

Victor M. Shevko¹, Gulnara E. Karataeva², Mustafa A. Tuleev³,
Boris A. Lavrov⁴В.М. Шевко¹, Г.Е. Каратаева², М.А. Тулеев³, Б.А. Лавров⁴

KINETICS OF EXTRACTION OF SILICON, CALCIUM, AND ZINC IN MELTING OF ORE OF ACHISAY DEPOSIT

M. Auezov South Kazakhstan State University, Tauke Khan avenue, 5, Shymkent city, 160012, Republic of Kazakhstan
St Petersburg State Institute of Technology (Technical University), Moskovsky Pr., 26, St Petersburg, 190013, Russia
e-mail: ba_lavrov@mail.ru

One of promising directions in metallurgy is combining several processes in one aggregate. The article presents results of the study of kinetics of silicon, calcium and zinc extraction into ferroalloy, technical calcium carbide and zinc sublimates, respectively, during melting of the Achisay ore (Republic of Kazakhstan) in a mixture with coke in the Tamman furnace. It has been established that during 60 minutes the extraction of 88% of silicon into the alloy is observed at 1900°C, 75.6% of calcium is extracted into carbide at 1850°C, and 99.6% of zinc is recovered into sublimates at 1900°C. The extraction of silicon into the alloy and calcium into calcium carbide is restrained by kinetic factors, and the extraction of zinc into sublimates is restrained by diffusive factors.

Key words: Achisay ore, reduction, kinetics, ferroalloy, calcium carbide, zinc.

КИНЕТИКА ИЗВЛЕЧЕНИЯ КРЕМНИЯ, КАЛЬЦИЯ, ЦИНКА ПРИ ПЛАВКЕ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЧИСАЙ

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, пр. Тауке Хан, 5, Шымкент, 160012, Республика Казахстан
Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Московский пр. 26, Санкт-Петербург, 190013, Россия. e-mail: ba_lavrov@mail.ru

Одним из перспективных направлений в металлургии является организация совмещения нескольких процессов в одном агрегате. В статье приводятся результаты исследования кинетики извлечения кремния, кальция и цинка соответственно в ферросплав, технический карбид кальция и цинковые возгоны при плавке Ачисайской руды (Республика Казахстан) в смеси с коксом в печи Таммана. Установлено, что за 60 минут извлечение 88% кремния в сплав наблюдается при 1900°C, 75,6% кальция в карбид при 1850°C, 99,6% цинка в возгоны извлекается при 1900°C. Извлечение кремния в сплав и кальция в карбид кальция сдерживается кинетическими факторами, а цинка в возгоны - диффузионными.

Ключевые слова: руда Ачисай, восстановление, кинетика, ферросплав, карбид кальция, цинк.

Введение

По данным USGeologicalSurvey [1] мировые идентифицированные и доступные для добычи запасы цинка на Земле составляют 250 млн. т. При этом от 5 до 8 % цинка (12,5-20 млн.т.) располагается на поверхности месторождений в так называемых оксидных рудах [1, 2], для которых в настоящее время не найден рациональный метод обогащения. Поэтому оксидные цинксодержащие руды в мировой металлургической практике перерабатывались преимущественно дистилляционными методами (США, Германия, Россия, Япония, Канада, Польша, Казахстан, Италия, Англия), электроплавкой, Стерлинг-процессом и вельцеванием [3-6]. Несмотря на то, что дистилляционные методы, электроплавка и вельцевание постоянно совершенствуются (например, вельцевание [7-9]) и обеспечивают извлечение цинка из руд от 87 до 93 %, эти методы характеризуются низким коэффициентом использования сырья и сопряжены с образованием большого количества отходов (клинкер, раймовка, шлак). Достаточно отметить, что на 1 т руды при вельцевании образуется до 0,85 т отвального клинкера. Поэтому сейчас только в п. Ачисай (ЮКО) накопилось около 4,5 млн. т. клинкера, в который из руды переходит все железо и нерудные составляющие (кремний, кальций, алюминий, магний и др.) и до 30 % углерода. А между тем железо и нерудные составляющие оксидных цинксодержащих руд могут стать

