

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 3, Number 423 (2017), 114 – 121

**S. A. Kvyatkovskiy<sup>1</sup>, S. M. Kozhakhmetov<sup>1</sup>, Ye. A. Ospanov<sup>2</sup>,  
A. S. Semenova<sup>1</sup>, R. S. Seisembayev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Kazakhmys Corporation LLP, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: kvyatkovskiy55@mail.ru

## OXIDATIVE ROASTING OF COLLECTOR GOLD-CONTAINING MATTES

**Abstract.** Objective: to study the parameters of the roasting process of sulphide mattes - collectors of precious metals, obtained by the method of reducing pyrometallurgical selection (RPS-process) with direct smelting of refractory gold ores. The object of research were collectors for gold mattes, sinter and volatile components of roasting - sulfur, arsenic and carbon.

Methods of work: smelting ores in laboratory furnaces, roasting in a laboratory tubular furnace with different oxygen content in the oxidizing gas mixture, chemical and mineralogical analyzes. The optimal temperature conditions for roasting and the influence of the fineness of the matte particles on the degree of transition of the volatile components to the gas phase are determined. The influence of the oxygen content in the gas mixture on the degree of transition to the gas phase of sulfur, arsenic and carbon at the optimum temperature has been studied. The experiments were carried out at temperature of 800 °C. It was found that the change SO<sub>2</sub> in gas phase in the air atmosphere occurred for four hours, and in the atmosphere of technical oxygen this process was practically completed in 60 minutes. At the same time, the maximum values of SO<sub>2</sub> were achieved in the first 10 minutes. The distribution of volatile components was determined for roasting products.

**Keywords:** gold-bearing ore, smelting, collector matte, roasting, sinter, reduction melting, metallic phase.

УДК669.21/23

**С. А. Квятковский<sup>1</sup>, С. М. Кожаметов<sup>1</sup>, Е. А. Оспанов<sup>2</sup>,  
А. С. Семенова<sup>1</sup>, Р. С. Сейсембаев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>ТОО «Корпорация Казахмыс», Алматы, Казахстан

## ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ ОБЖИГ КОЛЛЕКТОРНЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ШТЕЙНОВ

**Аннотация.** Цель работы – исследования параметров процесса обжига сульфидных штейнов – коллекторов благородных металлов, получаемых по способу сократительная пирометаллургическая селекция (СПС-процесс) при прямой плавке упорных руд золота. Объектом исследований явились коллекторные для золота штейны, огарки и летучие составляющие обжига – сера, мышьяк и углерод. Методы проведения работы:

плавка шихты в лабораторных печах, обжиг в лабораторной трубчатой печи с различным содержанием кислорода в окислительной газовой смеси, химический и минералогический анализы. Определены оптимальные температурные условия обжига и влияние крупности частиц штейна на степень перехода летучих компонентов в газовую фазу. Изучено влияние содержания кислорода в дутье на степень перехода в газовую фазу серы, мышьяка и углерода при оптимальной температуре. Эксперименты проведены при температуре 800 °С. Установлено, что изменение содержания в газовой фазе SO<sub>2</sub> при проведении экспериментов в атмосфере воздуха происходило в течение четырех часов, а в атмосфере технического кислорода этот процесс был практически завершен за 60 минут. При этом достижение максимальных величин выделения SO<sub>2</sub> было достигнуто за первые 10 минут. Установлено распределение летучих компонентов по продуктам обжига.

**Ключевые слова:** золотосодержащая руда, плавка, коллекторный штейн, обжиг, огарок, восстановительная плавка, металлизированная фаза.

**Введение.** Среди наиболее актуальных проблем развития цветной металлургии особое значение имеет производство золота. Стратегическое значение этого металла заключается в его функции всеобщего эквивалента, страхового и резервного фонда, обеспечивающего в случае необходимости платежные средства в любой национальной валюте. К этому следует добавить имеющийся в мире высокий спрос на золото для ювелирного дела, электронной промышленности и других наукоемких производств, при постоянно растущей в последние годы стоимости металла.

Основные современные проблемы золотодобывающих предприятий, как в мировой промышленной практике, так и в Казахстане связаны с изменением сырьевой базы в сторону ухудшения качества руд и с необходимостью увеличения производства золота из трудно перерабатываемого сырья. При этом применяемые технологии не обеспечивают необходимый уровень охраны окружающей среды и требуют существенного повышения технологических показателей производства. Это имеет место, как в пирометаллургических, так и в гидрометаллургических способах извлечения этого металла.

