

УДК 622.772

МРНТИ 52.45.23

<https://doi.org/10.31643/2018/6445.43>Комплексное использование  
минерального сырья. № 4. 2018.С. М. ИСАБАЕВ<sup>1</sup>, Х. М. КУЗГИБЕКОВА<sup>1</sup>, Е. В. ЖИНОВА<sup>1</sup>, И. М. ЖИЛИНА<sup>1</sup>, А. Т. ЖАМУХАМЕТОВА<sup>2</sup><sup>1</sup>Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева, Караганда, Казахстан,

\* e-mail: lab-isabaev@rambler.ru

<sup>2</sup>Карагандинский государственный технический университет, Караганда, Казахстан**ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА НЕКОНДИЦИОННОГО  
МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ С ПОЛУЧЕНИЕМ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ  
ПРОДУКТОВ**

Received: 11 September 2018 / Peer reviewed: 16 September 2018 / Accepted: 15 October 2018

**Аннотация.** Производство ферросплавов занимает ведущее положение в экономике Республики Казахстан. С истощением богатых по содержанию исходного марганцевого сырья возникла проблема необходимости вовлечения техногенных продуктов, т.е. бедных некондиционных руд и отходов производства ферросплавов. С точки зрения охраны окружающей среды регионов производства марганцевых сплавов, актуальными задачами являются: внедрение новых эффективных процессов пылеулавливания; вопросы очистки отходящих газов и шламов; нейтрализация и утилизация отходов. Создание рациональных технологических схем утилизации дисперсных материалов, содержащих целевой элемент выплавляемого ферросплава, является экономически выгодным и экологически обоснованным мероприятием для повышения рентабельности производства. Сернокислотное выщелачивание является головной операцией большинства схем гидрометаллургической переработки марганецсодержащего сырья. В качестве восстановителя применяют пероксид водорода, металлическое железо, пиритный концентрат, сернистый газ, сульфит-бисульфитные растворы. В статье приведены результаты гидрометаллургической переработки марганцевых пылей производства силикомарганца Аксуского завода ферросплавов. Для перевода в раствор псиломелана ( $MnOMnO_2$ ) - оксидного соединения, в виде которого марганец представлен в пыли производства силикомарганца, необходимо присутствие восстановителя в сернокислом растворе, в качестве которого использован пиритный концентрат. Исследовано влияние пирита на восстановление диоксида марганца при выщелачивании серной кислотой путем математического планирования эксперимента вероятностно-детерминированным методом. Определяющими факторами процесса выщелачивания являются: температура, продолжительность процесса, количество добавляемого пирита, концентрация серной кислоты. На основе значимых уравнений частной зависимости составлена математическая модель выщелачивания марганцевой пыли серной кислотой в присутствии пирита в виде обобщенного уравнения:

$$Y_{расч} = 3,7 \cdot 10^{-6} (0,9399x_1 + 5,1847)(-13,761x_2^2 + 62,507x_2 + 23,402) (-0,7429x_3^2 + 14,143x_3 + 23,4) (-00071x_4^2 + 1,466x_4 + 18,323)$$

На основании полученного уравнения выбраны оптимальные условия выщелачивания марганца в сернокислый раствор: температура 70 °С, продолжительность 3 часа, концентрация серной кислоты 5 %, добавка пиритного концентрата 90 % от веса пыли. Степень извлечения марганца составила 95,8 %.

**Ключевые слова:** марганцевые пыли, сернокислотное выщелачивание, пиритный концентрат, оптимальный режим, степень извлечения, гидрометаллургическая переработка, диоксид марганца.

**Введение.** В настоящее время проводятся обширные исследования по гидрометаллургической переработке марганецсодержащего сырья.

Предложено несколько гидрометаллургических способов получения марганца из низкокачественных руд, которые могут конкурировать с выплавкой ферромарганца из руд высокого качества [1-21].

Одной из отрицательных характеристик марганцеворудного сырья является повышенное содержание фосфора, что снижает его металлургическую ценность. В связи с чем в последнее время уделяется внимание

использованию СВЧ энергии для дефосфорации марганцевых окисленных и карбонатных концентратов в процессе их термической обработки [22, 23].

Основанием для проведения исследований по гидрохимической переработке пылей производства силикомарганца послужила идентичность химического и фазового состава исходного сырья с окисленными марганцевыми концентратами и рудами различных месторождений.

