

tant. Solvent extraction technology of local processing of technogenic ammonia solutions has been developed, tested in pilot and industrial scale and adopted for implementation. Recovery of rhenium from solutions containing up to 8 - 10 g/dm<sup>3</sup> of rhenium and 15 - 70 mg/dm<sup>3</sup> of osmium into organic phase is 98.9 %, from extract - 99.3%.

**Keywords:** ammoniac technogenic solutions, inorganic acids, rhenium, neutralization, precipitates, solvent extraction, technology

Поступила 27.09.2013.

УДК 669.168

Комплексное использование  
минерального сырья. № 3. 2013.

В.М. ШЕВКО, Г.М. СЕРЖАНОВ\*, Г.Е. КАРАТАЕВА, А.Д. БАДИКОВА

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, \*gsm\_ask@mail.ru

### СОВМЕСТНАЯ ХЛОРИДОВОЗГОНКА Cu, Zn, Pb ИЗ СУЛЬФИДОВ В ПРИСУТСТВИИ FeS

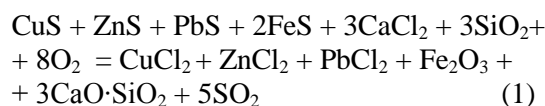
В статье приведены результаты исследований совместного хлорирования сульфидов Cu, Zn, Pb, Fe в присутствии хлорида кальция. Исследования проводились методом термодинамического моделирования с использованием программного комплекса HSC- 5.1 финской металлургической программы Outokumpu, позволяющего определить равновесную степень распределения элементов системы по продуктам взаимодействия в зависимости от температуры, давления и соотношения компонентов в исходной системе. Определены условия, при которых наблюдается максимальная хлоридовозгонка цветных металлов и минимальная хлоридов железа. Определено равновесное химическое уравнение взаимодействия в системе. Найдено, что высокая (> 90%) степень хлоридовозгонки Cu, Zn и Pb наблюдается при давлении 0,1 МПа и  $T \geq 1010-1280^{\circ}\text{C}$ . Однако при этом становится заметной степень хлоридовозгонки Fe (3,2 - 13,4%). Уменьшение количества  $\text{CaCl}_2$  до 80% от ТНК позволяет уменьшить степень хлоридовозгонки Fe до 1,44% при  $1000^{\circ}\text{C}$  с уменьшением степени хлоридовозгонки Cu до 89,4 а Zn – до 77,9%. Снизить степень хлоридовозгонки Fe < 0,4% можно при  $1100^{\circ}\text{C}$ , если хлорирование проводить в присутствии паров воды (1% от массы сульфидов Cu, Fe, Zn); при этом степень хлоридовозгонки Cu не превышает 90, а Zn - 82%. Низкую степень хлоридовозгонки Fe (0,11 - 0,33%) и высокую Cu (95,9 - 99,9%), Pb (99,8-99,9%) и Zn (85,4 – 86,2%) можно достичь в присутствии паров воды при 900 -  $1100^{\circ}\text{C}$  посредством уменьшения давления до 0,1 МПа.

**Ключевые слова:** сульфиды меди, цинка, свинца, железа, хлоридовозгонка металлов, термодинамическое моделирование, комплекс HSC- 5.1 программы Outokumpu

**Введение.** Для переработки сульфидного полиметаллического сырья методом химического обогащения может стать хлоридовозгоночный обжиг, позволяющий при температуре >  $1000^{\circ}\text{C}$  прохлорировать цветные металлы и перевести их в газообразное состояние [1-5]. В настоящей статье приводятся результаты исследований совместного хлорирования сульфидов Cu, Zn, Pb, Fe в присутствии хлорида кальция.

**Методика эксперимента.** Исследования проводились методом термодинамического моделирования с использованием программного комплекса HSC- 5.1 финской металлургической программы Outokumpu, основанного на фундаментальном принципе глобальной минимизации энергии Гиббса [6].