Использование на основных золотоизвлекающих предприятиях устаревших, малопроизводительных, многооперационных и экологически опасных технологий добычи, обогащения и металлургической переработки труднообогатимых золотосодержащих руд сегодня являются основными сдерживающими факторами роста и интенсификации производства золота. В результате этого допускаются большие потери золота, особенно на стадиях обогащения «упорных» и «особо упорных» к вскрытию коренных руд с хвостами, в которых остается до 1,5-2,5 г/т золота. По этой причине общее его сквозное извлечение в товарную продукцию из подобного сырья не превышает 60-70% и руды данного типа относятся к категории труднообогатимых [1, 2].

Как известно, более 50% имеющихся активных запасов руд золота характеризуются как сложные для обогащения, содержат вредные для существующих технологий примеси – мышьяк, сурьму и углерод. По мнению экспертов, на долю подобных руд приходится около 60% от текущих запасов. В металлургии золота данные руды относят к упорным.

Для многих казахстанских месторождений сульфидных золотосодержащих руд характерно наличие большого количества вышеперечисленных вредных примесей в руде. В связи с этим определенная часть запасов характеризуется как упорное и труднообогатимое сырье. Для таких месторождений на данный момент нет эффективных технологий обогащения и металлургической переработки. По этой причине такие месторождения золота в настоящее время в промышленном масштабе не эксплуатируются.

Исходя из такого состояния золотодобывающей подотрасли, предусмотрена разработка целого ряда принципиально новых процессов переработки коренных руд золота, обеспечивающих существенное сокращение потерь металла и необходимую интенсификацию металлургического процесса. Одним из направлений решения такой задачи стала разработка технологии сократительной пироселекции (СПС-процесс), заключающейся в использовании прямой плавки золотосодержащих упорных руд с переводом благородных металлов в коллекторный штейн [3]. На рисунке 1 приведена общая технологическая схема переработки таких золотосодержащих руд с помощью СПС-процесса с переводом благородных металлов в коллекторный штейн. Одним из вариантов переработки такого штейна является обжиг с последующей восстановительной плавкой огарка с получением оборотного шлака и металлизированной фазы, концентрирующей благородные металлы [3, 4].

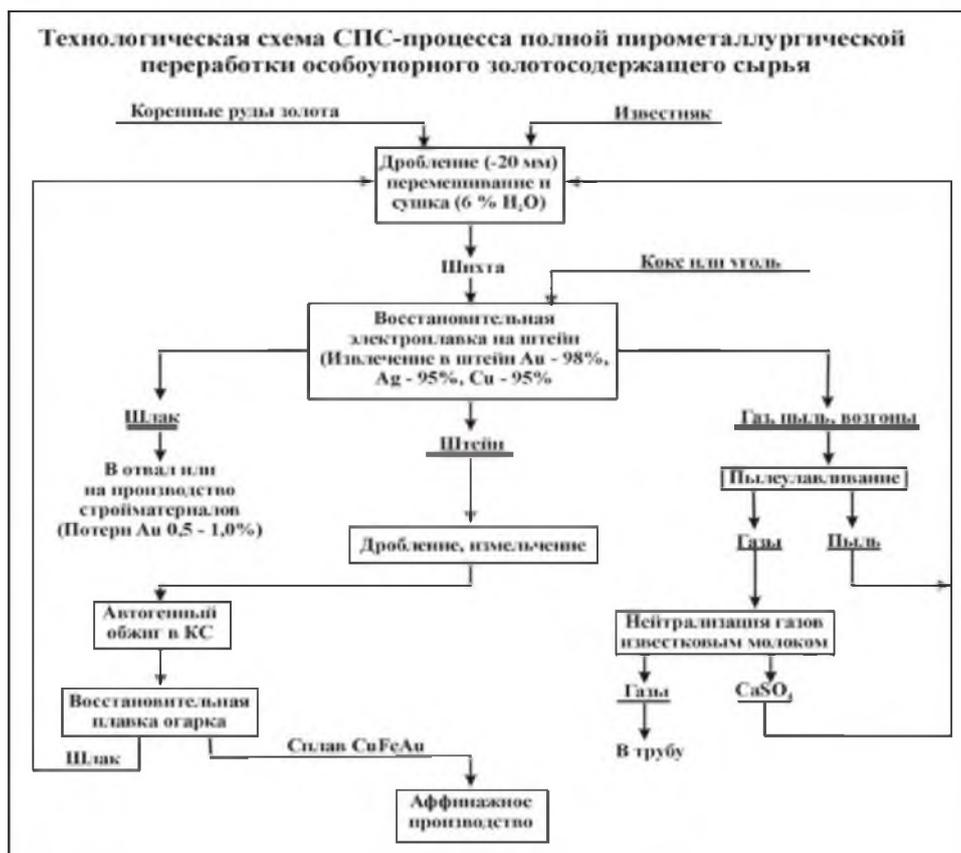


Рисунок 1 – Технологическая схема СПС-процесса пирометаллургической переработки особоупорного золотосодержащего сырья