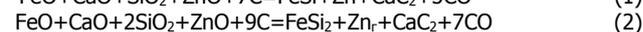
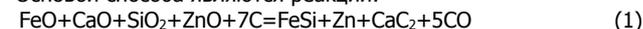
дополнительным сырьевым источником для получения востребованной продукции. Для этого объективной необходимой и приоритетной идеологией становится принцип перехода от сырья отраслевого к единому технологическому сырью, который предусматривает создание инновационных технологий получения из сырья не одного, а множества продуктов [10, 11].

Целью настоящей работы было определение температурных интервалов, в которых наиболее полно осуществляется выделение из расплава руды целевых компонентов и сплавов.

Методы исследования

Нами впервые в практике переработки оксидных цинксодержащих руд предложена их комплексная переработка, заключающаяся в одновременном получении из руды в руднотермической электропечи кремнийсодержащих ферросплавов и карбида кальция с отгонкой восстанавливаемого цинка в газовую фазу [12].

Основой способа являются реакции:



Предварительный расчет ΔG (по программе HSC-5.1 [13]) позволил установить, что температура начала этих реакции (по $\Delta G_r^0 = 0$) составляет соответственно 1601,4 и 1713,8 К (таблица 1)

1. Шевко Виктор Михайлович, д-р техн. наук, профессор, каф. металлургии, ЮКГУ им. Ауэзова, e-mail v_shevko@mail.ru; Victor M. Shevko, Dr Sci. (Eng.), Professor, Department of Metallurgy, M.Auezov South Kazakhstan State University
2. Каратаева Гульнара Ергешовна, канд. техн. наук, зав. каф. металлургии, ЮКГУ им. Ауэзова, e-mail: karataevage@mail.ru; Gulnara E. Karataeva, Ph.D (Eng.), Head of the Department of Metallurgy, M.Auezov South Kazakhstan State University
3. Тулеев Мустафа Азатович, магистрант, каф. металлургии, ЮКГУ им. Ауэзова; Mustafa A. Tuleev, graduate student, Department of Metallurgy, M.Auezov South Kazakhstan State University
4. Лавров Борис Александрович, д-р техн. наук, профессор, каф. общей химической технологии и катализа, СПбГТИ(ТУ), e-mail: ba_lavrov@mail.ru; Boris A. Lavrov, Dr Sci. (Eng.), Professor, Department of General Chemical Technology and Catalysis, St Petersburg State Institute of Technology (Technical University)

Дата поступления – 18 октября 2017 года

Таблица 1. Влияние температуры на ΔG_T° (кДж) реакций совместного углетермического восстановления оксидов

Номер реакции	Температура, К								Тн*, К
	500	700	900	1100	1300	1600	1700	1800	
1	1009,1	823,7	637,2	453,0	271,1	1,4	-87,71	-179,3	1601,4
2	1519,5	1263,6	1007,8	755,5	506,7	137,9	16,8	-103,2	1713,8

Примечание: *) Тн - температура начала реакции, К

Термодинамическое моделирование проведено при помощи комплекса HSC-5.1 [13], основанного на принципе минимума энергии Гиббса. Исследования проводили на печи Таммана. Контроль температуры проводился термпарой ВР-5/20. Для определения температуры в тигле предварительно была найдена зависимость между ней (пирометр ОПИР-17) и температурой в нижней части печи (термопара ВР-5/20). Графитовый тигель с шихтой опускался в печь (на графитовую подставку) и выдерживался в ней определенной время. Затем стальным крючком зацепляли поперечную балочку тигля и извлекали из печи. Тигель после охлаждения разбивался. Продукты после плавки шихты в печи Таммана взвешивались и анализировались: ферросплав на содержание кремния и цветных металлов, карбид кальция на содержание карбида кальция. Было установлено, что с заметной скоростью реакции идут при температурах выше 1700 °С. Содержание кремния в сплаве (C_{Si}) определялось через его плотность [14] по формулам:

