

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

*Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова,
Шымкент, sunstroke_91@mail.ru*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХЛОРИДОВОЗГОНКИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ХВОСТОВ БАЛХАШСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

Крупнотоннажным отходом медной подотрасли являются хвосты обогатительных фабрик, в которых содержание цветных металлов составляет 0,4-1,4 %. На территории Казахстана объем таких отходов превышает 1 млрд. т. Как правило, переработка хвостов не носит комплексного характера, а сводится к вторичной их флотации с дополнительным извлечением 1-5 % меди. При этом цинк и свинец не извлекаются и преимущественно остаются во вторичных хвостах. В статье приводятся результаты исследования по извлечению цинка и свинца из хвостов Балхашской обогатительной фабрики хлоридовозгоночным методом применительно к комплексной переработке хвостов хлоридно-электротермическим методом. Исследования проводились методом планирования эксперимента с использованием ротатабельных планов второго порядка. Найдены адекватные уравнения регрессии влияния температуры, времени и количества хлорида кальция на степень хлоридовозгонки цинка и свинца. Установлены оптимальные параметры, обеспечивающие 95-99 %-ное извлечение цинка и 96-98 %-ное – свинца из хвостов Балхашской обогатительной фабрики.

Ключевые слова: хвосты обогащения, хлоридовозгонка, цинк, свинец, планирование эксперимента, оптимальные параметры.

Введение. При флотационном способе обогащения медных руд с хвостами флотации теряется до 36 % меди от общих потерь при добыче и переработке сырья [1]. При этом основная часть горной массы (90-98 %) [2, 3] в виде тонкоизмельченного продукта направляется в хвостохранилища. В настоящее время только в хвостохранилищах Балхашской (БОФ) и Жезказганской обогатительных фабрик накопилось около 1 млрд. т флотоотходов. В соответствии с [3] в хвостах суммарное содержание меди, цинка и свинца колеблется от 0,4 до 1,4 % (4-13 млн. т металлов). В хвостах этих фабрик содержится также 400-700 млн. т оксида кремния и 50-70 млн. т железа. То есть хвосты обогащения являются ценным сырьем не только для цветной металлургии, но и для получения кремнистых ферросплавов.

Сейчас в мировой практике хвосты с низким содержанием цветных металлов используются на рудниках в качестве закладочного материала выработанных пространств [4]. Из сравнительно богатых производится доизвлечение

цветных металлов с последующим использованием материала для засыпки провалов и закладки выработанного пространства, для производства бетона, вяжущих, строительных растворов, силикатных и керамических стеновых материалов [5]. Доизвлечение меди производится повторной флотацией или методами выщелачивания. Так, на БОФ из песковой фракции хвостов флотации медно-молибденовых руд Кунрадского месторождения повторной флотацией дополнительно доизвлекалось до 3 % меди. На Алмалыкской медной фабрике посредством доизмельчения мелкой фракции (65 % <0,074 мм) и последующей флотацией удалось увеличить степень извлечения меди из руды на 3-5 %. За рубежом эксплуатируются 22 установки по доизвлечению металлов из старых хвостовых отвалов (включая установки для выщелачивания). Установки построены в США, Чили, Финляндии, Канаде, Австралии, Филиппинах, ЮАР и других странах [3, 5]. Самая крупная установка имеет мощность 60 тыс. т хвостов в сутки (США, фабрика Моренси) [5].

Необходимо отметить, что работы по доизвлечению флотацией и выщелачиванию предусматривают извлечение только цветных металлов и не предусматривают получение какой-либо продукции из нерудной составляющей [6-10]. Несмотря на довольно большой опыт в утилизации и переработке хвостов обогащения медных руд, минерально-сырьевой потенциал хвостов обогащения используется крайне низко, а продукция, полученная из них, обладает невысокой добавочной стоимостью.

Цель работы – определение оптимальных технологических параметров хлоридовозгонки цинка и свинца из хвостов Балхашской обогатительной фабрики.

Экспериментальная часть. Исследования проводились на установке, состоящей из вертикальной трубчатой печи с карборундовыми нагревателями, систем контроля температуры (термопара ПП-1, милливольтметр МР-64-02) и подачи воздуха (компрессор марки «Mateus» (Италия), реометр РДС – 4, манометр). Обжигу подвергали гранулированную (диаметром 5-10 мм) шихту, состоящую из хвостов обогащения и хлорида кальция. Грануляцию шихты проводили на чашевом грануляторе диаметром 0,36 см с высотой борта 0,13 см, углом наклона 45°, при скорости вращения гранулятора 70 об/мин. Гранулированная шихта сушилась при 200-240 °С в течение 30 мин. (при большей температуре наблюдается разложение CaCl_2 с выделением HCl). Высушенная шихта помещалась в печь в контейнере. Степень хлоридовозгонки цинка и свинца ($\alpha_{\text{хл}}$ Zn, и $\alpha_{\text{хл}}$ Pb) рассчитывалась по количеству цинка и свинца, перешедших в хлоридные возгоны.

