor oxide ores.

In the article are given results of researches on processing of poor carbonate ore of Achishai deposit containing 3.2-5.5% Zn. The research were carried out using the thermodynamic modeling method using the HSC-5.1 (based on the principle of minimum Gibbs energy) software package and the electric melting in an arc furnace. It was found that the equilibrium interaction of ore with carbon is characterized by the formation of FeSi ($T \geq 1500^\circ \text{C}$), Si ($T \geq 1600^\circ \text{C}$), calcium carbide ($T \geq 1800^\circ \text{C}$) and Zn gas ($T \geq 800^\circ \text{C}$); The equilibrium degree of extraction of silicon from ore into the alloy at 87-94% is observed at 1900-2100 °C, calcium in CaC₂-72-77.2% at 2000-2100 °C, zinc in gas 95-99.9% at 1700-2100 °C, Ca in CaC₂-72-77.2% at 2000-2100 °C, Zn in gas 95-99.9% at 1700-2100 °C. Electric melting of ore in a mixture with coke allows obtaining a ferroalloy with a content of 12-19% Si and calcium carbide with a displacement of 210-260 l/kg; In the presence of quartzite, the Si content in the alloy increases to 32-33%, the carbide in carbide in this case is 150-190 l/kg. The degree of extraction of zinc in sublimation at electric melting was 97-99%. The proposed method for processing oxide zinc ore allows us to extract not only Zn, Pb Cd, but also Fe, Si, Ca. Thus, the degree of integrated use of raw materials is significantly increased.

Key words: poor oxide ores, recovery, thermodynamic modeling, electric smelting, ferroalloy, calcium carbide, zinc sublimes.

УДК 669.052

В. М. Шевко¹, Д. К. Айткулов², Б. Б. Атамкулов³, К. С. Избасханов⁴, М. А. Найманбаев⁵

¹Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

²Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

³Министерство оборонной и аэрокосмической промышленности РК, Астана, Казахстан,

⁴АО «Тау-Кен Самрук», Астана, Казахстан,

⁵АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан

**КОМПЛЕКСНАЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА
БЕДНОЙ ОКСИДНОЙ РУДЫ АЧИСАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

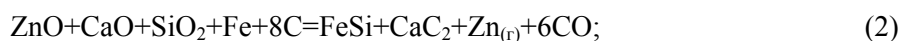
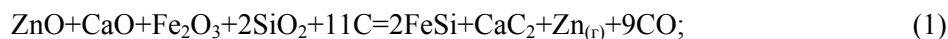
Аннотация. В виду очевидных недостатков вельцевания оксидных руд (значительный расход кокса, большая продолжительность, образование отвального клинкера, нерациональность переработки руды с $\leq 5\%$ Zn) проблемой в металлургии цинка является комплексная переработка бедных оксидных руд. В статью приводятся результаты исследований по переработке бедной карбонатной руды месторождения Ачисай,

содержащей 3,2-5,5%Zn восстановительно-возгоночной плавкой. Исследования проведены методом термодинамического моделирования с использованием программного комплекса HSC-5.1 (основанного на принципе минимума энергии Гиббса) и электроплавкой в дуговой печи. Найдено, что равновесное взаимодействие руды с углеродом характеризуется образованием FeSi ($T \geq 1500$ °C), кремния ($T \geq 1600$ °C), карбида кальция ($T \geq 1800$ °C) и газообразного цинка ($T \geq 800$ °C); Равновесная степень извлечения кремния из руды в сплав на уровне 87-94% отмечается при 1900-2100°C, кальция в карбид кальция-72-77,2% при 2000-2100 °C, цинка в газ 95-99,9% при 1700-2100°C. Электроплавка руды в смеси с коксом позволяет получить ферросплав с содержанием 12-19% Si и карбид кальция литражом 210-260 л/кг; в присутствии кварцита содержание Si в сплаве возрастает до 32-33%, литраж карбида при этом составляет 150-190 л/кг. Степень извлечения цинка в возгоны при электроплавке составила 97-99%. Предлагаемый способ переработки оксидной цинковой руды позволяет извлечь в продукцию не только цинк, свинец, кадмий, но также и железо, кремний, кальций. Тем самым значительно повышается степень комплексного использования сырья.