$$\text{при плотности от } 2,33 \text{ до } 3,52 \text{ г/см}^3 \\ C_{Si} = 690,679 - 545,783 \cdot \Pi + 166,151 \cdot \Pi^2 - 17,467 \cdot \Pi^3; \quad (3)$$

$$\text{при плотности от } 3,52 \text{ до } 6,09 \text{ г/см}^3: \\ C_{Si} = 130,878 - 2,232 \cdot \Pi + 0,859 \cdot \Pi^2; \quad (4)$$

$$\text{при плотности от } 6,09 \text{ до } 7,859 \text{ г/см}^3: \\ C_{Si} = 3755,875 - 1,524 \cdot \Pi + 208,0 \cdot \Pi^2 - 9,515 \cdot \Pi^3; \quad (5)$$

Содержание цинка в сплаве и карбиде определялось растровым электронным микроскопом марки JSC-6490LV (Япония). Содержание карбида кальция в техническом карбиде кальция определяли через его литраж по формуле:

$$C_{CaC_2} = (L/372) \cdot 100, \quad (6)$$

где 372 - количество литров ацетилена, выделяющегося при разложении водой 1кг чистого карбида кальция при 20 °С и давлении 760 мм.рт.ст; L-литраж карбида кальция, определяемый по методике [15]. Степень извлечения Са в карбид кальция (α_{Ca} , %) рассчитывалась по формуле:

$$\alpha_{Ca} = \frac{C_{CaC_2} \cdot \frac{A_{Ca}}{M_{CaC_2}} \cdot G_{кк}}{C_{Ca} \cdot G_{ш}} \cdot 100 \quad (7)$$

где C_{Ca} и C_{CaC_2} , соответственно, концентрация Са в шихте и концентрация CaC_2 в карбиде кальция, %; $G_{ш}$, $G_{кк}$ - соответственно масса шихты и масса карбида кальция.

Степень извлечения цинка в возгоны определялась по формуле:

$$\alpha_{Zn(r)} = \frac{G_p \cdot C_{Zn(p)} - G_{спл} \cdot C_{Zn(спл)} - G_{кк} \cdot C_{Zn(кк)}}{G_p \cdot C_{Zn(p)}}, \quad (8)$$

где G_p , $G_{спл}$, $G_{кк}$ - масса руды, сплава карбида кальция, г; $C_{Zn(p)}$, $C_{Zn(спл)}$, $C_{Zn(кк)}$ - содержание Zn в руде, сплаве и карбиде кальция.

В работе использовали оксидную руду месторождения Ачисай (Республика Казахстан), которая содержала 11,5 % ZnO; 0,8 % PbO; 0,1 % CdO; 19,8 % FeO; 23,6 % CaO; 5,9 % SiO₂; 4,6 % Al₂O₃; 8,3 % MgO; 0,2 % S; 1,3 % H₂O; 20,3 % CO₂; 0,8 % прочие. Предварительно руду обжигали в муфельной печи при 900-950 °С в течение 90 мин. После обжига содержание компонентов в руде составило: 17,9 % ZnO; 1,0 % PbO; 0,1 % CdO; 24,8 % FeO;

29,5 % CaO; 7,3 % SiO₂; 5,7 % Al₂O₃; 10,4 % MgO; 0,2 % S; 2,1 % CO₂; 1,0 % прочие. Восстановителем являлся кокс, который после сушки при 250 °С содержал 86,0 % С, 11,5 % золы, 0,8 % S, 1,1 % H₂O, 0,6 % летучих. Шихтовые компоненты после термообработки дробились и отсеивались. В опытах использовали фракцию кокса 2-3 мм, руды 2-5 мм. Масса шихты каждого опыта равнялась 100-120 г.