Figure 1 – Technological scheme of the RPS process of pyrometallurgical processing of high refractory gold-bearing raw material

В целом, в золотодобывающей отрасли мира на многих предприятиях широко применяют различные варианты процесса обжига золотосодержащего сырья. Основной анализ работы этих предприятий приведен в монографиях [1, 5]. При этом на ряде зарубежных золотодобывающих предприятий применяются различные виды процесса прямого обжига коренных руд золота, содержащих серу, мышьяк, углерод, ртуть и другие летучие компоненты [6-12]. Процессы обжига золотосодержащих концентратов с получением огарков для дальнейшего их цианирования в промышленных масштабах эксплуатируются на предприятиях США, Канады, ЮАР и ряда других стран [1, 13, 14].

Получение богатых золотом коллекторных штейнов и их обжиг в печах кипящего слоя был испытан при промышленных испытаниях восстановительной электроплавки золото-мышьяковых концентратов в Казахстане на Акбакайском горно-металлургическом комбинате [4]. Однако, в настоящее время в литературе отсутствуют данные исследовательских и технологических работ по изучению процесса окислительного обжига железистых коллекторных штейнов, полученных при прямой плавке упорных руд золота, минуя их обогащение.

Исходя из этого, основной задачей исследований данной работы было детальное изучение процесса окислительного обжига коллекторных штейнов, полученных при прямой плавке упорных коренных руд золота. Особое внимание было уделено разработке основных технологических параметров процесса, обеспечивающих высокую степень извлечения из них золота и других металлов.

Теория твердофазного окислительного обжига сульфидных материалов представлена достаточно широко, в том числе в работах В. И. Смирнова [15] и Е. В. Маргулиса [16]. Результаты лабораторных исследований и технологических испытаний СПС-процесса с получением коллекторных для золота штейнов различных составов опубликованы в работах [17-20].

### Экспериментальная часть, результаты и их обсуждение

Для выполнения работы был использован коллекторный для золота и других металлов штейн состава, %: 51,07 Fe, 33,7 S, 4,14 Cu, 0,32 As, 1,9 C, 57,2 г/т Au и 43,0 г/т Ag, полученный нами при СПС-плавке упорных руд золота месторождения Бакырчик совместно с медным сульфидным концентратом, составы которых приведены в таблице 1. Поскольку коллекторный штейн был получен при плавках, проведенных в оптимальных условиях, коренной руды месторождения Бакырчик, содержащей 1,48 % углерода, содержание углерода в штейне находилось в пределах 2 %.

Таблица 1 – Химический состав руды м. Бакырчик и сульфидного медного концентрата

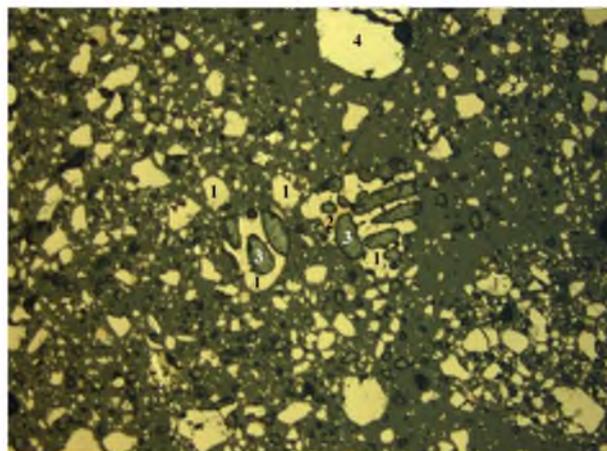
Table 1 – Chemical composition of Baikyrchik ore and sulphide copper concentrate

Материал	Химический состав									
	г/т		%							
	Au	Ag	Cu	Fe	S	As	C	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Руда м. Бакырчик	12,0	1,1	–	9,5	7,9	2,05	1,48	51,6	2,2	11,2
Медный сульфидный концентрат	1,64	61,05	20,5	27,5	36,67	0,09	–	3,6	1,52	1,54