Ключевые слова: бедные оксидные руды, восстановление, термодинамическое моделирование, электроплавка, ферросплав, карбид кальция, цинковые возгоны.

При добыче шахтным способом оксидной цинксоодержащей руды Ачисайского месторождения в отвалы было складировано более 1 млн.т. некондиционной руды с невысоким содержанием цинка. Основным методом переработки оксидных цинксоодержащих руд является вельцевание, которое проводится во вращающихся печах в присутствии 46-49% кокса от массы руды (или смеси руды и шлака) [1]. Несмотря на довольно высокое извлечение металлов из сырья (93-94 % Zn, 96-98%Pb) и опубликованные изобретения, позволяющие улучшить технико-экономические показатели процесса вельцевания [2-3], этот метод характеризуется большей продолжительностью (2-3 ч), образованием отхода - клинкера, выход которого составляет 51-59% от массы шихты. С клинкером кроме этого теряется до 15-30% кокса [1]. Вельцеванием экономически нецелесообразным становится переработка сырья с содержанием $Zn < 5\%$ [1, 4-6]. Гидрометаллургические методы (например, выщелачивание раствором серной кислоты) позволяет извлечь цинк до 90%. Однако при этом формируется отвальный кек [7-11].

В статье приводятся результаты исследований комплексной переработки бедной Ачисайской руды (БАР) с низким содержанием Zn на основе нового способа, позволяющего получать, в соответствии с [12], из руды ферросплав, карбид кальция с одновременной отгонкой цинка, в соответствии с реакциями:



которые с термодинамической точки зрения становятся возможны соответственно при температуре 1452 и 1664К.

Методика. Сырье. Термодинамическое моделирование взаимодействия бедной руды месторождения Ачисай проводилось с использованием программного комплекса HSC-5.1, разработанного финской металлургической компанией Outokumpu [13]. Разработчики программного комплекса HSC-5.1 Chemistry (Outokumpu) основывались на идеологии консорциума SGTE (Scientific Group Thermodata Europe), которая занимается созданием, поддержкой и распространением высококачественных баз данных, предназначенных для расчета равновесного состава химически реагирующих систем. В состав SGTE входят специализированные научные центры Германии, Канады, Франции, Швеции, Великобритании и США. В нашей работе для расчета энергии Гиббса использовали подпрограмму ReactionEquations, а для полного термодинамического анализа - подпрограмму EquilibriumCompositions комплекса HSC-5.1. Расчет равновесия в комплексе HSC-5.1 производится на основе принципа минимума энергии Гиббса исходя из выражения:

$$G(x) = \sum_{a=1}^f * \sum_{j=1}^{ia} X_j (C_j + \ln \left(\frac{X_j}{x_a} \right) + \ln \gamma_j) \rightarrow G(x) \min, \quad (3)$$

при ограничениях в виде системы линейных уравнений баланса массы вещества:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} X_j = b_i, \quad (4)$$

и условия нормировки:

$$\sum_{j=1}^{La} X_j = X_a, \quad (5)$$

где f - общее число фаз системы; B_i - общее число независимого компонента i в системе; j_a - масса чисел, по независимых компонентов в фазе a системы; n - число независимых компонентов системы; C_j - эмпирическая термодинамическая функция; X_a - общее число молей фазы a в системе; $\frac{X_j}{X_a}$ - мольная доля зависимого j компонента в фазе a ; Y_j - коэффициент активности j компонента. Параметры равновесия термодинамической системы определяются решением математической задачи о нахождении экстремума с учетом всех ограничений с использованием функций Лангранжа и метода последовательных приближений Ньютона. В отличие от программного комплекса «Астра» используемый нами комплекс HSC-5.1 обладает базой данных примерно в 3 раза больше, чем база данных комплекса «Астара» [14-16].

При работе с комплексом HSC – 5.1 получаемая информация представляется в виде количественного (кг) распределения веществ в исследуемой системе. Затем, на основе этой информации, определялась равновесная степень элемента ($\alpha_{эл}$, %) по продуктам взаимодействия.