Обработка полученных данных проводилась уравнением [16]:

$$\alpha = 1 - \exp[-k \cdot \tau^n]; \quad (9)$$

и его дифференциальной формой:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = V = n \cdot k^{\frac{1}{n}} [-\ln(1 - \alpha)]^{1 - \frac{1}{n}} \cdot (1 - \alpha); \quad (10)$$

где, V - скорость, доли 1/мин; α - степень извлечения, доли 1; k, n - эмпирические коэффициенты; τ - время, мин.

Для определения значений "n" и "k" использовали логарифмический вид уравнения (4)

$$\ln[-\ln(1 - \alpha)] = \ln k + n \cdot \ln \tau.$$

Затем строили график в координатах $\ln[-\ln(1 - \alpha)] = f(\ln \tau)$. По tgφ наклона прямых к оси абсцисс определяли параметр "n", а параметр $\ln k$ определяли при условии $\ln \tau = 0$. По значению $\ln k$ затем определяли параметр "k". После этого находили зависимости $n=f(\tau)$ и $k=f(\tau)$, и $\alpha=f(\tau, \tau)$ и $V=f(\tau, \tau)$. По значению скорости для одной степени извлечения в соответствии с [17] определялась «кажущаяся» энергия активации ($E_{каж}$):

$$E_{каж} = \left(\Delta \lg V / \Delta \frac{1}{T} \right) \cdot R \cdot 2,3; \quad (11)$$

где $\Delta \lg V$ - логарифм изменения скорости в интервале $\Delta \frac{1}{T}$ при постоянном значении α .

Кроме этого, в отдельных случаях, $E_{каж}$ определялась методом трансформации кинетических кривых [18]:

$$E_{каж} = \left(\Delta \lg \alpha / \Delta \frac{1}{T} \right) \cdot R \cdot 2,3; \quad (12)$$

где $\Delta \lg \alpha$ - логарифм изменения коэффициента трансформации (α) в интервале $\Delta \frac{1}{T}$ для определенного уровня протекания процесса.

На рисунке приведена картина влияния температуры и времени на степень извлечения кремния в сплав, кальция в карбид кальция и цинка в возгоны.

Из приведенного материала следует, что в температурном интервале 1700-1900°С степень извлечения Са в карбид кальция не превышает 80 %. (Например, 75,6 % при 1850 °С в течение 60 мин). Кремний в сплав на уровне 80-88 % извлекается при 1900°С за 30-60 мин. Наибольшей степенью извлечения обладает процесс перехода цинка в возгоны (99,6-99,9 % при 1900 °С за 30-60 мин). В цинковых рудах всегда присутствует некоторое количество свинца. Необходимо отметить, что при 1900°С степень извлечения свинца в возгоны составила 90,9 % за 30 мин и 99,1 % за 60 мин.

После обработки кинетических результатов уравнениями (9 и 10) были получены следующие зависимости $V=f(T, \alpha)$ (таблица 2):