В опытах использовали хвосты Балхашской обогатительной фабрики, содержащие, мас. %: 0,3 Cu; 1,0 Zn; 0,3 Pb; 16,8 Fe; 10,6 Al_2O_3 ; 8,6 CaO; 1 MgO; 49,1 SiO_2 ; 12,3 прочие и технический хлорид кальция.

Исследования проводились методом планирования эксперимента с использованием рототабельных планов второго порядка [11]. Влияние температуры, продолжительности опытов и количества хлорирующего агента на степень хлоридовозгонки металлов изучалось в интервалах, приведенных в таблице 1.

Для трехфакторного эксперимента число опытов составило 20 [12].

Таблица 1 – Уровни независимых переменных и интервалы их варьирования при исследовании хлоридовозгонки металлов из хвостов Балхашской обогатительной фабрики

Уровень	Переменные		
	температура, °С (Т)	продолжительность, мин. (τ)	количество хлорагента (CaCl_2), % от ТНК*
Основной уровень (0)	1100	40	210
Интервал варьирования (Δ)	119,2	23,8	130,8
Верхний уровень (+1)	1159,6	51,9	275,4
Нижний уровень (-1)	1040,4	28,1	144,6
Верхнее «звездное» (+1,68)	1200	60	320
Нижнее «звездное» (-1,68)	1000	20	100

* ТНК – теоретически необходимое количество CaCl_2 для хлорирования цинка и свинца.

Результаты исследований и обсуждение.

В таблице 2 приведена матрица планирования экспериментов и их результаты применительно к хлоридовозгонке Zn.

Таблица 2 – Матрица планирования экспериментов и результаты по хлоридовозгонке цинка из хвостов Балхашской обогатительной фабрики

№ опыта	Кодированный вид			Натуральный вид			$\alpha_{\text{хл}}$ Zn, %
	X_1	X_2	X_3	Т, °С	τ, мин.	CaCl_2 , %	
1	1	1	1	1159,6	51,9	275,4	89,5
2	-1	1	1	1040,6	51,9	275,4	80,3
3	1	-1	1	1159,6	28,1	275,4	82,0
4	-1	-1	1	1040,6	28,1	275,4	65,4
5	1	1	-1	1159,6	51,9	144,6	76,2
6	-1	1	-1	1040,6	51,9	144,6	67,3
7	1	-1	-1	1159,6	28,1	144,6	70,0
8	-1	-1	-1	1040,6	28,1	144,6	57,7
9	1,68	0	0	1200	40	210	87,4
10	-1,68	0	0	1000	40	210	66,1
11	0	1,68	0	1100	60	210	80,5
12	0	-1,68	0	1100	20	210	65,5
13	0	0	1,68	1100	40	320	83,2
14	0	0	-1,68	1100	40	100	68,6
15	0	0	0	1100	40	210	76,0
16	0	0	0	1100	40	210	75,1
17	0	0	0	1100	40	210	74,4
18	0	0	0	1100	40	210	76,4
19	0	0	0	1100	40	210	76,8
20	0	0	0	1100	40	210	75,8

С использованием данных таблицы 2 нами были получены следующие адекватные кодированные и натуральные уравнения регрессии хлоридовозгонки цинка из хвостов Балхашской обогатительной фабрики:

$$\alpha_{\text{хл}} \text{Zn}_{(\text{код})} = 75,72 + 6,06 \cdot X_1 + 4,64 \cdot X_2 + 5,16 \cdot X_3 - 1,3 \cdot X_2^2 - 0,27 \cdot X_3^2 - 1,35 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,57 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,825 \cdot X_2 \cdot X_3 ; \quad (1)$$

$$\alpha_{\text{хл}} \text{Zn}_{(\text{нат})} - 121,44 = 0,13 \cdot T = 3,001 \cdot \tau - 0,097 \cdot XA - 0,009 \cdot \tau^2 - 0,6 \cdot 10^{-4} \cdot XA^2 - 0,002 \cdot T \cdot \tau + 0,14 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot XA = 0,001 \cdot \tau \cdot A. \quad (2)$$

На основании уравнения 2 по программе Math CAD [12] построены объемные поверхности отклика ($\alpha_{\text{хл}} \text{Zn}$) и их горизонтальные сечения (рисунки 1, 2). Из рисунка 1 следует, что при 100 % CaCl_2 $\alpha_{\text{хл}} \text{Zn}$ не превышает 74-74,6 % (область офф). При увеличении количества CaCl_2 $\alpha_{\text{хл}} \text{Zn}$ возрастает до 99 %. Условия максимальной степени хлоридовозгонки цинка ($\alpha_{\text{max}} \text{Zn}$) приведены в таблице 3.