В качестве базовой (прогнозируемой) рассматривалась реакция:



Исследования проводили в присутствии  $\text{SiO}_2$  в связи с тем, что этот оксид в значительных количествах присутствует в рудах, хвостах обогащения [7,8]. Полученные при помощи программы Outokumpu данные свидетельствуют о том, что в рассматриваемой системе в температурном интервале  $700-1500^{\circ}\text{C}$  при давлении 0,1 МПа во взаимодействии принимают участие следующие вещества в конденсированном и газообразном состояниях:

CuS, Cu<sub>2</sub>S, CuO, Cu<sub>2</sub>O, CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>, CuCl, CuCl<sub>2</sub>, CuCl (g), Cu<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub>(g), Cu<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>(g), Cu<sub>4</sub>Cl<sub>4</sub>(g), Cu<sub>5</sub>Cl<sub>5</sub>(g), ZnS, ZnO, ZnSO<sub>4</sub>, ZnSiO<sub>3</sub>, ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub>(g), PbS, PbO, PbSO<sub>4</sub>, PbSiO<sub>3</sub>, PbO<sub>2</sub>, PbCl<sub>2</sub>(g), FeS, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, FeSO<sub>4</sub>, FeCl<sub>2</sub>, FeCl<sub>3</sub>, FeCl<sub>2</sub> (g), FeCl<sub>3</sub> (g), CaCl<sub>2</sub>, CaO, CaSiO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>, CaS, CaFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>(g), Cl<sub>2</sub>(g), H<sub>2</sub>O(g), SO<sub>2</sub>(g), HCl (g), H<sub>2</sub>S(g).

Целевым назначением хлоридовозгонного обжига является выявление условий, обеспечивающих максимальное извлечение Cu, Zn, Pb и минимальное - Fe в газообразные хлориды.

**Обсуждение результатов.** На рисунке 1-I приведена информация о влиянии температуры на степень перехода ( $\alpha_{\text{хл}}$ ) Cu, Zn, Pb и Fe в газообразные хлориды. Из нее следует, что при низких температурах (700-900°C) первоначально хлоридовозгонке подвергается цинк (51,4% при 800°C), затем свинец (22,1% при 800°C) и медь (1,1% при 800°C). Железо при этом в газовую фазу переходит не более 0,3%. Высокая (>90%)  $\alpha_{\text{хл}}$  наблюдается для меди при  $T \geq 1280^\circ\text{C}$ , Zn  $\geq 1100^\circ\text{C}$ , Pb  $\geq 1010^\circ\text{C}$ . При этом становится заметной  $\alpha_{\text{хл}}$  Fe (в виде FeCl<sub>2</sub> и FeCl<sub>3</sub>), составляющая при 1010°C 3,2% и 13,4% при 1280°C. При увеличении температуры до 1500°C  $\alpha_{\text{хл}}$  Pb возрастает до 99,8%, Cu - 97,3% и Zn - 94,8%. Однако при этом и  $\alpha_{\text{хл}}$  Fe увеличивается до 20,4%. Исходя из полученных результатов следует, что при  $T > 900^\circ\text{C}$  взаимодействие в системе CuS - ZnS - PbS - 2FeS - 3CaCl<sub>2</sub> - 3CaO - 8O<sub>2</sub> не описывается уравнением (1): оно сопряжено с образованием заметного количества FeCl<sub>2</sub> и FeCl<sub>3</sub>, вследствие этого достижение по-

ставленной цели не обеспечивается.

Уменьшение CaCl<sub>2</sub> до 90% от теоретически необходимого количества (ТНК) по реакции 1 приводит к уменьшению  $\alpha_{\text{хл}}$  Fe (рисунок 1-II). Для условия  $\alpha_{\text{хл}}$  цветных металлов равно 90% (1180°C),  $\alpha_{\text{хл}}$  Fe составляет 6,8%. Дальнейшее уменьшение CaCl<sub>2</sub> до 80% от ТНК также уменьшает  $\alpha_{\text{хл}}$  Fe. Так, при 1000°C  $\alpha_{\text{хл}}$  Fe равно 1,44%. Однако при этом  $\alpha_{\text{хл}}$  Zn не превышает 78% (рисунок 1-III).

Уменьшить  $\alpha_{\text{хл}}$  Fe можно, если хлоридовозгонку проводить в присутствии паров воды [9,10]. Так, при 1100°C и 1% H<sub>2</sub>O от массы сульфидов  $\alpha_{\text{хл}}$  Fe составляет 0,39% (рисунок 2). Однако  $\alpha_{\text{хл}}$  Zn при этом уменьшается до 81,2, а  $\alpha_{\text{хл}}$  Cu - до 89,4%. При большем количестве H<sub>2</sub>O наблюдается уменьшение  $\alpha_{\text{хл}}$  Zn, Pb, а при меньшем количестве - увеличивается  $\alpha_{\text{хл}}$  Fe.