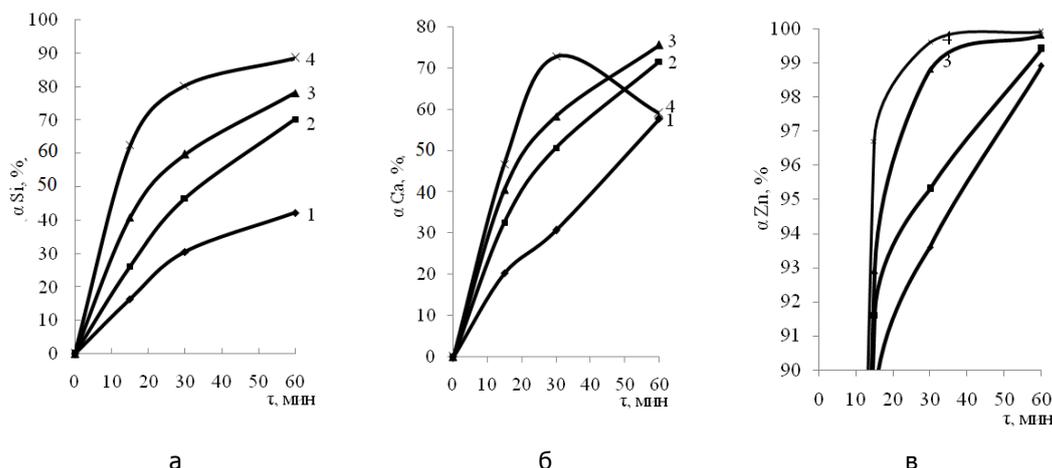


Рисунок. Влияние температуры на степень извлечения кремния в сплав и кальция в карбид кальция: 1 – 1700 °С, 2 – 1800 °С, 3 – 1850 °С, 4 – 1900 °С

Таблица 2 Уравнения $V=f(T, \alpha)$ для Si, Ca, Zn

Эл-т	Уравнение $V=f(T, \alpha)$
Si	$V_{Si} = \frac{(-26,86 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + 95,41 \cdot 10^{-3} \cdot T - 83,75) \cdot (21,11 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 - 11,29 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 2,012 \cdot T - 1194,73)}{(1-\alpha) \cdot [-\ln(1-\alpha)]^{1 - \frac{1}{-26,86 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + 95,41 \cdot 10^{-3} \cdot T - 83,75}}}$
Ca	$V_{Ca} = \frac{(19,1 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 68,27 \cdot 10^{-3} \cdot T + 61,82) \cdot (-17,36 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 + 63,56 \cdot 10^{-4} \cdot T - 5,77)}{(1-\alpha) \cdot [-\ln(1-\alpha)]^{1 - \frac{1}{19,1 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 68,27 \cdot 10^{-3} \cdot T + 61,82}}}$
Zn	$V_{Zn} = \frac{(23,1 \cdot 10^{-9} \cdot T^3 - 14,1 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 28,34 \cdot 10^{-2} \cdot T - 187,26) \cdot (18,01 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 - 94,47 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 1,65 \cdot T - 959,15)}{(1-\alpha) \cdot [-\ln(1-\alpha)]^{1 - \frac{1}{23,1 \cdot 10^{-9} \cdot T^3 - 14,1 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 28,34 \cdot 10^{-2} \cdot T - 187,26}}}$

Из зависимости $\lg V = f(1/T)$ найдено, что $E_{каж}$ извлечения кремния в сплав для $\alpha = 50\%$ составляет 325 кДж. Близкое к этому значению (340 кДж для $\alpha_{Si}=50\%$) найдена $E_{каж}$ методом трансформации кинетических кривых. Степень развития процесса перехода Zn в возгоны практически не влияет на $E_{каж}$. Так, для 20 % она составляет 15кДж, а для 50%-13 кДж. $E_{каж}$ извлечения кальция в карбид кальция, определенная методом трансформации кинетических кривых, для 50 % уровня составляет 236 кДж. Исходя из значений $E_{каж}$ можно предположить что процессы извлечения кремния в сплав и кальция в карбид кальция при плавке руды месторождения Ачисай протекают в кинетическом режиме, а цинка в возгоны- в диффузионном [18].

Выводы

На основании полученных результатов по кинетике извлечения кремния в сплав, кальция в карбид кальция, цинка в возгоны при плавке руды месторождения Ачисай можно сделать следующие выводы:

- извлечение кремния в сплав на уровне 80-88 % можно достичь при 1900 °С в течение 30-60 мин; степень извлечения кальция в карбид при 1850 °С за 60 мин. составляет - 75,6 %, а цинка в возгоны при 1900 °С 99,6-99,9 % за 30-60 мин;
- извлечение кремния в сплав и кальция в карбид кальция сдерживается кинетическими факторами, а цинка в возгоны - диффузионными.