Матрица планирования экспериментов и ре-

Таблица 3 – Условия максимальной степени хлоридовозгонки цинка из хвостов Балхашской обогатительной фабрики

Количество CaCl_2 , % от ТНК	Рисунок	Область	Пределы температуры	Интервал времени, мин.	$\alpha_{\text{max}} \text{Zn}$, %
144,6	2 (I)	got	1180-1200	40-56	78,0-79,7
210,6	2 (II)	klf	1170-1200	36-56	85-89
275,4	2 (III)	orm	1150-1200	35-60	90-95
320,0	2 (IV)	zж	1160-1200	39-60	95-99

зультаты хлоридовозгонки свинца из хвостов Балхашской обогатительной фабрики приведены в таблице 4.

На основании полученных экспериментальных данных выведены следующие адекватные уравнения регрессии по хлоридовозгонке свинца из хвостов Балхашской обогатительной фабрики:

$$\alpha_{\text{хл}} \text{Pb}_{(\text{код})} = 79,43 + 10,9 \cdot X_1 + 6,78 \cdot X_2 + 2,98 \cdot X_3 - 3,64 \cdot X_1^2 - 0,27 \cdot X_3^2 - 2,83 \cdot X_2^2 - 0,389 \cdot X_3^2 + 0,325 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,925 \cdot X_1 \cdot X_3 ; \quad (3)$$

$$\alpha_{\text{хл}} \text{Pb}_{(\text{нат})} - 1014,105 + 2,06 \cdot T + 1,796 \cdot \tau + 0,305 \cdot XA - 0,001 \cdot T^2 - 0,0199 \cdot \tau^2 - 9 \cdot 10^{-5} \cdot XA^2 + 46 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot \tau - 24 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot XA. \quad (4)$$

Таблица 4 – Матрица планирования экспериментов и результаты по хлоридовозгонке свинца из хвостов Балхашской обогатительной фабрики

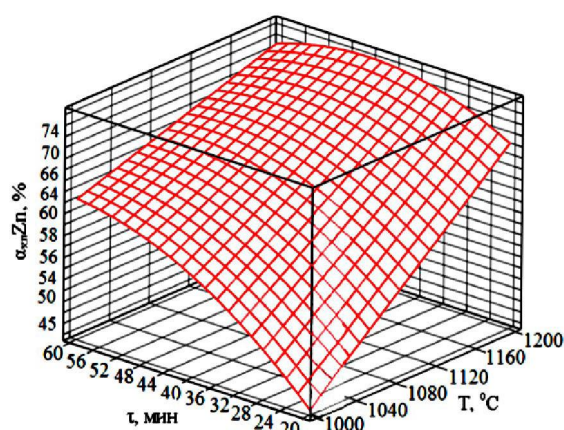
№ опыта	Кодированный вид			Натуральный вид			$\alpha_{\text{хл}} \text{Pb}$, %
	X_1	X_2	X_3	T , °C	τ , мин.	CaCl_2 , %	
1	1	1	1	959,6	51,9	275,4	92,0
2	-1	1	1	840,4	51,9	275,4	71,0
3	1	-1	1	959,6	28,1	275,4	77,5
4	-1	-1	1	840,4	28,1	275,4	58,6
5	1	1	-1	959,6	51,9	144,6	87,5
6	-1	1	-1	840,4	51,9	144,6	63,6
7	1	-1	-1	959,6	28,1	144,6	73,2
8	-1	-1	-1	840,4	28,1	144,6	49,8
9	1,68	0	0	1000	40	210	89,0
10	-1,68	0	0	800	40	210	52,0
11	0	1,68	0	900	60	210	84,0
12	0	-1,68	0	900	20	210	61,6
13	0	0	1,68	900	40	320	84,4
14	0	0	-1,68	900	40	100	75,0
15	0	0	0	900	40	210	80,3
16	0	0	0	900	40	210	78,2
17	0	0	0	900	40	210	80,5
18	0	0	0	900	40	210	79,4
19	0	0	0	900	40	210	79,6
20	0	0	0	900	40	210	78,6

На рисунках 3, 4 приведена информация о влиянии переменных факторов на $\alpha_{\text{хл}} \text{Pb}$. Условия получения высокой степени хлоридовозгонки свинца ($\alpha_{\text{хл}} \text{Pb}$) (≥ 90 %) приведены в таблице 5.