**Экспериментальная часть и обсуждение результатов.** Для работы представлены пробы пыли сухой газоочистки и шлам, качественная и

количественная оценка которых необходима для выбора дальнейших приемов переработки сырья с целью извлечения ценных компонентов. В таблице 1 приведены результаты атомно-эмиссионного анализа продуктов, в таблице 2 представлены данные химического анализа.

Таблица 1 - Результаты атомно-эмиссионного анализа

Компоненты	Продукт	
	Пыль	Шлам
Sc, г/т	10	5
P, %	0,05	0,05
Mn, %	20,0	25
Ti, %	0,1	0,1
Zr, %	0,006	0,005
As, %	0,002	0,01
Ga, г/т	15	15
Cr, %	0,05	0,15
Ni, %	0,012	0,012
Ba, %	0,3	0,25
Be, г/т	4	0,8
Pb, %	0,8	0,8
Nb, г/т	3	3
Mo, г/т	6	5
Sn, г/т	2	2
V, %	0,05	0,05
Zn, %	0,5	0,6
Ag, г/т	0,3	0,3
Co, г/т	15	10
Sr, %	0,03	0,03
Tl, %	0,01	0,01
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	5,5	2,5

Таблица 2 - Результаты химического анализа

Продукт	Пыль	Шлам
Mn, %	20,0	25,0
CaO, %	0,4	0,6
Fe <sub>об</sub> , %	1,9	2,8
SiO <sub>2</sub> , %	31,9	18,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	8,2	3,3
MgO, %	4,2	7,9
C, %	4,39	8,8
S, %	0,3	0,6
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , %	7,4	8,2
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , %	1,8	1,6

По данным рентгенофазового анализа марганец в пыли представлен псиломеланом, в шламе – манганокальцитом, железо в виде магнетита и гематита, а также показано наличие

в них кварца, полевого шпата, муллита.

Химический и фазовый состав пыли и шлама показывают, что представленные материалы фактически идентичны и могут быть к ним применены химические методы переработки.

Для перевода в раствор псиломелана (MnOMnO<sub>2</sub>) - оксидного соединения, в виде которого марганец представлен в пыли производства силикомарганца необходимо присутствие восстановителя в сернокислом растворе. В качестве восстановителя и катализатора использован пиритный концентрат. Пирит в данном случае выступает вероятнее всего как катализатор, именно за счет искажений в структуре флотационного пирита, о чем свидетельствуют данные мессбауэровского анализа. Исследовано влияние пирита на восстановление диоксида марганца при выщелачивании серной кислотой путем математического планирования эксперимента вероятностно-детерминированным методом [24].

Использовали пиритный концентрат с содержанием основного вещества 96 %, 0,3-0,5 % халькопирита, 0,5 % сфалерита, незначительное количество галенита, ковеллина и сульфата железа.

Экспериментальная установка состояла из термостатируемого стакана емкостью 500 мл, снабженного обратным холодильником, мешалки, ось которой проходила через холодильник и термостата У-1. Точность в поддержании температуры составляла ±2 °С. Скорость перемешивания подбиралась таким образом, чтобы материал все время находился во взвешенном состоянии.

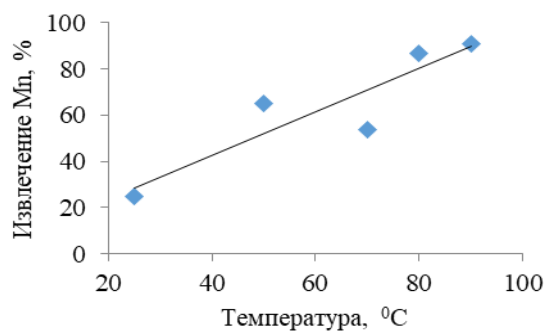
В таблице 3 приведены факторы, от которых зависит степень извлечения марганца в раствор при выщелачивании.