Основная масса пробы коллекторного золотосодержащего штейна представлена троилитом (рисунок 2). Обломки зерен размером от тысячных долей до 0,2 мм в поперечном сечении. Минерал, образованный как результат термической обработки, обладает свойствами, присущими природному пирротину. Он розовато-коричневый, имеет высокую отражательную способность (~40%), сильно анизотропен с едва заметным цветным эффектом. Вскипает от воздействия HNO<sub>3</sub>. Встречаются сростки и включения минеральных фаз в сплаве металлического железа с арсенопиритом. Присутствуют эти сплавы и как свободные образования. Борнит в отраженном свете характеризуется свойствами, присущими природному борниту. Под микроскопом он бежевый, изотропный, обладает средней отражательной способностью. Присутствует в свободных зернах и в сростках с троилитом. Ольдгамит в отраженном свете темно-серый, изотропный. Отмечается как в свободной форме, так и в сростках троилитом и со сплавами.

Рисунок 2 –  
Штейн: троилит (1) в свободных зернах  
и в сростании с борнитом (2), ольдгамитом (3),  
сплав железа с мышьяком (4), ×100

Figure 2 –  
Matte: troilite (1) in free grains and in intergrowth  
with bornite (2), oldhamite (3),  
alloy iron with arsenic (4), ×100



В работе [7] были приведены результаты наших исследований процесса обжига золотосодержащих коллекторных штейнов в интервале температур 600-900 °С. Ниже представлены данные экспериментального изучения процесса окислительного обжига коллекторных штейнов при различном содержании кислорода в газовой фазе.

Для изучения влияния содержания кислорода в газовой фазе на процесс окисления исследуемых штейнов с удалением серы, мышьяка и углерода проводились опыты в трубчатой лабораторной печи СУОЛ-0,25.1/12-М1 с нихромовым нагревателем (рисунок 3). В печь вставлялась кварцевая трубка, диаметр которой подбирался под диаметр трубки самой печи. Для герметизации

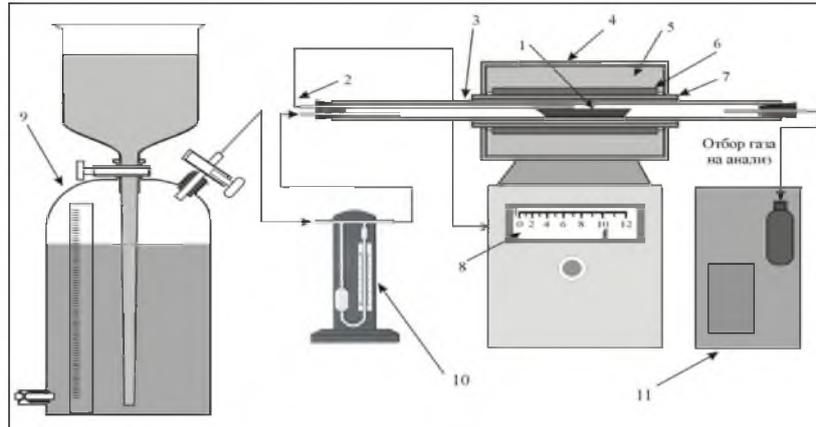


Рисунок 3 – Установка для обжига штейна:

1 – лодочка со штейном; 2 – термопара; 3 – кварцевая труба; 4 – корпус; 5 – теплоизоляция; 6 – нагреватель; 7 – керамическая труба; 8 – милливольтметр; 9 – газометр; 10 – реометр лабораторный; 11 – газоанализатор ПЭМ-2М

Figure 3 – Equipment for mattes roasting:

1 – crucible with matte; 2 – thermocouple; 3 – quartz tube; 4 – casing; 5 – thermal insulation; 6 – heater; 7 – ceramic tube; 8 – millivoltmeter; 9 – gas meter; 10 – rheometer laboratory; 11 – gas analyzer PEM-2M

трубка с обоих концов закрывалась резиновыми пробками с отверстиями для продувки и термопары. Внутри трубки помещались лодочки с образцами исследуемого штейна. При помощи газометра контролировалась подача кислорода и предварительно подготавливалась газовая смесь с различным соотношением кислорода и воздуха. Кроме такого способа подачи окислительной смеси использовалась также подача воздуха и кислорода из баллонов со сжатыми газами. Для контроля подачи и расхода воздуха использовались лабораторные стеклянные реометры типа РДС.