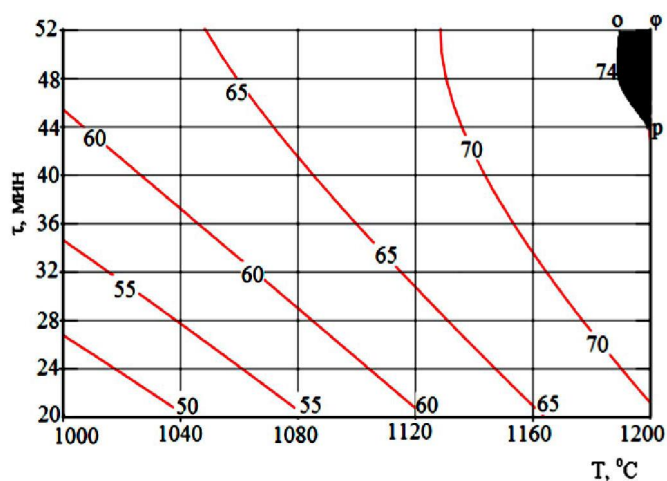
Таблица 5 – Условия, обеспечивающие $\alpha_{\text{хл}} \text{Pb} \geq 90$ % из хвостов обогащения Балхашской обогатительной фабрики

Количество CaCl_2 , % от ТНК	Рисунок	Область	Температурная область, °C	Интервал времени, мин.	$\alpha_{\text{хл}} \text{Pb}$, %
100	3	abc	990-1000	54-56	90-96
144,6	4 (I)	hmn	975-1000	50-56	90-92
210	4 (II)	xyz	945-1000	45-56	90-95
275,4	4 (III)	oft	930-1000	42-56	90-97
320,0	4 (IV)	ukQ	920-1000	41-56	90-98

Из таблицы 5 и рисунков 3, 4 следует, что высокая степень хлоридовозгонки Pb из хвостов обогащения отмечается в температурной области 945-1000 °C при 275-320 % CaCl_2 . При сравнении рисунков 1, 2 с рисунками 3, 4 можно видеть, что свинец хлорируется легче, чем цинк. Из сравнения полученных результатов с результатами хлоридовозгонки меди из хвостов Балхашской обогатительной фабрики [13] следует,



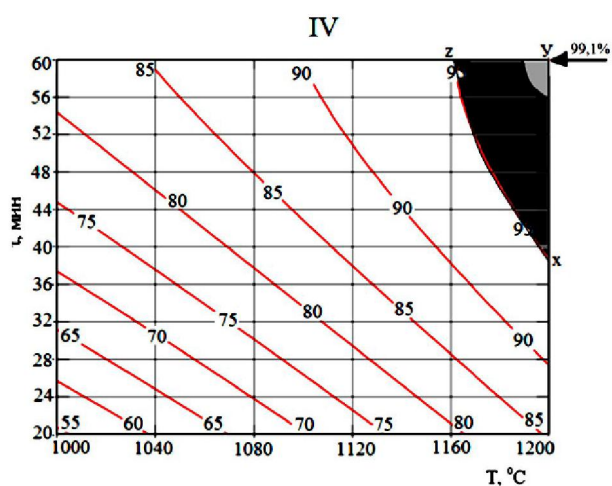
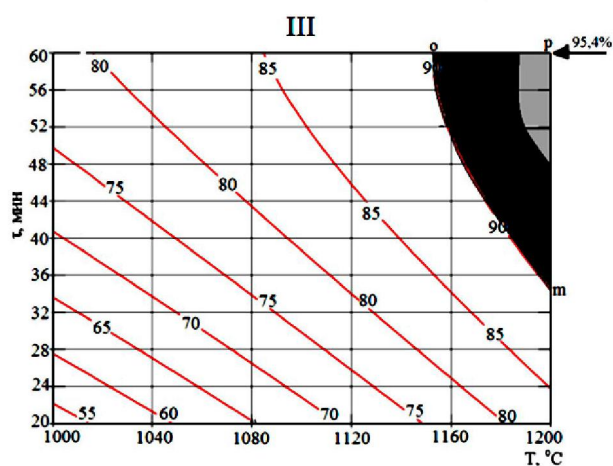
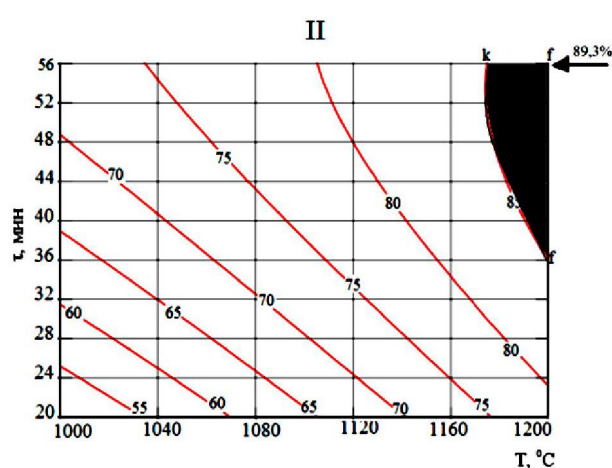
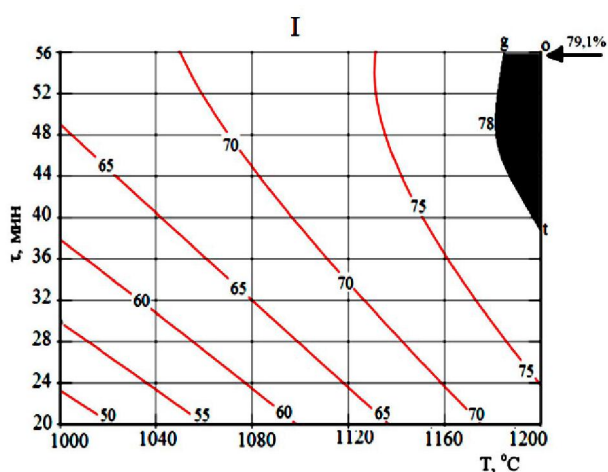
А