Таблица 3 - Диапазон изменения факторов

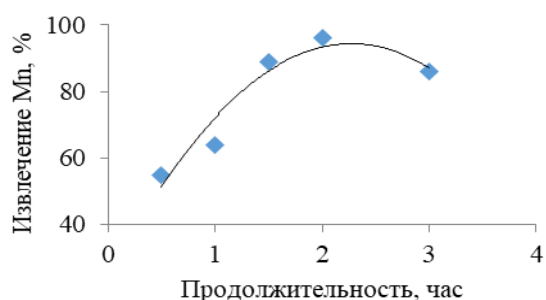
Фактор	1	2	3	4	5
X <sub>1</sub> t опыта, °С	25	50	70	80	90
X <sub>2</sub> τ опыта, час	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
X <sub>3</sub> С кислоты, %	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5
X <sub>4</sub> вес пирита, %	30	50	70	90	100

На основании экспериментальных данных построены точечные графики частных зависимостей извлечения марганца от изучаемых факторов (рисунок 1). Частные зависимости аппроксимированы уравнениями, которые приведены на каждом графике рисунок

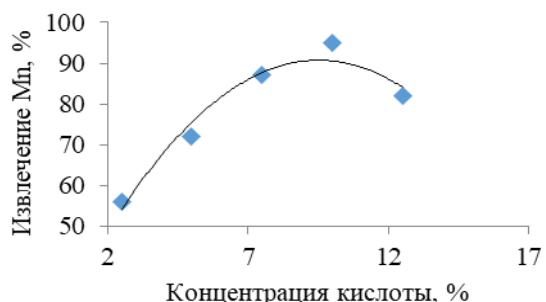
1.



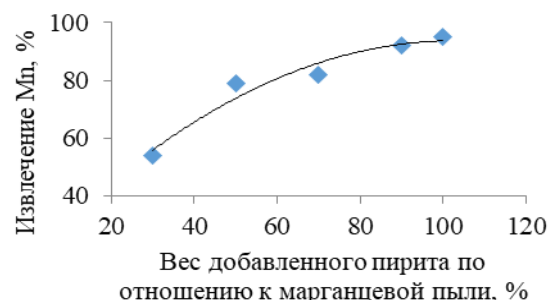
а



б



в



г

Рисунок 1 - Частные зависимости извлечения марганца в сернокислый раствор от температуры (а), продолжительности (б), концентрации кислоты (в), количества добавленного пирита по отношению к марганцевой пыли (г)

Определяющими факторами процесса выщелачивания являются: температура,

продолжительность процесса, количество добавляемого пирита, концентрация серной кислоты.

На основе значимых уравнений частной зависимости составлена математическая модель выщелачивания марганцевой пыли серной кислотой в присутствии пирита в виде обобщенного уравнения:

$$Y_{расч} = 3,7 \cdot 10^{-6}(0,9399x_1 + 5,1847)(-13,761x_2^2 + 62,507x_2 + 23,402) (-0,7429x_3^2 + 14,143x_3 + 23,4)(-00071x_4^2 + 1,466x_4 + 18,323)$$

На основании полученной математической модели выбраны оптимальные условия выщелачивания марганца в сернокислый раствор: температура 70 °С, продолжительность 3 часа, концентрация серной кислоты 5 %, добавка пиритного концентрата 90 % от веса пыли. Степень извлечения марганца составила 95,8 %.

Растворы сульфата марганца всех опытов были объединены и очистка путем добавления прокаленного оксида кальция при pH=4 при нагреве до температуры 80 °С позволила получить кек, содержащий 6,8 % SiO<sub>2</sub>. Свинец остается в кеке в виде сульфата. Цинк концентрируется в кеке в виде кристаллогидрата ZnSO<sub>4</sub>·Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O.

**Выводы.** Из очищенных марганецсодержащих растворов возможно осаждением выделить карбонат или гидрат закиси марганца (при pH 8-10) и после прокаливания (t=700-800 °С) получить марганцевый концентрат, приемлемый для металлургических целей.

Таким образом, на основе лабораторных исследований, предлагается гидрометаллургическая схема переработки марганцевых пылей производства силикомарганца, которая позволит вовлечь в переработку низкокачественное марганцевое техногенное сырье.

*Работа выполнена в рамках программы: «Научно-технологическое обоснование расширения сырьевой базы ферросплавной отрасли за счет вовлечения в технологические процессы слабококующихся энергетических углей и техногенных отходов с целью получения новых материалов многоцелевого назначения», по теме: "Разработка гидрометаллургической технологии получения высококачественной марганцевой продукции из марганцево-железных руд месторождения "Ушкатын-III" (2018-2020 гг.).*

## ЛИТЕРАТУРА

1 Белоглазов И.Н. Использование органических восстановителей в гидromеталлургической переработке оксидных марганецсодержащих материалов // Записки Горного института. – 2006. – Т. 169. – С. 69-70.