Выполненными ранее экспериментами была определена оптимальная температура процесса обжига – 800 °С [7]. При этой температуре обеспечивается высокая скорость окисления штейна без спекания. Подъем температуры в печи производился в среде аргона. Началом экспериментов по окислению штейнов считалось начало подачи в печь окислительной газовой смеси заданного состава.

Первые опыты проводились в атмосфере воздуха с навеской исследуемого штейна весом 20 г при постоянной температуре печи 800 °С и скорости подачи воздуха 1,0 л/мин. На рисунке 4

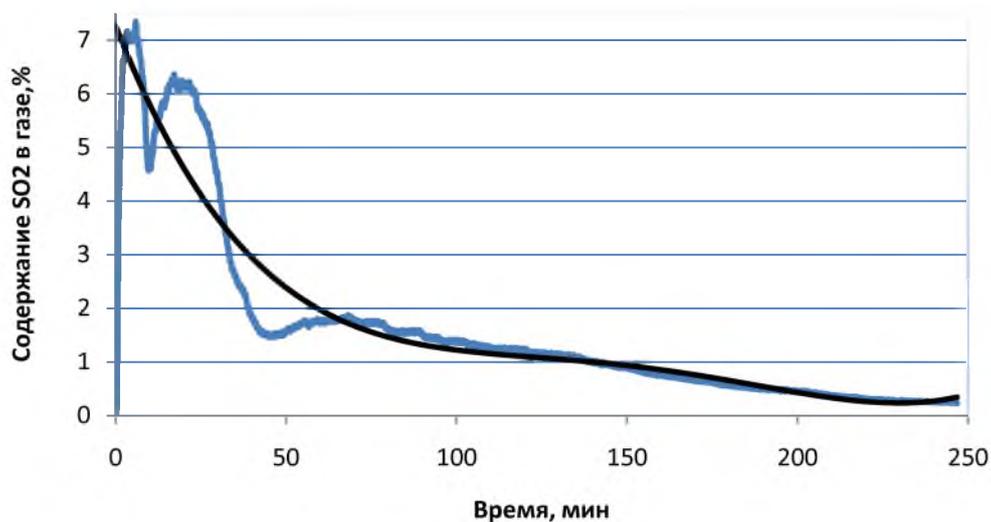


Рисунок 4 – Изменение содержания SO<sub>2</sub> в отходящих газах при окислении коллекторных штейнов воздухом при 800 °С

Figure 4 – Change in SO<sub>2</sub> content in out-put gases at oxidation of collector mattes by air at 800 °С

приведены экспериментальные данные опытов по окислению исследуемой пробы штейна с контролем содержания  $\text{SO}_2$  в газовой фазе, определяемого газоанализатором ПЭМ-2М, работающим на основе измерения электропроводности газов.

Из представленных выше результатов видно, что процесс выделения  $\text{SO}_2$  в газовой фазе идет в течение четырех часов через максимум в 7,05 %, достигаемый через 5 минут после начала опыта. В данном случае экспериментальные кривые представляют собой степень окисления исследуемого штейна при постоянной температуре в зависимости от содержания кислорода в газовой фазе, выражаемой содержанием сернистого ангидрида в отходящих газах. Поэтому характер кривых напоминает зависимость максимальной скорости окисления сернистого железа от температуры. Неравномерное выделение диоксида серы связано очевидно с диффузионными затруднениями. При хорошем перемешивании, обеспечивающим доступ газовой фазы к поверхности штейновых частиц (например, во вращающихся трубчатых печах или печах кипящего слоя) следует ожидать более равномерного выделения диоксида серы. Химический состав огарка данного эксперимента показал следующие остаточные содержания летучих компонентов, %: S – 5,41; As – 0,03; C – 0,61.

Вторая серия опытов по окислению коллекторных для золота штейнов проводилась в атмосфере технического кислорода. Результаты этих экспериментов представлены на рисунке 5. Как и ожидалось, полученные результаты показали значительную скорость окисления. Максимальная концентрация  $\text{SO}_2$  14,5 % в отходящих газах была достигнута за 10 минут. Выделение диоксида серы прекратилось через 50 минут. Химический состав огарка, %: S – 4,71; As – 0,03; C – 0,40. Таким образом, интенсивность окисления коллекторного штейна при использовании технического кислорода, возросла в пять раз.