Б

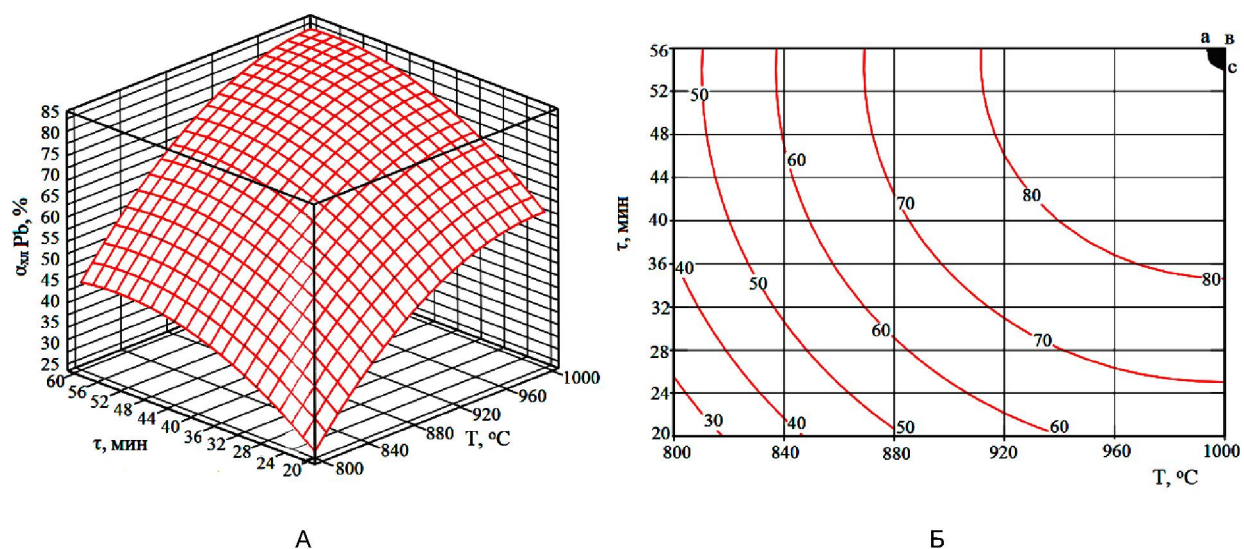
А – объемное изображение поверхности отклика, Б – горизонтальные разрезы поверхности отклика с изолиниями равной степени $\alpha_{\text{хл}}$ Zn, %

Рисунок 1 – Влияние температуры и времени на $\alpha_{\text{хл}}$ Zn из хвостов обогащения при 100 % CaCl_2