При моделировании количество углерода рассчитывалось исходя из полного восстановления кремния, железа, цинка, содержавшихся в БАР (бедная Ачисайская руда).

Электроплавку шихты, содержащую цинковую руду проводили в одноэлектродной дуговой печи. Перед проведением плавки в печь устанавливали графитовый тигель ($d=6\text{см}$, $h=15\text{см}$) и проводили разогрев его дугой в течение 20-25 мин. Затем в печь загружали первую порцию шихты (200 г). Проплавляли ее в течение 5-6 мин, после чего в печь загружали оставшуюся часть шихты (200 г) и проплавляли ее в течение 25-30 мин. В период плавки сила тока составляла 250-300А, напряжение 45-50В. После электроплавки печь охлаждалась в течение 6 часов. Графитовый тигель извлекали из печи и разбивали. Шлак и ферросплав взвешивали и анализировали на Zn, Fe, Si и Ca. Содержание Si в сплаве (C_{Si} , %) определяли исходя из плотности сплава (Π , г/см^3) по формулам [17]:

$$C_{Si}=690,679-545,783\times\Pi+166,151\times\Pi^2-17,467\times\Pi^3 \text{ (при } \Pi=3,52-6,09 \text{ г/см}^3\text{);} \quad (7)$$

$$C_{Si}=130,878-21,232\times\Pi+0,859\times\Pi^2 \text{ (при } \Pi=6,09-7,859 \text{ г/см}^3\text{);} \quad (8)$$

Для анализа исходного сырья и ферросплава использовали растровый электронный микроскоп марки JSM-6490LM (Япония).

Качество получаемого карбида кальция определялось его литражом, т.е. количеством ацетилена, выделившимся при взаимодействии карбида кальция с водой [18]. Литраж полученного карбида кальция (L , л/кг) определялся по формуле [19]:

$$L = \frac{(p-p_1) \times 273 \times V}{(273+t) \times 760 \times G} \quad (9)$$

где p и p_1 – атмосферное давление и упругость паров воды во время опыта мм, рт.ст.; V – объем выделившегося ацетилена, мл; G – навеска карбида кальция, г; t – температура, °С; L – литраж карбида кальция, л/кг.

Содержание CaC_2 в техническом карбиде кальция (C_{CaC_2} , %) определено по формуле:

$$C_{\text{CaC}_2} = (L/372) \times 100. \quad (10)$$

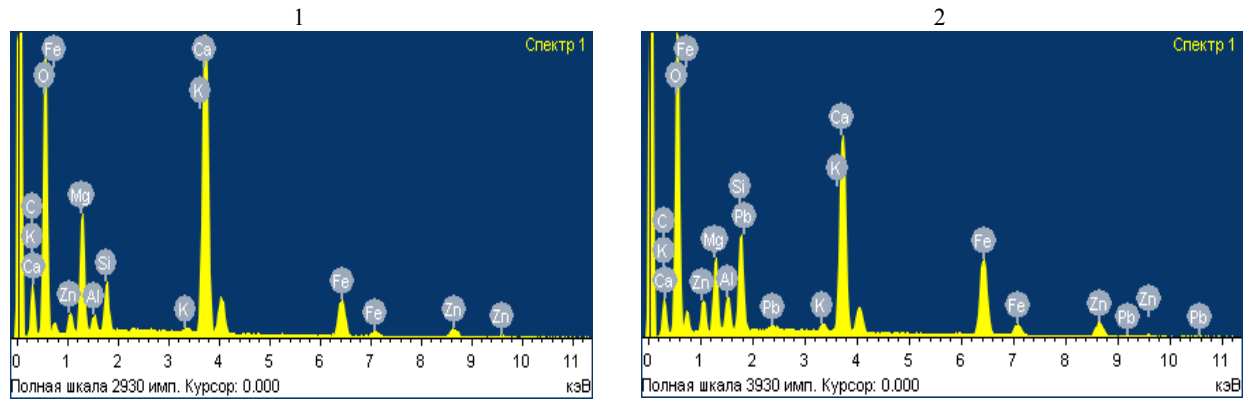
где 372 - количество литров ацетилена, выделяющегося из 100% карбида кальция при 20 °С и давлении 760 мм.рт.ст.