2 Токаева З.М. О сернокислотном выщелачивании окисленных марганцевых руд // Горный журнал. – 2000. – № 11-12. – С. 92-94.

3 Теляков Н.М. Влияние специфики состава железомарганцевых конкреций Тихого океана и Балтийского моря на технологические показатели извлечения ценных компонентов // Цветные металлы. – 2016. – № 12. – С. 40–45.

4 Скопов С.В. Особенности восстановительного выщелачивания марганцевых руд // Цветные металлы. – 2004. – № 8. – С. 23-26.

5 Нагуман П.Н. Определение режима прохождения реакции выщелачивания марганца // Обогащение руд. – 2008. – № 4. – С. 33-34.

6 Пат. 2223340 РФ. Способ переработки марганецсодержащего сырья / Малов Е.И., Катков А.Л., Свенцицкий А.Т. Оpubл. 06.05.2002.

7 Дзюба О.И. Комбинированная схема переработки марганцевых руд пирролюзит-псиломеланового состава // Обогащение руд. – 2003. – № 1. – С. 18-22.

8 Пат. 2171305 РФ. Способ извлечения марганца / Ларин В.К., Литвиненко В.Г., Сазанов Н.П., Литвиненко Л.Г., Горбунов В.А. Оpubл. 27.07.2001.

9 Нагуман П.Н. Использование пероксида водорода в качестве восстановителя при выщелачивании диоксида марганца // Обогащение руд. – 2007. – № 5. – С. 23-26.

10 Пат. 2280089 РФ. Способ переработки марганецсодержащих материалов / Павлов А.И., Шишова И.В. Оpubл. 23.10.2003.

11 Нагуман П.Н. Кинетические особенности процесса выщелачивания марганца // Обогащение руд. – 2007. – № 4. – С. 26-28.

12 Пат. 2296174 РФ. Раствор для выщелачивания оксидно-марганцевых руд / Невская Е.Ю., Горичев И.Г. и др. Оpubл. 04.07.2005.

13 Пат. 2222624 РФ. Способ переработки марганцевых карбонатных руд / Хисматуллин С.Г., Шаповалов В.Д. и др. Оpubл. 04.02.2002.

14 Пат. 2213155 РФ. Способ переработки бедных марганцевых руд, шламов и пыли ферросплавных печей / Малов Е. И., Катков А.Л., Свенцицкий А.Т. Оpubл. 03.01.2002.

15 Пат. 2176679 РФ. Способ извлечения марганца из марганцевых руд / Абдрашитов Я.М., Дмитриев Ю.К., Захарова Н.В. и др. Оpubл. 10.12.2001.

16 Пат. 2172358 РФ. Способ переработки марганецсодержащих материалов / Сирина Т.П., Мизин В.Г., Гайдт Д.Д. Оpubл. 20.08.2001.

17 Бектурганов Н.С., Абдыкирова Г.Ж., Танекеева М.Ш., Сукуров Б.М., Ибраева Г.М., Абишева А.Е. Исследование выщелачивания марганца из техногенного сырья - шламов руды месторождения Восточный Камыс // Современные ресурсосберегающие технологии. Проблемы и перспективы: матер. II-й Междунар. науч.-практ. конф. 1 – 5 октября 2012г. - Одесса, 2012. - С. 17-25.

18 Танекеева М.Ш., Абдыкирова Г.Ж., Тусупбаев Н.К., Кшибеков Б.Д. Переработка марганецсодержащего шлама с применением восстановительного выщелачивания // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: тр. Междунар. науч.-практ. конф. 18-19 апреля 2012г. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», 2012. – С. 128-130.

19 Танекеева М.Ш., Абдыкирова Г.Ж., Кшибеков Б.Д., Нурахметова Г.Б. Исследование гидromеталлургической переработки техногенного марганецсодержащего сырья // Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов утилизации техногенных образований: матер. Междун. конгр. 13-15 июня 2012г. – Екатеринбург: ИМЕТ УрО РАН, 2012. – С. 57-62.

20 Танекеева М.Ш., Абдыкирова Г.Ж., Сукуров Б.М., Ибраева Г.М., Исследование физико-химических закономерностей при сернокислотном выщелачивании марганца из техногенного сырья // Современные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья: матер. Междун. совещ. 10-14 сентября 2012г. - Петрозаводск, 2012. – С. 301-303.