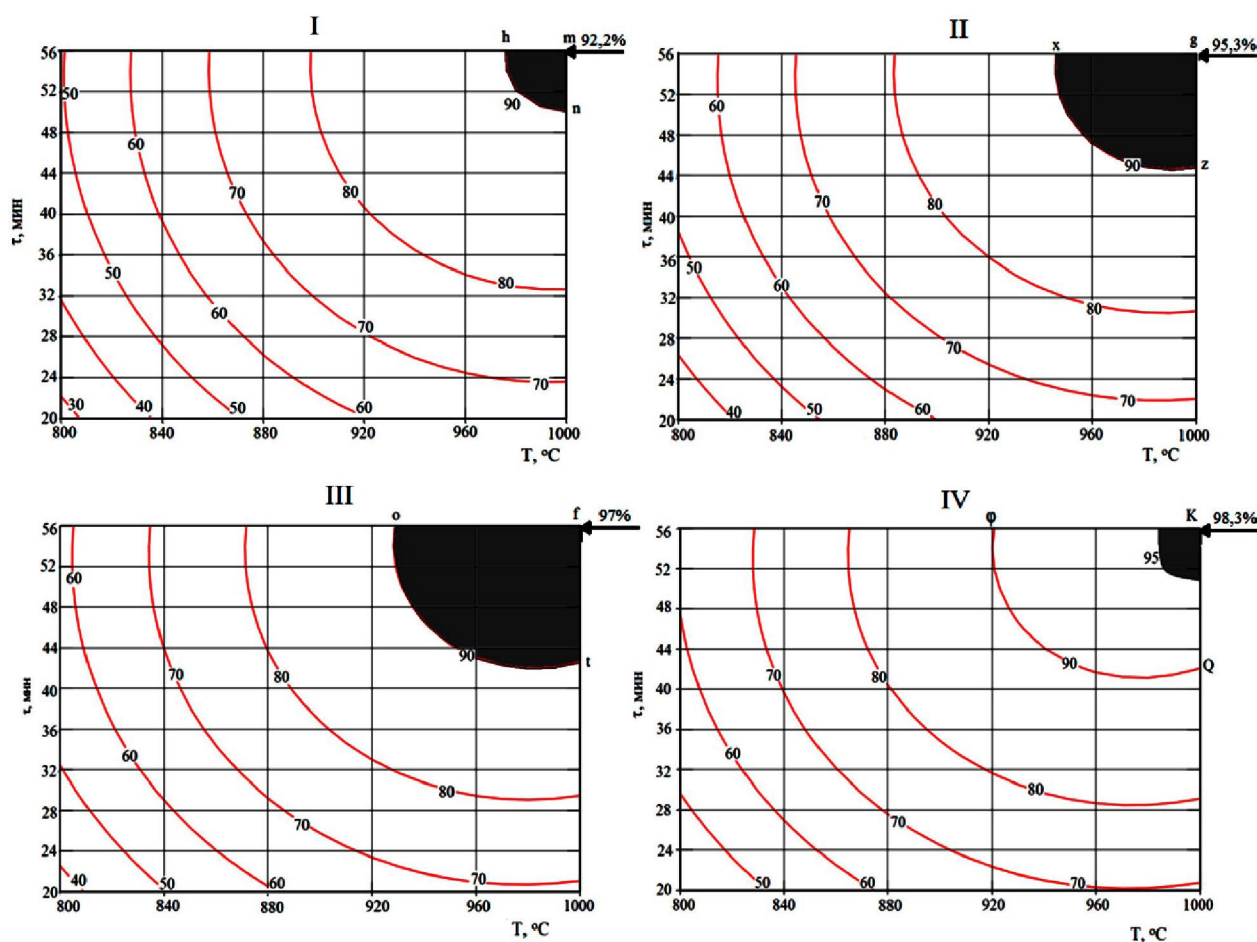
I – 144,6 % CaCl_2 , II – 210 % CaCl_2 , III – 275,4 % CaCl_2 , IV – 320 % CaCl_2
(цифры на линиях – $\alpha_{\text{хл}}$ Zn, %)

Рисунок 2 – Влияние температуры, времени и количества хлорида кальция на $\alpha_{\text{хл}}$ Zn из хвостов Балхашской обогатительной фабрики



А – объемное изображение поверхности отклика, Б – горизонтальные разрезы поверхности отклика с изолиниями равной степени $\alpha_{хл}$ Pb, %

Рисунок 3 – Влияние температуры и времени на $\alpha_{хл}$ Pb из хвостов обогащения при 100 % CaCl_2



I – 144,6 % CaCl_2 , II – 210 % CaCl_2 , III – 275,4 % CaCl_2 , IV – 320 % CaCl_2
(цифры на линиях - $\alpha_{хл}$ Pb, %)

Рисунок 4 - Влияние температуры, времени и количества хлорида кальция (CaCl_2) на $\alpha_{хл}$ Pb из хвостов Балхашской обогатительной фабрики

что при равных условиях $\alpha_{\text{хл}} \text{Pb} > \alpha_{\text{хл}} \text{Zn} > \alpha_{\text{хл}} \text{Cu}$. Поэтому хлоридовозгонка свинца и цинка из хвостов Балхашской обогатительной фабрики не сдерживает процесс в целом, а лимитирующим звеном является хлоридовозгонка меди.