Увеличить  $\alpha_{\text{хл}}$  металлов можно, если уменьшить внешнее давление. На рисунке 3 приведена первичная информация о формируемых соединениях в системе CuS - ZnS - PbS - 2FeS - 3SiO<sub>2</sub> - 8O<sub>2</sub> в присутствии 1% паров воды от массы сульфидов и 90% CaCl<sub>2</sub> от теоретически необходимого количества по реакции (1) при давлении 0,01 МПа. Из рисунка 3 следует, что при 700°C наблюдается неполное хлорирование меди и она представлена соединениями: Cu<sub>2</sub>S, CuCl, Cu<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>(g), Cu<sub>4</sub>Cl<sub>4</sub>(g).

Сульфид свинца (II) полностью прохлорировался. Свинец находится в виде PbCl<sub>2</sub> и PbCl<sub>2</sub>(g). ZnS при 700°C полностью прореагировал. Цинк в системе находится в виде ZnCl<sub>2</sub>,

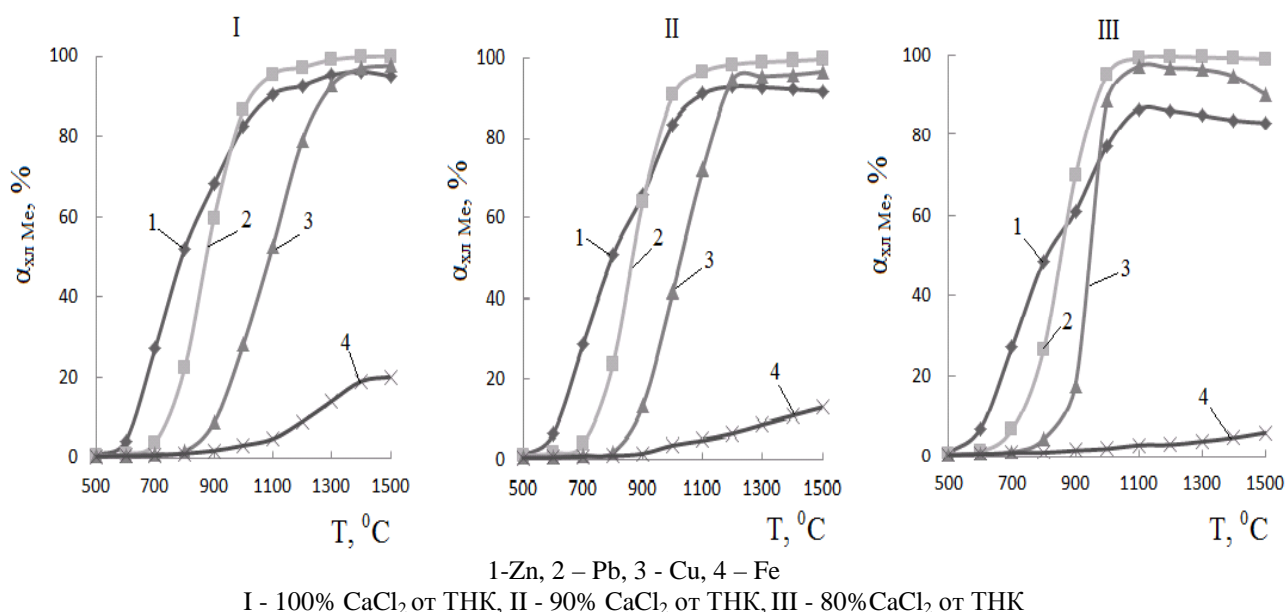
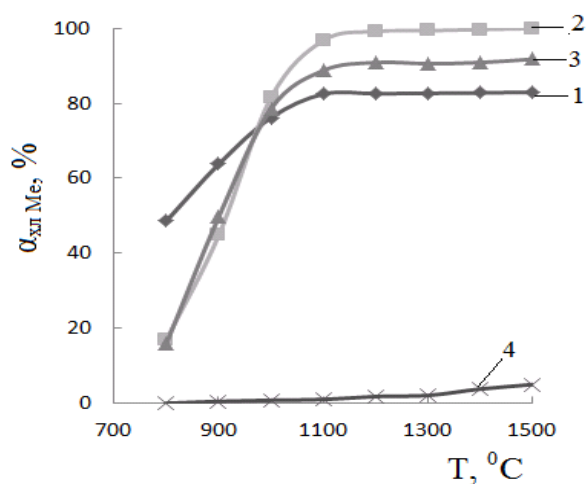


Рисунок 1 – Влияние температуры и CaCl<sub>2</sub> на  $\alpha_{\text{хл}}$  Ме при давлении 0,1 МПа

$\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{ZnO}$  и  $\text{ZnSiO}_3$ .