21 Танекеева М.Ш. Исследование химического обогащения техногенного марганецсодержащего сырья // Комплексное использование минерального сырья. – 2012. – № 1. – С. 78-89.

22 Jiaqing Yin, Xuewei Lv. Dephosphorization of iron ore bearing high phosphorous by carbothermic reduction assisted with microwave and magnetic separation // ISIJ International. – 2012. – V. 52, № 9. – P. 1579-1584.

23 Hongliang Han, Dongping Duan. Innovative method for seprsrting phosphorus and iron from high-phosphorus oolitic hematite by iron nugget process // Metallurgical and Materials Transactions B. – 2014. – V. 45, – № 5. – P. 1634.

24 Малышев В.П. К определению ошибки эксперимента, адекватности и доверительного интервала аппроксимирующих функций // Вестник НАН РК. – 2000. – № 4. – С. 22-30.

## REFERENCES

1 Beloglazov I.N. *Ispolzovaniye organicheskikh vosstanoviteley v gidrometallurgicheskoy pererabotke oksidnykh marganetssoderzhashchikh materialov* (Use of organic reducers in hydrometallurgical processing of the oxidic materials containing manganese). *Zapiski Gornogo instituta*. 2006. 169. 69-70 (In Russ.).



2 Tokayeva Z.M. *O sernokislotnom vyshchelachivanii oksislennykh margantsevykh rud* (About vitriolic leaching of the oxidized manganese ores). *Gornyy zhurnal*. **2000**. 11-12. 92-94 (In Russ.).

3 Telyakov N.M. *Vliyaniye spetsifiki sostava zhelezomargantsevykh konkretykh Tikhogo okeana i Baltiyskogo morya na tekhnologicheskiye pokazateli izvlecheniya tsennykh komponentov* (Influence of specifics of composition of the concretions of the Pacific Ocean and the Baltic Sea containing iron and manganese on technological indicators of extraction of valuable components). *Tsvetnyye metally=Non-ferrous metals*. **2016**. 12. 40 – 45 (In Russ.).

4 Skopov S.V. *Osobennosti vosstanovitel'nogo vyshchelachivaniya margantsevykh rud* (Features of recovery leaching of manganese ores). *Tsvetnyye metally= Non-ferrous metals*. **2004**. 8. 23-26 (In Russ.).

5 Naguman P.N. *Opreddeniye rezhima prokhozhdeniya reaktivnykh vyshchelachivaniya margantsa* (Definition of the mode of passing of reaction of leaching of manganese). *Obogashcheniye rud=Ore dressing*. **2008**. 4. 33-34 (In Russ.).

6 Patent 2223340 RU. *Sposob pererabotki marganetssoederzhashchego syria* (Way of processing of the raw materials containing manganese). Malov E.I., Katkov A.L., Svetsitskiy A.T. Opubl. 06.05.2002. (In Russ.).

7 Dzyuba O.I. *Kombinirovannaya skhema pererabotki margantsevykh rud pirolizit-psilomelanovogo sostava* (The combined scheme of processing of manganese ores structure manganous peroxide-psilomelan). *Obogashcheniye rud*. **2003**. 1. 18-22 (In Russ.).

8 Patent 2171305 RU. *Sposob izvlecheniya margantsa* (Way of extraction of manganese). Larin V.K., Litvinenko V.G., Sazanov N.P., Litvinenko L.G., Gorbunov V.A. Opubl. 27.07.2001. (In Russ.).

9 Naguman P.N. *Ispolzovaniye peroksida vodoroda v kachestve vosstanovatelya pri vyshchelachivanii dioksida margantsa* (Use of hydrogen peroxide as reducer at manganese dioxide leaching). *Obogashcheniye rud*. **2007**. 5. 23-26 (In Russ.).

10 Patent 2280089 RF. *Sposob pererabotki marganetssoederzhashchikh materialov* (Way of processing of the materials containing manganese). Pavlov A.I., Shishova I.V. Opubl. 23.10.2003. (In Russ.).

11 Naguman P.N. *Kineticheskiye osobennosti protsessov vyshchelachivaniya margantsa* (Kinetic features of process of leaching of manganese). *Obogashcheniye rud*. **2007**. 4. 26-28 (In Russ.).