Выводы. Высокая (95-99 %) степень хлоридовозгонки цинка из хвостов Балхашской обогатительной фабрики происходит в течение 39-60 мин. при 1160-1200 °С и количестве CaCl_2 320 % от теоретически необходимого. Свинец из хвостов хлорируется на уровне 95-98 % при более низкой температуре (920-1000 °С) в течение 41-56 мин. Хлоридовозгонка свинца и цинка не сдерживает извлечение цветных металлов из хвостов. Лимитирующим звеном извлечения металлов из хвостов является хлоридовозгонка меди.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Наумов В.П., Ушаков Н.Н., Ананин А.И. О задачах горно-металлургической науки в области комплексного использования минерального сырья // Абишевские чтения: Матер. Междунар. конф. Караганда, Казахстан, 2011. – С. 289-290.
- 2 Самыгин В.Д., Филипов А.О., Шехирев Д.В. Основы обогащения руд. – М.: Альтеке, 2003. – 220 с.
- 3 Снурников А.П. Комплексное использование минеральных ресурсов в цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1986. – 334 с.
- 4 Балах Р.В. Разработка месторождений с закладкой хвостами обогащения. – Алма-Ата: Наука, 1976. – 169 с.
- 5 Туркебаев Э.А., Садыков Г.Х. Комплексное использование сырья и отходов промышленности. – Алма-Ата: Наука, 1988. – 140 с.
- 6 Пат. 2044079. РФ. Комбинированный способ переработки хвостов обогащения полиметаллических руд / Энне С.И., Сычева Е.А., Едакина Л.А., Быков Р.А., Проходов В.С., Кононов В.Н., Какаулина М.П.; опубл. Бюл. № 18. 1992.
- 7 Руднев Б.П. Освоение и разработка эффективных методов обогащения текущих и лежалых хвостов обогащения руд цветных металлов: Автореф. ... докт. техн. наук: 25.00.13. – М.: ФГУП «Гипроцветмет», 2004. – 51 с.
- 8 Воробьев А.Е., Искушина Т.В. Классификация штабелей кучного выщелачивания металлов // Горный журнал. – 1997. – № 3. – С. 56.
- 9 Пат. 2166373 РФ. Способ получения ценного компонента из хвостов обогащения / Ягин В.П., Давыдов М.А., Руднов В.М., Поваренкин В.А., Вайкум В.А. опубл. Бюл. № 3. 2001.
- 10 Рыльникова М.В., Емельяненко Е.А., Горбатова Е.А. Комплексное выщелачивание отходов обогащения медно-колчеданных руд // 7-й Конгресс обогатителей стран СНГ: Матер. конгр. – Москва, Россия, 2009. – С. 27-30.
- 11 Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. – М.: Высшая школа, 1978. – 319 с.
- 12 Очков В.Ф. Math CAD 14 для студентов, инженеров и конструкторов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 368 с.
- 13 Shevko V.M., Badikova A.D., Serzhanov G.M., Uteyeva R.A., Karataeva G.E. Optimum technological parameters of cooper chloridosublimation from tails of the Balkhash concentration factory // International Conference of Industrial Technologies and Engineering: ICITE 2014 Proceedings, Shymkent, Kazakhstan, 2014. – P. 126-130.

REFERENCES

- 1 Naumov V.P., Ushakov N.N., Ananin A.I. *O zadachakh gorno-metallurgicheskoy nauki v oblasti kompleksnogo ispol'zovaniya mineral'nogo syr'ya* (About problems of mining-metallurgical science in area of complex using of mineral raw materials). *Abishevskie chteniya: Mater. Mezhd. konf. Karaganda, Kazakhstan, 2011*. 289-290 (in Russ.).
- 2 Samygin V.D., Filipov A.O., Shekhirev D.V. *Osnovy obogashcheniya rud* (Ore beneficiation basic foundation). Moscow: Al'teke, 2003. 220 (in Russ.).
- 3 Snurnikov A.P. *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nykh resursov v tsvetnoy metallurgii* (Complex using of mineral resources in non-ferrous metallurgy). Moscow: Metallurgy, 1986. 334 (in Russ.).
- 4 Balakh R.V. *Razrabotka mestorozhdenij s zakladkoj khvostami obogashcheniya* (Exploitation of deposits with backfilling by tails of beneficiation). Alma-Ata: Nauka, 1976. 169 (in Russ.).
- 5 Turkebaev E.A., Sadykov G.H. *Kompleksnoe ispol'zovanie syr'ya i otkhodov promyshlennosti* (Complex using of raw materials and industry waste). Alma-Ata: Nauka, 1988. 140 (in Russ.).
- 6 Patent 2044079 RU *Kombinirovannyj sposob pererabotki khvostov obogashheniya polimetallicheskikh rud* (Combined method for processing tails from polymetallic ores beneficiation). Ehne S.I., Sycheva E.A., Edakina L.A., Bykov R.A., Prohodov V.S., Kononov V.N., Kakaulina M.P. 1992. 18 (in Russ.).
- 7 Rudnev B.P. *Osvoenie i razrabotka effektivnykh metodov obogashheniya tekushchikh i lezhalykh khvostov obogashheniya rud tsvetnykh metallov* (Development and implementation of effective methods for beneficiation of present and stale tails from non-ferrous metal ores beneficiation). *Avtoref. Dr. Tech. Sci 25.00.13*. Moscow: FGUP «Giprotsvetmet», 2004. 51 (in Russ.).
- 8 Vorob'ev A.E., Iskushina T.V. *Klassifikaciya shtabelej kuchnogo vyshchelachivaniya metallov* (Classification of piles of metals heap leaching). *Gornyj zhurnal=Mining journal*. 1997. 3. 56 (in Russ.).
- 9 Patent 2166373 RF. *Sposob polucheniya tsennogo komponenta iz khvostov obogashcheniya* (Method of valuable components obtaining from tails of beneficiation). Yagin V.P., Davydov M.A., Rudnov V.M., Povarenkin V.A., Vajkum V.A. 2001. 3 (in Russ.).
- 10 Ryl'nikova M.V., Emel'yanenko E.A., Gorbatova E.A. *Kompleksnoe vyshchelachivanie otkhodov*