Исследования проводились с использованием БАР, содержащей 3,26-5,56 %Zn, 3,9-8,8% SiO_2 , 17,26-25,57% CaO . Растровый электронно-микроскопический анализ двух проб БАР приведен на рисунке 1.

Термодинамическим моделированием найдено, что в системе БАР-углерод во взаимодействии, в зависимости от температуры принимают участие 12 веществ: FeSi , FeSi_2 , Fe_3Si , Fe_3Si_3 , CaSiO_3 , Al_2SiO_5 , MgSiO_3 , Si , CaC_2 , Ca , CO , CO_2 . На рисунке 2 дана информация о количественном распределении кремния, кальция и цинка в рассматриваемой системе.

Из рисунка 2 следует, что начало образования FeSi наблюдается при 1500 °С, кремния – при 1600 °С, карбида кальция – при 1800 °С, а газообразного Zn - при 800 °С. Наблюдаемое снижение образования CaC_2 при $T > 2100$ °С объясняется разложением его по реакции [20]:





3

| Содержание, % | C | O | Mg | Al | Si | Fe | K | Ca | Zn | Pb |
|---------------|-------|-------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|
| Проба №1 | 15,57 | 47,61 | 6,32 | 0,73 | 1,82 | 6,24 | 0,20 | 18,26 | 3,26 | — |
| Проба №2 | 13,78 | 43,84 | 4,25 | 1,60 | 4,11 | 13,50 | 0,40 | 12,33 | 5,56 | 0,64 |

Рисунок 1 – Растрово-электронномикроскопический анализ оксидной бедной руды месторождения Ачисай: 1, 2 – качественный анализ, 3 – количественный анализ

Figure 1 – Raster-electron microscopic analysis of oxide poor ore the Achisay deposit: 1, 2 – qualitative analysis, 3 – quantitative analysis