12 Patent 2296174 RU. *Rastvor dlya vyshchelachivaniya oksidno-margantsevykh rud* (Solution for leaching of oxide-manganese ores). Nevskaya E.Yu., Gorichev I.G. i dr. Opubl. 04.07.2005. (In Russ.).

13 Patent 2222624 RU. *Sposob pererabotki margantsevykh karbonatnykh rud* (Way of processing of manganese carbonate ores). Khismatullin S.G., Shapovalov V.D. i dr. Opubl. 04.02.2002. (In Russ.).

14 Patent 2213155 RU. *Sposob pererabotki bednykh margantsevykh rud, shlamov i pyli ferrosplavnykh pechey* (Way of processing of poor manganese ores, slimes and dust of ferroalloy furnaces). Malov E. I., Katkov A.L., Svetsitskiy A.T. Opubl. 03.01.2002. (In Russ.).

15 Patent 2176679 RU. *Sposob izvlecheniya margantsa iz margantsevykh rud* (A way of extraction of manganese from manganese ores). Abdrashitov Ya.M., Dmitriyev Yu.K., Zakharova N.V. i dr. Opubl. 10.12.2001. (In Russ.).

16 Patent 2172358 RU. *Sposob pererabotki marganetssoederzhashchikh materialov* (Way of processing of marganetssoederzhashchy materials). Sirina T.P., Mizin V.G., Gaydt D.D. Opubl. 20.08.2001. (In Russ.).

17 Bekturganov N.S., Abdykirova G.Zh., Tanekeyeva M.Sh., Sukurov B.M., Ibrayeva G.M., Abisheva A.E. *Issledovaniye vyshchelachivaniya margantsa iz tekhnogennoy syria - shlamov rudy mestorozhdeniya Vostochnyy Kamys* (Research of leaching of manganese from technogenic raw materials - field ore slimes East Kamys). *Sovremennyye resursoberegayushchiye tekhnologii. Problemy i perspektivy: mater. II-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* (Materials of the II International scientific and practical conference "Modern resource-saving technologists. Problems and prospects") 1 – 5 oktyabrya 2012g. Odessa, **2012**. 17-25. (In Russ.).

18 Tanekeyeva M.Sh., Abdykirova G.Zh., Tusupbayev N.K., Kshibekov B.D. *Pererabotka marganetssoederzhashchego shlama s primeneniym vosstanovitel'nogo vyshchelachivaniya* (Processing of the slime containing manganese with application of recovery leaching). *Nauchnyye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennoy syria: tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* (Works of the International scientific and practical conference "Scientific Bases and Practice of Processing of Ores and Technogenic Raw Materials") 18-19 aprelya 2012g. Ekaterinburg: GOU VPO «Uralskiy gosudarstvennyy gornyy universitet», **2012**. 128-130 (In Russ.).

19 Tanekeyeva M.Sh., Abdykirova G.Zh., Kshibekov B.D., Nurakhmetova G.B. *Issledovaniye gidrometallurgicheskoy pererabotki tekhnogennoy marganetssoederzhashchego syria* (Research of hydrometallurgical processing of the technogenic raw materials containing manganese). *Fundamentalnyye issledovaniya i prikladnyye razrabotki protsessov utilizatsii tekhnogennykh obrazovaniy: mater. Mezhdun. kongr.* (Materials of the International congress "Basic Researches and Applied Developments of Processes of Utilization of Technogenic Educations") 13-15 iyunya 2012g. Ekaterinburg: IMET UrO RAN, **2012**. 57-62 (In Russ.).

20 Tanekeyeva M.Sh., Abdykirova G.Zh., Sukurov B.M., Ibrayeva G.M. *Issledovaniye fiziko-khimicheskikh zakonomernostey pri sernokislotnom vyshchelachivaniy margantsa iz tekhnogennoy syria* (Research of physical and chemical regularities at

vitriolic leaching of manganese from technogenic raw materials). *Sovremennyye metody tekhnologicheskoy mineralogii v protsessakh kompleksnoy i glubokoy pererabotki mineralnogo syr'ya: mater. Mezhdun. soveshch.* (Materials of the International meeting "Modern methods of technological mineralogy in processes of complex and deep processing of mineral raw materials") 10-14 sentyabrya 2012g. Petrozavodsk, **2012**. 301-303. (In Russ.).