При  $700^\circ\text{C}$   $\text{FeS}$  в системе отсутствует. При этом  $\text{Fe}$  переходит в  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{FeSiO}_3$ ,  $\text{FeO}$  и в  $\text{FeCl}_2$ . Полное хлорирование меди (99,9%) при давлении 0,01 МПа завершается при  $800^\circ\text{C}$  (рисунок 4).

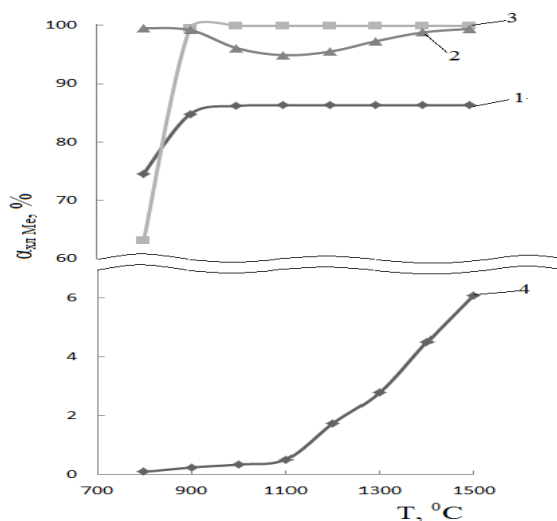
При этом и  $\alpha_{\text{хл}} \text{Pb}$  равен 99,96%. Затем, при увеличении температуры в системе происходит частичное окисление хлоридов меди с образование оксида меди.



1- Zn, 2 – Pb, 3 - Cu, 4 – Fe

Рисунок 2 – Влияние температуры на  $\alpha_{\text{хл}}$  металлов в присутствии 1% паров  $\text{H}_2\text{O}$  при давлении 1 бар

Рисунок 3 – см. стр. 41



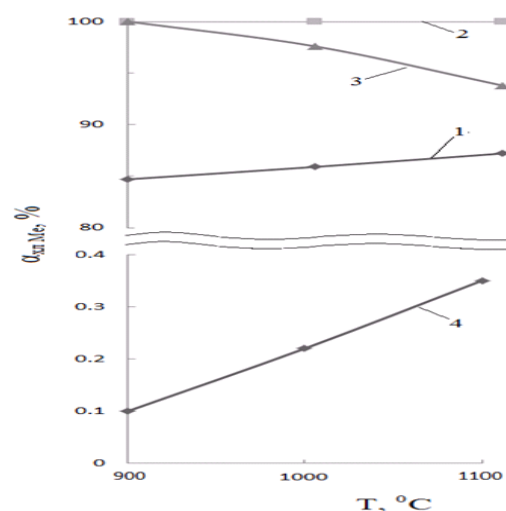
1- Zn, 2 – Cu, 3 - Pb, 4 – Fe

Рисунок 4 – Влияние температуры на  $\alpha_{\text{хл}}$  металлов в присутствии 1% паров  $\text{H}_2\text{O}$ , 90% от ТНК  $\text{CaCl}_2$  и давлении 0,01 МПа

Максимум перехода меди в  $\text{Cu}_2\text{O}$  (6,9%) приходится на  $1100^\circ\text{C}$ . Этим переходом объясняется не полная хлоридовозгонка меди в тем-

пературном интервале  $900\text{--}1500^\circ\text{C}$ . Неполная хлоридовозгонка цинка (85,4–86,2%) связана с переходом  $\text{Zn}$  в  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{ZnSiO}_3$  и  $\text{ZnO}$ . Из рисунка 5 следует, что условие: максимальной хлоридовозгонки цветных металлов и минимальной железа соблюдается в температурной области  $900\text{--}1100^\circ\text{C}$ , для которой:

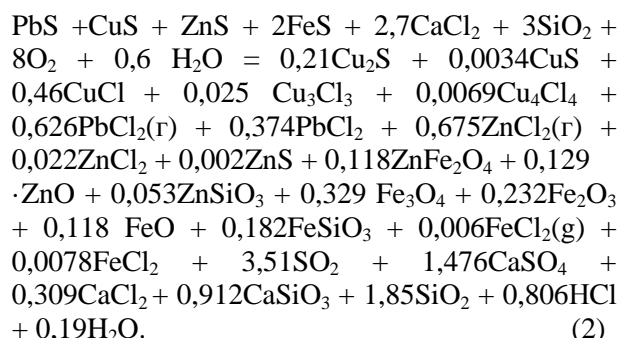
$\alpha_{\text{хл}} \text{Fe}$ , %	$\alpha_{\text{хл}} \text{Cu}$ , %	$\alpha_{\text{хл}} \text{Zn}$ , %	$\alpha_{\text{хл}} \text{Pb}$ , %
0,11 – 0,33	95,9 – 99,9	85,4 – 86,2	99,9 – 99,8



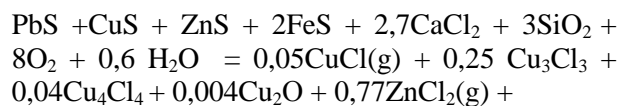
1- Zn, 2 – Pb, 3 –Cu, 4 – Fe

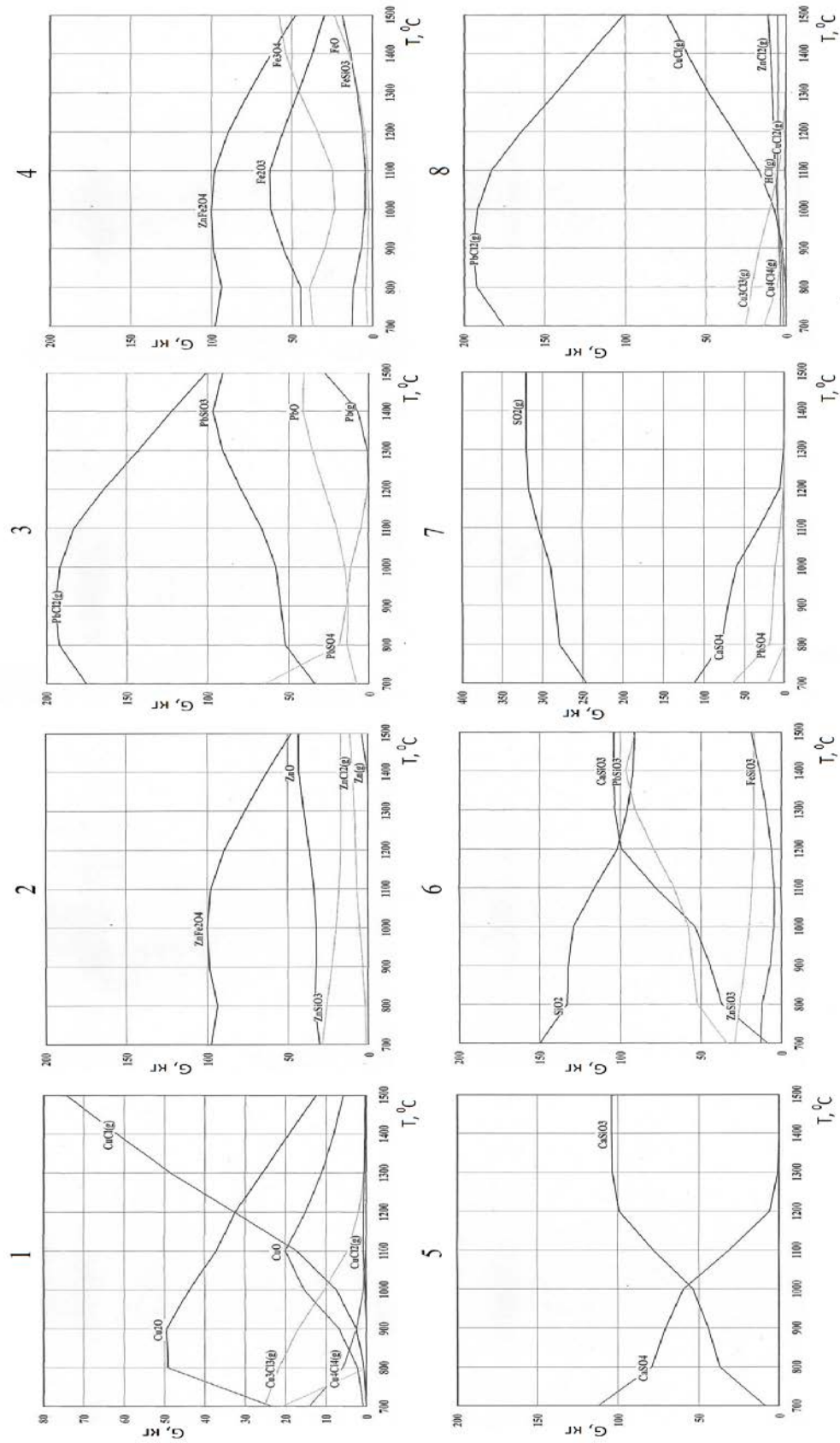
Рисунок 5 – Изменение совместной хлоридовозгонки цветных металлов и железа в температурном интервале  $900\text{--}1100^\circ\text{C}$  в присутствии 1%  $\text{H}_2\text{O}$ , 90% от ТНК  $\text{CaCl}_2$  и давлении 0,01 МПа