obogashcheniya mednokolchedannykh rud (Complex leaching of wastes of copper sulphide ores beneficiation). *Mater. 7 Kongressa obogatitelej stran SNG* (Materials of the 7-th dressers congress), Moscow, Russia. **2009**. 27-30 (in Russ.).

11 Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. *Optimizatsiya ehksperimenta v khimii i khimicheskoy tekhnologii* (Optimization of experiment in chemistry and chemical technology). Moscow: Vysshaya shkola (Higher School), **1978**. 319 (in Russ.).

12 Ochkov V.F. *Math CAD 14 dlya studentov, inzhenerov i konstruktorov* (Math CAD for students, engineers and designers). St. Petersburg: BKhV-Petersburg. **2007**. 368 (in Russ.).

13 Shevko V.M., Badikova A.D., Serzhanov G.M., Uteyeva R.A., Karataeva G.E. Optimum technological parameters of cooper chloridosublimation from tails of the Balkhash concentration factory. *International Conference of Industrial Technologies and Engineering: ICITE 2014 Proceedings*, Shymkent, Kazakhstan, **2014**. 126-130 (in Eng.).

ТҮЙІНДЕМЕ

Түсті металдардың құрамы 0,4-1,4 % байыту фабрикасының тастандылары мыс саласының ірітонналы қалдықтары болып табылады. Қазақстан территориясында мұндай қалдықтардың мөлшері 1 млрд.т. көп. Үрдіс бойынша тастандыларды қайта өңдеу айтарлықтай мәнге ие емес, сондықтан оларды қосымша 1-5 % мысты бөліп алумен екіншілей флотациялауға жібереді. Нәтижесінде мырыш пен қорғасын бөлінбей қалып, олар тастандылар құрамында қалып қояды. Мақалада тастандыларды хлорлы-электрлітермиялық әдіспен кешенді қайтаөңдеуге қолданылатын, Балхаш байыту фабрикаларының тастандыларынан мырыш пен қорғасынды хлорлыайдау әдісімен бөліп алу зерттеулерінің қорытындылары келтірілген. Зерттеу екіншілей ретті рототабельді жоспарды қолдана отырып тәжірибені жоспарлау әдісі жүргізілді. Балқаш байыту фабрикаларының тастандыларынан мырышты және қорғасынды бөліп алудың ең тиімді өлшемдері анықталды, қорғасын мен мырыштың хлорлыайдау дәрежесіне температура, уақыт және кальций хлоридінің әсер етуінің адекватты регрессия теңдеуі табылды.

Түйінді сөздер: байыту қалдықтары хлорлы айдау, мырыш қорғасын тәжірибені жоспарлы, тиімді өлшемдері.

SUMMARY

Large-tonnage wastes of the copper subindustry are tails of concentration plants which contain up to 0,4-1,4 % of nonferrous metals. The amount of such wastes in the Kazakhstan territory exceeds 1 billion tonnes. As a rule, the processing of tails has not a complex character; it consists in their secondary flotation with additional extraction of 1-5 % of copper. In this case zinc and lead are not extracted and mainly remain in secondary tails. The given article contains the research results of zinc and lead extraction from tails of the Balkhash concentration plant by using a chloridosublimation method with regard to the complex processing of tails by a chloride electrothermal method. The researches were carried out by a method of planning an experiment with use of the second order rotatable plans. The adequate regression equations of influence of temperature, time and calcium chloride content on chloridosublimation degree of zinc and lead were determined. Optimum parameters for 96-98% of lead and 95-99 % of zinc extraction from tails of the Balkhash concentration plant were found. They are for lead – process temperature 920-1000 °C, duration 41-56 minutes; for zinc – process temperature 1160-1200 °C, duration 39-60 minutes at quantity of CaCl₂ 320 % from theoretically necessary. Chloridosublimation of lead and zinc does not restrain extraction of nonferrous metals from tails. The limiting stage of metals extraction from tails is chloridosublimation of copper.

Key words: concentration tails, chloridosublimation, zinc, lead, experiment planning, optimum parameters.

Поступила 25.11.2014