21 Tanekeyeva M.Sh. *Issledovaniye khimicheskogo obogashcheniya tekhnogennogo marganetsoderzhashchego syr'ya* (Materials of the International meeting "Modern methods of technological mineralogy in processes of complex and deep processing of mineral raw materials"). *Kompleksnoye ispol'zovaniye mineralnogo syr'a*. **2012**. 1. 78-89 (In Russ.).

22 Jiaqing Yin. Xuewei Lv. Dephosphorization of iron ore bearing high phosphorous by carbothermic reduction assisted with microwave and magnetic separation. *ISIJ International*. **2012**. 52. 9. 1579-1584 (In Eng.).

23 Hongliang Han. Dongping Duan. Innovative method for seprsting phosphorus and iron from high-phosphorus oolitic hematite by iron nugget process. *Metallurgical and Materials Transactions B*. **2014**. 45. 5. 1634 (In Eng.).

24 Malyshev V.P. *K opredeleniyu oshibki eksperimenta. adekvatnosti i doveritelnogo intervala approksimiruyushchikh funktsiy* (To definition of an error of experiment, adequacy and a confidential interval of the approximating functions). *Vestnik NAN RK*. **2000**. 4. 22-30 (In Russ.).

С. М. ИСАБАЕВ<sup>1</sup>, Х. М. КҮЗГІБЕКОВА<sup>1</sup>, Е. В. ЖИНОВА<sup>1</sup>, И. М. ЖИЛИНА<sup>1</sup>, А. Т. ЖАМҰХАМЕТОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды, Қазақстан, \* e-mail: lab-isabaev@rambler.ru

<sup>2</sup>Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

#### ЖОҒАРЫСАПАЛЫ ӨНІМДЕРДІ АЛУҒА БАҒЫТТАЛҒАН КОНДИЦИЯҒА САЙ ЕМЕС МАРГАНЕЦҚҰРАМДЫ ШИКІЗАТТЫ ГИДРОМЕТАЛЛҮРГИЯ АРҚЫЛЫ ҚАЙТА ӨНДЕУ

**Түйіндеме.** Қазақстан Республикасының экономикасында ферроқорытпалар өндірісі жетекші орын алуда. Бастапқы мөлшері бойынша бай марганецті шикізаттың сарқылуына байланысты техногенді өнімдерді, яғни кедей кондициялы емес кендер мен ферроқорытпа өндірісінің қалдықтарын өндеуге тартудың қажеттілігі туындауда. Марганецті қорытпаларды өңдейтін өңірлердегі қоршаған ортаны қорғау тұрғысынан алғанда тозаң аулаудың жаңа тиімді үрдістерін енгізіу, шығын газдары мен шламдарды тазарту мәселелері, қалдықтарды бейтараптандыру және қайта кәдеге жарату көкейтесті міндеттер болып табылады: Қорытылатын ферроқорытпаның мақсатты элементінен тұратын, ұсақ түйіршікті материалдарды қайта іске асырудың тиімді технологиялық сұлбаларын құрау өндірістің тиімділігін жоғарлатуда экономикалық тиімді және экологиялық таза іс-шара болып табылады. Күкірт қышқылында шаймалау құрамында марганеці бар шикізаттарды гидрометаллургиялық жолмен өндеудегі сұлбалардың көпшілігіндегі басты операция болып табылады. Тотықсыздандырғыш ретінде сутек пероксиді, металданған темір, пиритті концентрат, күкіртті газ, сульфитті-бисульфитті ерітінділер қолданылады. Мақалада Ақсу ферроқорытпалар зауытындағы силикомарганец өндірісінің марганецті тозаңдарын гидрометаллургиялық жолмен өндеудің нәтижелері көрсетілген. Оксидті қосылыс- псиломеланды (MnOMnO<sub>2</sub>) ерітіндіге өткізу үшін күкірт қышқылды ерітіндіде тотықсыздандырғыштың болуы қажет, сондай . тотықсыздандырғыш ретінде пирит концентраты қолданылды. Экспериментті математикалық жоспарлаудың ықтималды-детерминделген әдісі бойынша күкірт қышқылымен шаймалау жағдайында марганец диоксидінің тотықсыздануына пириттің ықпалы зерттелді. Шаймалау үрдісінің анықтаушы факторларына жататындар мыналар: температура, үрдістің ұзақтығы, пириттің қосылатын мөлшері, күкірт қышқылының концентрациясы. Жеке тәуелділіктің маңызды теңдіктері негізінде марганецті тозаңды пириттің қатысуындағы күкіртті қышқылмен шаймалаудың математикалық моделі/үлгісі жалпылама теңдік түрінде құрастырылды:

$$Y_{ЕСЕП} = 3,7 \cdot 10^{-6} (0,9399x_1 + 5,1847)(-13,761x_2^2 + 62,507x_2 + 23,402)(-0,7429x_3^2 + 14,143x_3 + 23,4)(-0,0071x_4^2 + 1,466x_4 + 18,323).$$