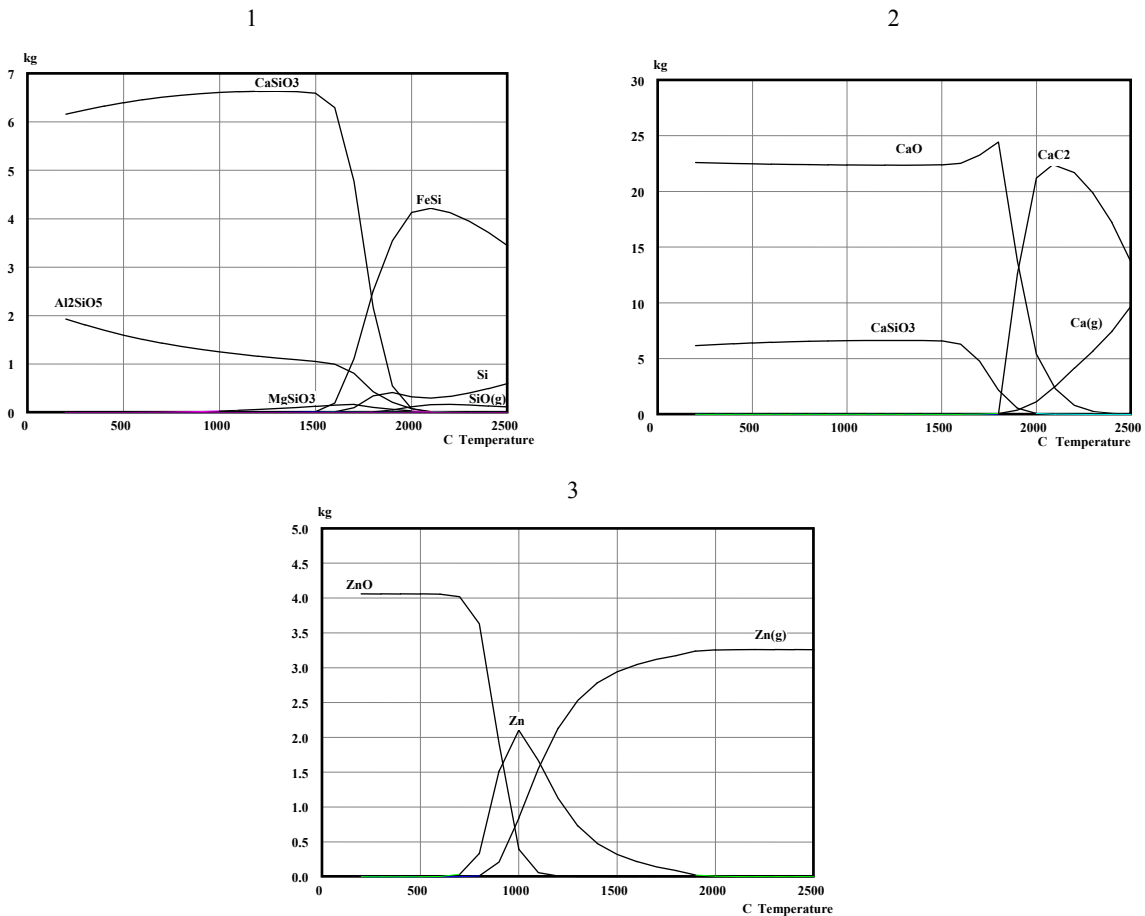


Рисунок 2 – Влияние температуры на количественное распределение веществ, содержащих кремний, кальций, цинк, свинец в системе бедная Ачисайская руда-углерод. Вещества, содержащие: 1 – кремний, 2 – кальций, 3 – цинк

Figure 2 – The effect of temperature on the quantitative distribution of substances containing silicon, calcium, zinc, lead in the poor Achisay ore-carbon system. Substances containing: 1 – silicon, 2 – calcium, 3 – zinc

На основании количественного распределения элементов рассчитана степень извлечения из руды кремния в ферросплав, кальция в CaC_2 , цинка в газообразное состояние (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние температуры на степень извлечения (α , %) элементов из бедной руды месторождения Ачисай

Table 1 – Effect of temperature on the degree of recovery(α , %) of elements from the poor ore of the Achisay deposit

| α , % | Температура, °С | | | | | | | |
|--------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1500 | 1600 | 1700 | 1800 | 1900 | 2000 | 2100 | 2300 |
| Si в сплав | 0,32 | 4,24 | 25,89 | 64,90 | 87,67 | 93,56 | 94,06 | 94,67 |
| Ca в карбид | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 43,16 | 72,08 | 77,2 | 67,71 |
| Zn в газ | 90,71 | 93,25 | 95,73 | 97,20 | 99,31 | 99,72 | 99,97 | 99,98 |

Из таблицы 1 видно, что извлечение кремния в сплав (87-94%) отмечается в температурной области 1900-2100 °С, кальция в CaC_2 (72-77,2%) при 2000-2100 °С, цинка в газ (97-99,9%) в температурной области 1800-2100 °С. Концентрация Si в сплаве при 1900-2100 °С составляет 22,8-24,1 %, а Ca в техническом карбиде кальция от 32,3% (T=1900 °С) до 66,7% (T=2200 °С), а его литраж от 119,8 л/кг (T=1900 °С) до 248,1 л/кг (T=2200°С).

Исходя из термодинамического моделирования следует, что комплексная переработка руды (по температурному признаку) будет сдерживаться образованием карбида кальция.

В таблице 2 показаны результаты экспериментальных электроплавов руды с различным содержанием коксовой мелочи.

Из таблицы 2 следует, что в зависимости от количества кокса литраж полученного карбида кальция изменяется от 210 до 260 л/кг, а содержание кремния в сплаве возрастает от 12 до 19%.