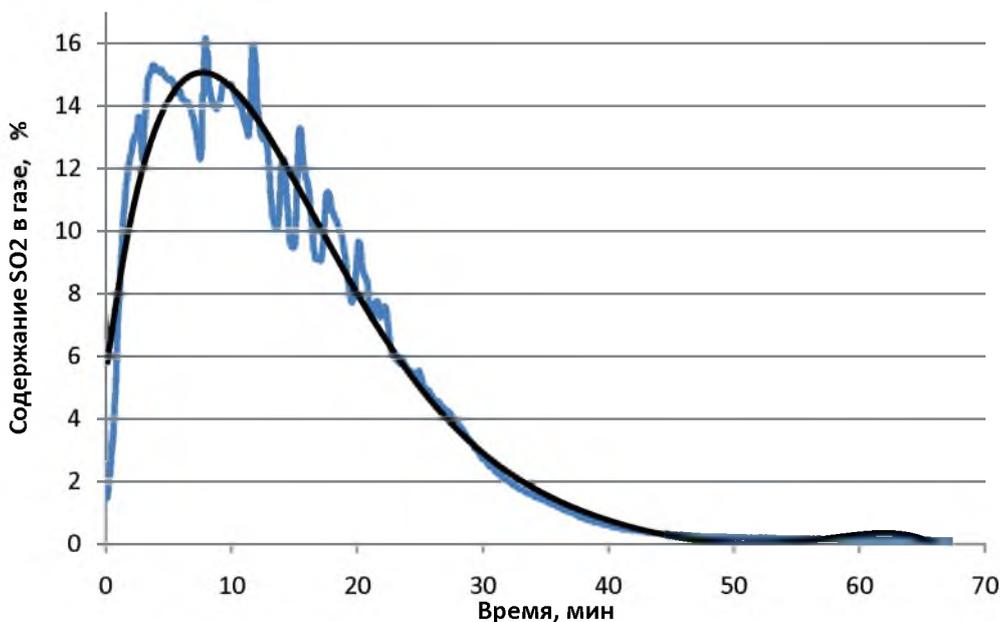


Рисунок 5 – Изменение содержания  $\text{SO}_2$  в газовой фазе при окислении коллекторных штейнов кислородом при 800 °C

Figure 5 – Change in  $\text{SO}_2$  content in the gas phase at oxidation of collector mattes with oxygen at 800 °C

Таблица 2 – Извлечение серы, мышьяка и углерода в газовую фазу при обжиге коллекторных штейнов

Table 2 – Extraction of sulfur, arsenic and carbon in the gas phase during roasting of collector mattes

Газ, используемый для окисления	Степень извлечения в газовую фазу, %		
	S	C	As
Воздух	84,18	71,21	> 90
$\text{O}_2$	86,23	79,21	>90

В таблице 2 представлены данные по степени извлечения серы, мышьяка и углерода в газовую фазу при обжиге коллекторных штейнов воздухом и кислородом, из которой следует, что вид окислителя практически не повлиял на степень перехода серы и мышьяка в газовую фазу, а углерод, содержащийся в коллекторном штейне, в атмосфере кислорода окисляется значительно полнее, чем на воздухе.

**Заключение.** Таким образом, при проведении лабораторных экспериментов по моделированию процесса обжига исследуемых золотосодержащих штейнов с повышением содержания кислорода в окислительной газовой смеси закономерно происходит интенсификация процесса. Так, завершение процесса окисления сульфидных коллекторных штейнов достигается при 800 °С в атмосфере воздуха за 240 минут, а в атмосфере технического кислорода – за 40 минут.

Из анализа приведенных данных по составу огарков, полученных при обжиге золотосодержащих коллекторных штейнов, можно судить о поведении компонентов, способных переходить в газовую фазу. Проведенные экспериментальные работы показали возможность достаточно полного перевода серы, углерода и мышьяка в газовую фазу из коллекторного штейна при обжиге, как на воздухе, так и в техническом кислороде.