Литература

1. Мировые товарные рынки: URL:<http://www.cmmarket.ru/> (Дата обращения: 18.05.2015).
2. Горжевский Д.И., Шабаршов П.Я. Минерально-сырьевая база свинцовоцинковой промышленности зарубежных стран в 1961-1980 гг. и перспективы её развития до 2000 г.-М.: [б. и.], 1982. - 63 с.
3. Романтеев Ю.П., Федоров Л.Н., Быстров С.В. Металлургия цинка и кадмия. - М.: МиСиС, 2006. - 193с.
4. Уткин Н.И. Производство цветных металлов. - М.: Интермет инжиниринг, 2004.- 442с.
5. Шевко В.М., Каратаева Г.Е. Металлургия цинка и кадмия. - Шымкент: ЮКГУ, 2015. - 350 с.
6. Абдеев М.А., Колесников А.В., Ушаков Н.Н. Вельцевание цинк-свинцовосодержащих материалов. - М.: Металлургия, 1985. - 120с.
7. Козлов П.А., Панышин А.М., Затонский Александр В. [и др.]. Шихта для вельцевания цинксвинцовосодержащих материалов: пат. 2509815 Рос. Федерация. № 2012132621/02; заявл. 31.07.2012; опубл. 20.03.2014.Бюл. №8.
8. Мизин В.Г., Сперкач И.Е., Самсиков Е.А. [и др.]. Способ переработки железозинксоодержащих материалов: пат. 2329312 Рос. Федерация. № 2006107028/02; заявл. 06.03.2006; опубл. 20.07.2008. Бюл. № 20.
9. Казанбаев Л.А., Козлов П.А., Колесников А.В. Шихта для вельцевания цинксоодержащих материалов: пат. 2284361 Рос. Федерация. № 2005107160/02; заявл. 14.03.2005; опубл. 27.09.2006. Бюл. 27.

10. *Шевко В.М., Сержанов Г.М., Каратаева Г.Е., Утеева Р.А.* Выплавка ферросплавов с применением некоксуемых углей и отходов их добычи. Шымкент: ЮКГУ, 2015. 237 с.

11. *Бишимбаев В.К., Шевко В.М.* Единое технологическое сырье-будущее энергосбережения // Труды междунар. научно-практ. конф. «Перспективные направления альтернативной энергетики и энергосберегающие технологии»; Шымкент, Казахстан. 27-28 мая 2010 года. Шымкент: ЮКГУ им. М. Ауезова, 2010. Т №2. С. 212-214.

12. *Шевко В.М., Бишимбаев В.К., Сержанов Г.М., Колесников А.С., Тулеев М.А.* Способ переработки оксидной цинксодержащей руд: инновационный пат. 26393 Республика Казахстан. Оpubl. 30.10.2012.

13. *Roine A.* Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium software with Extensive Thermochemical Database, Pori: Outokumpu Research OY. 2002

14. *Шевко В.М., Аманов Д.Д., Каратаева Г.Е., Айткуллов Д.К.* Кинетика получения комплексного ферросплава из кремний-алюминийсодержащей опоки // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 10-2. С. 194-196.

15. *Козлов К.Б., Лавров Б.А.* Получение карбида кальция в дуговой печи и его анализ. СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2011. 24 с.

16. *Ванюков А.В., Зайцев В.Я.* Теория пирометаллургических процессов. - М.: Metallurgija, 1973. 504 с.

17. *Бектурганов Н.С., Абишев Д.Н.* Комплексное использование оксидного сырья тяжелых цветных металлов. Алма-Ата: Наука, 1989. 211 с.

18. *Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г.* Курс химической кинетики. М.: Высшая школа, 1984. 463 с.