Таблица 2 – Влияние кокса (G_k) на литраж (L) карбида кальция и содержание кремния в сплаве (C_{Si})

Table 2 – Effect of coke(G_k) on the capacity(L)of the calcium carbide and the silicon content in the alloy(C_{Si})

| G_k , % от массы руды | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
|-------------------------|-----|-----|-----|------|-----|
| L, л/кг | 210 | 248 | 260 | 250 | 230 |
| C_{Si} , % | 12 | 16 | 19 | 18,3 | 19 |

Для увеличения содержания кремния в сплаве было исследовано влияние количества добавленного к Ачисайской руде кварцита. Кроме того для улучшения извлечения кремния в шихту ввели 10% стальной стружки от массы руды. Количество кокса при плавках вводилось в шихту из расчета 110% от теоретически необходимого для восстановления Zn, Fe, Ca и Zn. В таблице 3 приведены полученные результаты из которой видно, что образующийся ферросплав содержит 18-32% Si (фотография сплава с 24,6%Si представлена на рисунке 3). Причем при увеличении количества кварцита литраж карбида снижается от 190 до 152 л/кг.

Таблица 3 – Влияние кварцита ($G_{кв}$) на литраж карбида кальция и содержание кремния в сплаве

Table 3 – The effect of quartzite($G_{кв}$) on the capacity of the calcium carbide carbide and the silicon content in the alloy

| $G_{кв}$, % от массы руды | 5 | 7 | 10 | 15 | 20 | 30 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|-----|
| L, л/кг | 190 | 186 | 180 | 163 | 152 | 110 |
| C_{Si} , % | 18,1 | 21,0 | 24,6 | 28,9 | 32,0 | 33 |

Рисунок 3 –
Фотография полученного ферросплава
(фрагмент)

Figure 3 –
Photo of the obtained ferroalloy (fragment)



При увеличении количества кварцита до 30% литраж карбида снизился до 110 л/кг, а C_{Si} увеличилась только до 33%. Поэтому из руды с низким содержанием Zn целесообразно получать ферросплав с содержанием кремния 21-29% и карбид литражом 152-190 л/кг. При получении более качественного карбида литражом 210-280 л/кг, сплав содержит 12-19% Si. Независимо от состава шихты степень извлечения цинка из руды в возгоны составляет 97-99%.

Предлагаемый способ переработки оксидной цинковой руды позволяет извлечь в продукцию не только Zn, PbCd, но также и Fe, Si, Ca. Тем самым значительно повышается степень комплексного использования сырья.

На основании полученных результатов по электроплавке бедных Ачисайский руд можно сделать следующие выводы:

- равновесное взаимодействие руды с углеродом характеризуется образованием FeSi ($T \geq 1500$ °C), Si ($T \geq 1600$ °C), карбида кальция ($T \geq 1800$ °C) и газообразного Zn ($T \geq 800$ °C); Степень извлечения Si из руды в сплав на уровне 87-94% отмечается при 1900-2100 °C, Ca в CaC_2 -72-77,2% при 2000-2100 °C, Zn в газ 95-99,9% при 1700-2100 °C.

- электроплавка руды в смеси с коксом позволяет получить ферросплав с содержанием 12-19% Si и карбид кальция литражом 210-260 л/кг; в присутствии кварцита содержание Si в сплаве возрастает до 32-33%, литраж карбида при этом составляет 150-190 л/кг.

- степень извлечения цинка в возгоны при электроплавке составила 97-99%.