В целом, процессы обжига золотосодержащих коллекторных штейнов в случае необходимости могут быть проведены с использованием в качестве окислителя воздуха или обогащенного кислородом воздуха, в обжиговых печах кипящего слоя или во вращающихся трубчатых печах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Захаров Б.А., Меретуков М.А. Золото: упорные руды. – М.: Руда и металлы, 2013. – 452 с.
- [2] Кожухметов С.М., Бектурганов Н.С., Квятковский С.А. Пирометаллургическое обогащение труднообогатимых упорных руд золота // Современные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья: мат-лы междунар. совещ. «Плаксинские чтения-2012». – Петрозаводск, 2012. – 391 с.
- [3] Омаров С.И., Кожухметов С.М., Омарова Н.С., Ниталина В.А., Омарова А.С. Электроплавка на металлизированный штейн как способ извлечения благородных металлов из упорных золото-мышьяковистых концентратов // Цветные металлы. – 2004. – № 4. – С. 49-51.
- [4] Лерман Б.Д., Омарова Н.С. Промышленные испытания восстановительной электроплавки золотомышьяковых концентратов Акбакайского ГОКа // Горный журнал Казахстана. – 2008. – № 3. – С. 33-35.
- [5] Баликов С.В., Дементьев В.Е., Минеев Г.Г. Обжиг золотосодержащих концентратов. – Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 2002. – 416 с.
- [6] Лодейщиков В.В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд. – В 2-х томах. – Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 1999.
- [7] Deter Ken W., McCord Ton H. Oxygen whole ore roasting at Jerritt Canyon Joint Venture // SME Annual Meeting, 1991. – P. 91-112.
- [8] [https://dspace.library.colostate.edu/bitstream/handle/11124/170042/Friesinger\\_mines\\_0052N\\_10942.pdf?sequence=1](https://dspace.library.colostate.edu/bitstream/handle/11124/170042/Friesinger_mines_0052N_10942.pdf?sequence=1)
- [9] Dunne R., LeVier M., Acar S., Kappes R. Keynote address: Newmont's contribution to gold technology // World Gold Conference. – 2009. – P. 221-230.
- [10] McMullen J., Thomas K.G. Gold roasting, autoclaving, or bio-oxidation process selection based on bench-scale and pilot plant test work and costs // Mineral processing plant design, practice, and control. – 2002. – Vol. 1. – P. 212-218.
- [11] Fernandez R., Collins A., Marczak E. Gold Recovery from high-arsenic containing ores at Newmont's roasters // SME Annual Meeting. – 2007. – P. 7-37.
- [12] Hammerschmidt J., Gunter J. Kerstiens B. Roasting of gold ore in the circulating fluidized-bed technology // Advances in gold ore processing: developments in Mineral Processing by ed. M. Adams. – Oxford: Elsevier, 2005. – P. 433-453.
- [13] Hammerschmidt J. The roasting of PGM-ore concentrates in a circulating fluidized bed // Third International Platinum Conference «Platinum Transformation». – 2008. – P. 161-167.
- [14] Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов. – М.: Руда и металлы, 2005. – Т. 1. – 431 с.
- [15] Смирнов В.И. Обжиг медных руд и концентратов. – М.: Metallurgy, 1958. – 255 с.
- [16] Маргулис Е.В. Теория окислительного обжига сульфидных материалов // Metallurgy цветных металлов и методы их анализа: сб. науч. тр. Всесоюзного научно-исследовательского горно-металлургического института цветных металлов. – М., 1962. – № 7. – С. 15-20.
- [17] Кожухметов С.М. Новые эффективные процессы в пирометаллургии меди, никеля и золота: Избранные труды. – Алматы: АО «ЦНЗМО», 2015. – 406 с.
- [18] Kvyatkovskiy S.A., Kozhakhmetov S.M., Kim L.P., Yesetov U.E., Omirzakov B.A. Development of technology and equipment for direct smelting of refractory ledge gold ores of Teriskey LTD Ore mining company // Complex Use of Mineral Resources. – 2016. – № 4. – P. 20-24.
- [19] Ин.пат. 25568 РК. Способ переработки золотомышьякового сырья / Кожухметов С.М., Бектурганов Н.С., Квятковский С.А.; опубл. 15.03.2012, Бюл. № 3.
- [20] Ин.пат. 26083 РК. Способ переработки золото-мышьяковых концентратов, содержащих кобальт / Кожухметов С.М., Бектурганов Н.С., Квятковский С.А., Омарова Н.С.; опубл. 15.09.2012, Бюл. № 9.