6. *Abdeev M.A., Kolesnikov A.V., Ushakov N.N.* Vel'cevanie cink-svinecsoderzhashhih materialov. - M.: Metallurgija, 1985. - 120s.

7. *Kozlov P.A., Pan'shin A.M., Zaton'skij Aleksandr V. [i dr.].* Shihta dlja vel'cevanija cinksvinecolovosoderzhashhih materialov: pat. 2509815 Ros. Federacija. № 2012132621/02; zajavl. 31.07.2012; opubl. 20.03.2014. Bjul. №8.

8. *Mizin V.G., Sperkach I.E., Samsikov E.A. [i dr.].* Sposob pererabotki zhelezocinksoderzhashhih materialov: pat. 2329312 Ros. Federacija. № 2006107028/02; zajavl. 06.03.2006; opubl. 20.07.2008. Bjul. № 20.

9. *Kazanbaev L.A., Kozlov P.A., Kolesnikov A.V.* Shihta dlja vel'cevanija cinksoderzhashhih materialov: pat. 2284361 Ros. Federacija. № 2005107160/02; zajavl. 14.03.2005; opubl. 27.09.2006. Bjul. 27.

10. *Шевко В.М., Сержанов Г.М., Каратаева Г.Е., Утеева Р.А.* Выплавка ферросплавов с применением некоксуемых углей и отходов их добычи. Шымкент: ЮКГУ, 2015. 237 с.

11. *Бишимбаев В.К., Шевко В.М.* Единое технологическое сырье-будущее энергосбережения // Труды междунар. научно-практ. конф. «Перспективные направления альтернативной энергетики и энергосберегающие технологии»; Шымкент, Казахстан. 27-28 мая 2010 года. Шымкент: ЮКГУ им. М. Ауезова, 2010. Т №2. С. 212-214.

12. *Шевко В.М., Бишимбаев В.К., Сержанов Г.М., Колесников А.С., Тулеев М.А.* Способ переработки оксидной цинксодержащей руд: инновационный пат. 26393 Республика Казахстан. Оpubl. 30.10.2012.

13. *Roine A.* Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium software with Extensive Thermochemical Database, Pori: Outokumpu Research OY. 2002

14. *Шевко В.М., Аманов Д.Д., Каратаева Г.Е., Айткуллов Д.К.* Кинетика получения комплексного ферросплава из кремний-алюминийсодержащей опоки // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 10-2. С. 194-196.

15. *Козлов К.Б., Лавров Б.А.* Получение карбида кальция в дуговой печи и его анализ. СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2011. 24 с.

16. *Ванюков А.В., Зайцев В.Я.* Теория пирометаллургических процессов. - М.: Metallurgija, 1973. 504 с.

17. *Бектурганов Н.С., Абишев Д.Н.* Комплексное использование оксидного сырья тяжелых цветных металлов. Алма-Ата: Наука, 1989. 211 с.

18. *Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г.* Курс химической кинетики. М.: Высшая школа, 1984. 463 с.

References

1. *Mirovye tovarnye rynki:* URL:<http://www.cmmarket.ru/> (Data obrashhenija: 18.05.2015).

2. *Gorzhevskij D.I., Shabarshov P.Ja.* Mineral'no-syr'evaja baza svincovocinkovoj promyshlennosti zarubezhnyh stran v 1961-1980 gg. i perspektivy ejo razvitiya do 2000 g. - M.: [b. i.], 1982. - 63 s.

3. *Romanteev Ju.P., Fedorov L.N., Bystrov S.V.* Metallurgija cinka i kadmija. - M.: MiSiS, 2006. - 193s.

4. *Utkin N.I.* Proizvodstvo cvetnyh metallov. - M.: Internet inzhiniring, 2004.- 442s.

5. *Шевко В.М., Каратаева Г.Е.* Metallurgija cinka i kadmija. - Shymkent: JuKGU, 2015. - 350 s.