REFERENCES

- [1] Abdeev MA, Kolesnikov AV, Ushakov NN (1989) Waelz process of zinc-containing materials [Velcevaniecink soderzhashhihmaterialov]. Moscow, Metallurgy. (In Russian)
- [2] Gizatulin OV, Ivakin DA, Kazanbaev LA, Kozlov PA, Kolesnikov AV (2006) Charging material for waelz process of zinc-containing materials [Shihtadljavelcevanijacinksoderzhashhihmaterialov]. Patent of the Russian Federation [Patent RossijskojFederacii]. (In Russian)
- [3] Kozlov PA, Panshin AM, Shakirzyanov RM, Zatonsky AV, Leontiev LI, Reshetnikov Yu V, Dyubanov VG, Degtyarev A M, Ivakin D A (2014) Method of waelz process of oxidized zinc-containing materials [Sposob vel'cevanija oksislennyh cinksoderzhashhihmaterialov]. Patent of the Russian Federation [Patent RossijskojFederacii]. (In Russian)
- [4] Romanteev Yu P, Fedorov AN, Bystrov SV (2006) Metallurgy of zinc and cadmium [Metallurgijacinka i kadmija]. Moscow, Moscow Institute of Steel and Alloys State Technological University. (In Russian)
- [5] Zaitsev V Ya, Margulis EV (1985) Metallurgy of lead and zinc [Metallurgijasvinca i cinka]. Moscow, Metallurgy. (In Russian)
- [6] Shevko VM, Karataeva GE (2015) Metallurgy of zinc and cadmium [Metallurgijacinka i kadmija]. Shymkent, South Kazakhstan State University. M. Auezova. (In Russian)
- [7] Kazanbaev LA, Kozlov PA, Kubasov VL (2007) Hydrometallurgy of zinc. Leaching processes [Gidrometallurgijacinka. Processy vyshhelachivaniya]. Moscow, Ore and metals. (In Russian)
- [8] Bykov RA, Ramazanova RA, Wang E Yu, Gray NV, Mamyachenkov SV (2017) Method of processing of oxidized zinc ore [Sposob pererabotki oksislennoj cinkovoj rudy]. Patent for utility model of the Republic of Kazakhstan [Patent napoleznuju model Respubliki Kazakhstan]. (In Russian)
- [9] Ramazanova RA, Seraya NV, Bykov RA, Mamyachenkov SV (2016) Optimization of processing technology for oxidized zinc containing ores [Optimizacijatehnologii pererabotki oksislennyh cinksoderzhashhih rud]. Ust-Kamenogorsk, Vestnik of EKSTU. p: 46-55. (In Russian)
- [10] Ramazanova R A, Seraya NV, Bykov RA, Mamyachenkov SV, Anisimova OS (2016) Features of Shaimerden deposit Oxidized zinc ore leaching. Metallurgist, p: 629-634
- [11] Mamyachenkov SV, Ramazanova RA, Bykov RA, Seraya NV (2016). Evaluation of the process of sulfuric acid leaching of zinc from refractory oxidized zinc ore from the point of view of mathematical modeling [Ocenka processa sernokislotnogo vyshhelachivaniya cinka iz trudnoobogatimoj oksislennoj cinkovoj rudy s pozicij matematicheskogo modelirovaniya]. Complex use of mineral raw materials [Kompleksnoe ispolzovanie mineral'nyh syr'ja], p: 63-66 (In Russian)
- [12] Shevko VM, Bishimbaev VK, Serzhanov GM, Kolenikov AS, Tuleev MA (2012) Method of processing of oxide zinc-containing ore [Sposob pererabotki oksidnoj cinksoderzhashhej rudy]. Patent of the Republic of Kazakhstan [Patent Respubliki Kazakhstan]. (In Russian)
- [13] Roine A (2002) Outokumpu HSS Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium software with Extensive Thermochemical Database. Pori: Outokumpu Research OY
- [14] Trusov BG (1991) Modeling of chemical and phase equilibria at high temperatures [Modelirovanie himicheskikh i fazovyh ravnovesij pri vysokih temperaturah]. Moscow, Moscow State University. (In Russian)
- [15] Sinyarev GB, Vatolin NA (1982) Computer applications for thermodynamic calculations of metallurgical processes [Primenenie jeVM dlja termodinamicheskikh raschetov metallurgicheskikh processov]. Moscow, The science. (In Russian)
- [16] Trusov BG (1984) Thermodynamic method of analysis of high-temperature states and processes and its practical implementation [Termodinamicheskij metod analizavysokotemperaturnyh sostojanij i processov i ego prakticheskaja realizacija]. Moscow. (In Russian)

[17] Shevko VM, Amanov DD, Karataeva GE, Aitkulov DK (2016). Obtaining a complex ferroalloy from silica clay contained silicon and aluminum. Complex use of mineral raw materials, p:39-45.