Исходя из поведения  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{H}$  представляется возможным установить общий вид химического уравнения взаимодействия в системе. Так, при  $700^\circ\text{C}$  и давлении 0,01 МПа, уравнение имеет вид:

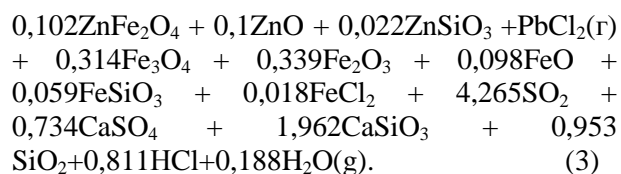


При  $900^\circ\text{C}$  взаимодействие описывается химическим уравнением:





Вещества, содержащие: 1)- Cu, 2)- Zn, 3)- Pb, 4)- Fe, 5)-Ca, 6)- Si, 7)- S, 8)- Cl  
 Рисунок 3 – Влияние температуры на количественное содержание веществ (G, кг) в системе  $\text{CuS} - \text{ZnS} - \text{PbS} - 2\text{FeS} - \text{CaCl}_2 - \text{SiO}_2$  в присутствии 1% паров воды и давления 0,1 бар



Газовая фаза системы в температурном интервале 900 - 1100<sup>0</sup>С содержит в основном хлориды Cu, Zn, Pb (61,1 – 61,2) и SO<sub>2</sub> (34,2 – 34,5) масс. %, а конденсированная CaSiO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (71,4 – 72,9 масс. %).

**Выводы.** Таким образом, полученные результаты по изучению взаимодействия в системе CuS - ZnS - PbS - FeS - CaCl<sub>2</sub> - SiO<sub>2</sub> - O<sub>2</sub> позволяют сделать заключение, что:

- высокая (> 90%) степень хлоридовозгонки Cu, Zn и Pb наблюдается при давлении 0,1 МПа и T ≥ 1010-1280<sup>0</sup>С, однако при этом становится заметной степень хлоридовозгонки Fe (3,2 - 13,4%);
- уменьшение количества CaCl<sub>2</sub> до 80% от ТНК позволяет уменьшить α<sub>хл</sub> Fe до 1,44% при 1000<sup>0</sup>С, однако это приводит к уменьшению степени хлоридовозгонки Cu до 89,4%, а Zn – до 77,9%;
- уменьшить степень хлоридовозгонки Fe < 0,4% можно при 1100<sup>0</sup>С, если хлорирование проводить в присутствии паров воды (1% от массы сульфидов Cu, Fe, Zn); при этом степень хлоридовозгонки α<sub>хл</sub> Cu не превышает 90%, а Zn - 82%;
- низкую степень хлоридовозгонки Fe (0,11 - 0,33%) и высокую Cu (95,9 - 99,9%), Pb (99,8 - 99,9%), Zn (85,4 – 86,2%) можно достичь в присутствии паров воды при 900 - 1100<sup>0</sup>С посредством уменьшения давления до 0,01 МПа.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Фурман А.А. Неорганические хлориды. - М.: Химия, 1980. - 416с.
- 2 Тациенко П.А. Обжиг руд и концентратов. - М.: Metallurgiya, 1985. - 232с.
- 3 Евдокимов В.И. Химическая возгонка. - М.: Знание, 1984. - 64с.
- 4 Туркдоган Е.Т. Физическая химия высокотемпературных процессов: Перевод с англ. - М.: Metallurgiya, 1985. - 344с.
- 5 Зак М.С. Разработка физико-химических основ и технологии комплексного извлечения цветных металлов из труднообогатимого полиметаллического сырья хлоридо-возгоночным обжигом в

кипящем слое: автореф.. докт.техн.наук.-М.: МИСиС, 1985. - 51с.