Алынған теңдік негізінде марганецті күкірт қышқылы ерітіндісінде шаймалаудың оңтайлы шарттары таңдап алынды: температурасы - 70<sup>0</sup>С, ұзақтығы- 3 сағ, күкірт қышқылының концентрациясы -5%, пирит концентратын қоспау -90% тозаң салмағынан. Марганецті бөлу дәрежесі 95,8 пайызды құрады.

**Түйін сөздер:** марганецті тозаңдар, күкірт қышқылымен шаймалау, пиритті концентрат, оңтайлы режим, бөлу дәрежесі, гидрометаллургиялық өндеу, марганец диоксиді.

S. M. ISABAYEV<sup>1</sup>, H. M. KUZGIBEKOVA<sup>1</sup>, E. V. ZHINOVA<sup>1</sup>, I. M. ZILINA<sup>1</sup>, A. T. ZHAMUKHAMETOVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Himiko-Metallurgical Institute named after Zh. Abishev, Karaganda, Kazakhstan, \* e-mail: lab-isabaev@rambler.ru

<sup>2</sup>Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan

### HYDROMETALLURGICAL PROCESSING OF NON-CONCENTRATED MANGANESE-CONTAINING RAW MATERIAL WITH RECEIVING HIGH-QUALITY PRODUCTS

**Abstract.** The production of ferroalloys occupies a leading position in the economy of the Republic of Kazakhstan. With the depletion of rich in the content of the initial manganese raw materials, a problem arose that it was necessary to involve technogenic products, i.e. poor sub-standard ores and wastes produced by ferroalloys. From the point of view of environmental protection of regions producing manganese alloys, the current tasks are: the introduction of new efficient dust collection processes; issues of cleaning of waste gases and sludges; neutralization and utilization of waste. The creation of rational technological schemes for the utilization of dispersed materials that contain the target element of the ferroalloy to be melted is an economically viable and environmentally sound measure for increasing the profitability of production. Sulfuric acid leaching is the main operation of most schemes of hydrometallurgical processing of manganese-containing raw materials. Hydrogen peroxide, metallic iron, pyrite concentrate, sulfur dioxide, sulfite-bisulphite solutions used as the reducing agent. The article presents the results of hydrometallurgical processing of manganese dusts produced by the silicomanganese of the Aksu Ferroalloy Plant. To convert the solution of psilomelane ( $MnOMnO_2$ ) - an oxide compound, in which manganese is represented in silicomanganese dust, the presence of a reducing agent in the sulfuric acid solution, which is used as a pyrite concentrate, is necessary. The effect of pyrite on the reduction of manganese dioxide during leaching with sulfuric acid studied by mathematical planning of the experiment by a probabilistic-deterministic method. The determining factors of the leaching process are: temperature, duration of the process, amount of pyrite added, concentration of sulfuric acid. On the basis of significant equations of partial dependence, a mathematical model for the leaching of manganese dust by sulfuric acid in the presence of pyrite is compiled in the form of a generalized equation:

$$Y_{\text{пачи}} = 3,7 \cdot 10^{-6} (0,9399x_1 + 5,1847)(-13,761x_2^2 + 62,507x_2 + 23,402)(-0,7429x_3^2 + 14,143x_3 + 23,4)(-0,0071x_4^2 + 1,466x_4 + 18,323).$$

On the basis of the obtained equation, the optimal conditions for manganese leaching into a sulfuric acid solution are selected: temperature 700 °C, duration 3 hours, sulfuric acid concentration 5 %, additive of pyritic concentrate 90 % of the dust weight. The degree of manganese extraction was 95.8 %.

**Keywords:** manganese dusts, sulfuric acid leaching, pyrite concentrate, optimal regime, extraction degree, hydrometallurgical processing, manganese dioxide.

*Поступила 11.09.2018*