[18] Ershov VA, DantsisYa B, Reutovich LN (1974) Production of calcium carbide [Proizvodstvokarbidakalcija]. Leningrad: Chemistry [Leningrad, Himija]. (In Russian)

[19] Kozlov KB, Lavrov BA (2011) Calcium carbide production in an arc furnace and its analysis [Poluchenie karbida kal'cija v dugovojpechi i ego analiz]. Saint Petersburg, St. Petersburg State Technological Institute (technical university) [Sankt-Peterburgskij, Sankt-Peterburgskijgosudarstvennyjtehnologicheskijinstitut(tehnicheskijuniversitet)]. (In Russian)

[20] DantsisYa B, Ershov VA, Zhilov GM (1984) Electrothermal processes of chemical technology [Jelektrotermicheskie processy himicheskojtehnologii] Leningrad: Chemistry [Leningrad, Himija]. (In Russian)

В. М. Шевко¹, Д. К. Айткулов², Б. Б. Атамкулов³, К. С. Избасханов⁴, М. А. Найманбаев⁵

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан,

²Қ. И. Сәтбаев атындағы Геология ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан,

³Қ. И. Сәтбаев атындағы Геологиялық ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан,

⁴АҚ «Тау-Кен Самұрық», Астана, Қазақстан,

⁵АҚ "Металлургия және кен байыту институты", Алматы, Қазақстан

АШЫСАЙ КЕН ОРНЫНЫҢ КЕДЕЙ ОКСИДТІ КЕНДЕРІН КЕШКНДІ ЭЛЕКТРОТЕРМИЯЛЫҚ ҚАЙТА ӨНДЕУ

Аннотация. Оксидті кендерді вельцтеудің негізгі кемшіліктеріне байланысты (кокстың едәуір шығыны, үйінді клинкердің түзілісі, $\leq 5\%Zn$ -пен кендерді қайта өндеудің тиімсіздігі) мырыш металлургиясындағы мәселе кедей оксидті кендерді кешенді қайта өндеу болып табылады.

Мақалада тотықсыздандыра-айдаумен балқыту арқылы $3,2-5,5\%Zn$ құрайтын Ащысай кен орындарының кедей карбонатты кендерін қайта өндеу бойынша зерттеу нәтижелері келтіріледі. Зерттеу доғалы пеште электрлі балқытумен және Гиббс энергиясының минимумды принципіне негізделген HSC-5.1 бағдарламалы кешенін пайдалану арқылы термодинамикалық моделдеу әдісімен жүргізілген. Кендердің көміртегімен біртекті әрекеттесуі FeSi ($T \geq 1500^\circ C$), Si ($T \geq 1600^\circ C$), кальций карбидінің ($T \geq 1800^\circ C$) және газ тәрізді Zn ($T \geq 800^\circ C$) түзілісімен сипатталатыны анықталды; 87-94% деңгейінде қорытпаға кеннен кремнийді бөліп алудың біртекті дәрежесі $1900-2100^\circ C$ кезінде, $CaC_2-72-77,2\%$ -ге кальцийді бөліп алу $2000-2100^\circ C$ кезінде, мырышты $95-99,9\%$ газға бөліп алу $1700-2100^\circ C$ кезінде байқалады. Кендерді кокспен қорытпада электрлі балқыту литражбен кальций карбидінің $210-260$ л/кг және $12-19\%$ Si мөлшерімен ферроқорытпаны алуға мүмкіндік береді; кварциттің қатысуында қорытпада Si мөлшері $32-33\%$ дейін артады, бұл кезде карбид литражы $150-190$ л/кг құрайды. Электрлі балқыту кезінде айдандыларға мырышты бөліп алу дәрежесі $97-99\%$ құрайды. Оксидті мырышты кендерді қайта өндеудің ұсынылған әдісі өнімге мырышты ғана месе, сондай-ақ, қорғасын, кадмий, темір, кремний және кальцийді бөліп алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, шикізатты кешенді қолдану дәрежесі едәуір артады.

Түйін сөздер: кедей оксидті кендер, тотықсызданду, термодинамикалық моделдеу, электрлі балқыту, ферроқорытпа, кальций карбиді, мырышты айдандылар.

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print)

<http://geolog-technical.kz/index.php/kz/>

Верстка Д. Н. Калкабековой

Подписано в печать 11.07.2017.

Формат 70x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

18,2 п.л. Тираж 300. Заказ 4.