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

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

8 Снурников А.П. Комплексное использование минеральных ресурсов в цветной металлургии. - М.: Metallurgiya, 1986 - 384с.

9 Айткулов Б.Д. Разработка комплексной технологии извлечения цветных металлов и железа из медьсодержащих оксидных руд: автореф. канд. техн. наук. - Алматы, 2010. - 18с.

10 Пискунов И.Н., Орлов А.К. Влияние кислорода и паров воды на хлоридовозгонку NiO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> хлором и хлористым водородом // Известия ВУЗов. Цветная металлургия. - 1976. - №3. - С. 46-49.

#### REFERENCES

- 1 Furman A.A. *Neorganicheskie khloridy*. M.: Khimiya, **1980**, 416. (in Russ.).
- 2 Tatsienko P.A. *Obzhig rud i koncentratov*. M.: Metallurgiya, **1985**, 232. (in Russ.).
- 3 Evdokimov V.I. *Khimicheskaya vozgonka*. M.: Znanie, **1984**, 64. (in Russ.).
- 4 Turkdogan E.T. *Fizicheskaya khimiya vysokotemperaturnykh processov*. M.: Metallurgiya, **1985**, 344. (in Russ.).
- 5 Zak M.S. *Razrabotka fiziko-khimicheskikh osnov i tekhnologii kompleksnogo izvlecheniya tsvetnykh metallov iz trudnoobogatimogo polimetallicheskogo syr'ya khloridovozgonochnym obzhigom v kipyashchem sloe. avtoref..... dokt.tekhn. nauk.M.: MISIS, 1985*, 51. (in Russ.).
- 6 Roine A. *Outokumpu HSC Chemistry for Windows*. Pori: Outokumpu Research OY, **2002**, (in Eng.).
- 7 Bekturganov N.S., Abishev D.N. *Kompleksnoe ispol'zovanie oksidnogo syr'ya tyazhelykh tsvetnykh metallov*. Alma-Ata: Nauka, **1989**, 211. (in Russ.).
- 8 Snurnikov A.P. *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nykh resursov v tsvetnoy metallurgii*. M.: Metallurgiya, **1986**, 384. (in Russ.).
- 9 Aitkulov B.D. *Razrabotka kompleksnoy tekhnologii izvlecheniya tsvetnykh metallov i zheleza iz med'soderzhashchikh oksidnykh rud. Avtoref..... kand. tekhn. nauk. Almaty, 2010*, -18. (in Russ.).
- 10 Piskunov I.N., Orlov A.K. *Izvestiya VUZov. Tsvetnaya metallurgiya*, **1976**, 3, 46-49. (in Russ.).

#### Түйіндеме

Мақалада кальций хлоридінің қатысуымен Cu, Zn, Pb, Fe сульфидтерінің біріге хлорлануын зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеулер бастапқы жүйедегі компоненттердің қатынасына, қысымға және температураға әуелді өнімдер бойынша өзара әрекеттесуінің, жүйе элементтерінің біртенті бөліну дәрежесін анықтауға мүмкіндік туғызатын, финдік Outokumpu металлургиялық бағдарламасындағы

HSC- 5.1 кешенді бағдарламасын қолдану арқылы термодинамикалық моделдеу әдісімен жүргізілді. Нәтижесінде түсті металдардың хлорлы айдауының максималдылығы, ал темір хлоридінің минималды жағдайы, сонымен қатар жүйедегі әрекеттесудің біртекті химиялық текдеулері анықталады. Яғни Cu, Zn және Pb жоғары хлорлыайдау дәрежесі (> 90%) 0,1 МПа қысымда және  $T \geq 1010-1280^{\circ}\text{C}$  байқалады, дегенмен Fe хлорлыайдау дәрежесі 3,2 -13,4% тең екенін байқауға болады.  $\text{CaCl}_2$  ТҚК-нен 80% дейін мөлшерінің азаюы  $1000^{\circ}\text{C}$ -та Fe хлорлыайдау -1,44%-ке, Cu хлорлыайдау - 89,4%, ал Zn хлорлыайдау – 77,9% дейін кемуіне әкеледі; егер хлорлау су буының қатысуымен жүргізілген жағдайда  $\text{Fe} < 0,4\%$ -ке дейін төмендеуі (1% Cu, Fe, Zn сульфидтері массасынан)  $1100^{\circ}\text{C}$ -та байқалады, мұндай жағдайда Cu хлорлыайдау дәрежесі 90%-тен, ал Zn - 82%-тен аспайды. Fe хлорлыайдау дәрежесінің төмендеуі (0,11 - 0,33%) және Cu (95,9 - 99,9%), Pb (99,8-99,9%), Zn (85,4 – 86,2%) дейінгі дәрежесі су буының қатысуымен 900 -  $1100^{\circ}\text{C}$ -та және 0,01 МПа -ға дейін төменгі қысымда жоғарылауына мүмкіншілік алады.

**Түйін сөздер:** мыс, мырыш, қорғасын, темір сульфидтері, металдарды хлорлы айдау, термодинамикалық моделдеу, Outokumpu бағдарламасының «HSC- 5.1» кешені.

### Summary

This article contains the research results of joint chlorination of Cu, Zn, Pb, Fe sulphides in the presence of calcium chloride. The researches were conducted by a method of thermodynamic modelling with using the program complex HSC-5.1 of the Finnish metallurgical company Outokumpu. It allows to define the equilibrium degree of distribution of the system's elements on products of interaction depending on temperature, pressure and components' ratio in the initial system. Conditions at which a maximum chloride sublimation of nonferrous metals and a minimum chloride sublimation of iron chlorides are observed, and also the equilibrium chemical equation of interaction in the system were defined. It was found, that a high (> 90 %) chloride sublimation degree of Cu, Zn and Pb is observed at pressure 1 MPa and  $T \geq 1010-1280^{\circ}\text{C}$ , however at these conditions a chloride sublimation degree of iron is appreciable (3,2-13,4 %). The reduction of  $\text{CaCl}_2$  quantity down to 80 % from the theoretically required quantity allows to decrease a chloride sublimation degree of iron to 1,44 % at  $1000^{\circ}\text{C}$  with the simultaneous reduction of a chloride sublimation degree of copper to 89,4 %, and zinc – to 77,9 %. A chloride sublimation degree of iron can be reduced lower than 0,4 % at  $1100^{\circ}\text{C}$  if the chlorination is carried out in the presence of water steam (1 % from the weight of Cu, Fe, Zn sulphides); at these conditions a chloride sublimation degree of copper does not exceed 90 %, and zinc - 82 %. A low chloride sublimation degree of iron (0,11-0,33 %) and a high chloride sublimation degree of copper (95,9 - 99,9 %), lead (99,8-99,9 %) and zinc (85,4 - 86,2 %) can be achieved in the presence of water steams at 900- $1100^{\circ}\text{C}$  by means of the reduction of pressure to 0,1 MPa.

**Keywords:** sulphides of copper, zinc, lead, iron, metals chloride sublimation, thermodynamic modelling, Outokumpu program HSC-5.1complex

Поступила 27. 05. 2013.

УДК 66. 27. 092 : 532. 7

Комплексное использование  
минерального сырья. № 3. 2013.

Г.Ш. Яр-МУХАМЕДОВА\*, К.К. КАСЫМЖАНОВ, Д.Р. БАБАЖАНОВ, Б.Н. БАРКЫТОВА

АО «Центр наук о земле, металлургии и обогащения, Алматы, \*gulmira-alma-ata@mail.ru

## ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ МЕМБРАННОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА РАСТВОРОВ ВОЛЬФРАМАТА НАТРИЯ

В статье приведены результаты исследования методики мембранного электролиза и безреагентно-го снижения pH растворов вольфрамата натрия. Для обработки был использован раствор вольфрамата натрия, полученный автоклавно-карбонатным выщелачиванием шеелитового концентрата месторождения Северный Катпар в лабораторном автоклаве в течение 120 мин при температуре  $493\text{K}$ , давлении 6,1 атм. Электролиз проводили в трехкамерном электролизаторе, электродная система которого представляет собой набор конструктивно объединенных камер – анодную, рабочую, катодную, разделенных катионитовыми мембранами МК – 40. Анодная камера была заполнена раствором серной кислоты ( $50\text{ г/дм}^3\text{ H}_2\text{SO}_4$ ), катодная - разбавленным раствором соды ( $5\text{ г/дм}^3\text{ Na}_2\text{CO}_3$ ), рабочая – технологическим раствором вольфрамата натрия. В качестве анода использовалась свинцовая пластина, катода – пластина из