## REFERENCES

- [1] Zakharov B.A., Meretukov M.A. Zoloto: upornyye rudy. M.: Ruda i metally, **2013**. 452 p. (in Russ.).
- [2] Kozhakhmetov S.M., Bekturganov N.S., Kvyatkovskiy S.A. Pirometallurgicheskoye obogashcheniye trudnoobogatykh upornykh rud zolota // *Sovremennyye metody tekhnologicheskoy mineralogii v protsessakh kompleksnoy i glubokoy pererabotki mineral'nogo syr'ya: mat-ly mezhdunar. soveshch. «Plaksinskiy chteniya-2012»*. Petrozavodsk, **2012**. 391 p. (in Russ.).
- [3] Omarov S.I., Kozhakhmetov S.M., Omarova N.S., Nitalina V.A., Omarova A.S. *Tsvetnyyemetally*, **2004**, 4, 49-51 (in Russ.).
- [4] Lerman B.D., Omarova N.S. *GornyyzhurnalKazakhstana*, **2008**, 3, 33-35 (in Russ.).
- [5] Balikov S.V., Dement'yev V.Ye., Mineyev G.G. Obzhig zolotosoderzhashchikh kontsentratorov. Irkutsk: OAO «Irgiredmet», **2002**. 416 p. (in Russ.).
- [6] Lodeyshchikov V.V. Tekhnologiya izvlecheniya zolota i serebra iz upornykh rud: V 2-kh tomakh. Irkutsk: OAO «Irgiredmet», **1999** (in Russ.).
- [7] Deter Ken W., McCord Ton H. Oxygen whole ore roasting at Jerritt Canyon Joint Venture. SME Annual Meeting, **1991**, 91-112 (in Eng.).
- [8] [https://dspace.library.colostate.edu/bitstream/handle/11124/170042/Friesinger\\_mines\\_0052N\\_10942.pdf?sequence=1](https://dspace.library.colostate.edu/bitstream/handle/11124/170042/Friesinger_mines_0052N_10942.pdf?sequence=1)
- [9] Dunne R., LeVier M., Acar S., Kappes R. Keynote address: Newmont's contribution to gold technology. World Gold Conference, **2009**, 221-230 (in Eng.).
- [10] McMullen J., Thomas K.G. Gold roasting, autoclaving, or bio-oxidation process selection based on bench-scale and pilot plant test work and costs. Mineral processing plant design, practice, and control, **2002**, 1, 212-218 (in Eng.).
- [11] Fernandez R., Collins A., Marczak E. Gold Recovery from high-arsenic containing ores at Newmont's roasters. SME Annual Meeting, **2007**, 7-37 (in Eng.).
- [12] Hammerschmidt J., Gunter J., Kerstiens B. Roasting of gold ore in the circulating fluidized-bed technology. Advances in gold ore processing: developments in Mineral Processing by ed. M. Adams. Oxford: Elsevier, **2005**, 433-453 (in Eng.).
- [13] Hammerschmidt J. The roasting of PGM-ore concentrates in a circulating fluidized bed. Third International Platinum Conference «Platinum Transformation», **2008**, 161-167 (in Eng.).
- [14] Kotlyar Yu.A., Meretukov M.A., Strizhko L.S. Metallurgiya blagorodnykh metallov. M.: Rudaimetally, **2005**. Vol. 1. 431 p. (in Russ.).
- [15] Smimov V.I. Obzhig mednykh rud i kontsentratorov. M.: Metallurgiya, **1958**. 255 p. (in Eng.).
- [16] Margulis Ye.V. Teoriya okislitel'nogo obzhiga sul'fidnykh materialov // Metallurgiya tsvetnykh metallov i metody ikh analiza: sb. nauch. tr. Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo gorno-metallurgicheskogo instituta tsvetnykh metallov. M., **1962**. 7. P. 15-20 (in Russ.).
- [17] Kozhakhmetov S.M. Novyye effektivnyye protsessy v pirometallurgii medi, nikelya i zolota: Izbrannyye trudy. Alma-ty: AO «TSNZMO», **2015**. 406 p. (in Russ.).
- [18] Kvyatkovskiy S.A., Kozhakhmetov S.M., Kim L.P., Yesetov U.E., Omirzakov B.A. Development of technology and equipment for direct smelting of refractory ledge gold ores of Teriskey LTD Ore mining company. *Complex Use of Mineral Resources*, **2016**, 4, 20-24 (in Eng.).
- [19] In. pat. 25568 RK. Sposob pererabotki zolotomysly'yakovogo syr'ya. Kozhakhmetov S.M., Bekturganov N.S., Kvyatkovskiy S.A.; publ. **2012**, 3 (in Russ.).
- [20] In. pat. 26083 RK. Sposob pererabotki zoloto-mysh'yakovykh kontsentratorov, soderzhashchikh kopal't. Kozhakhmetov S.M., Bekturganov N.S., Kvyatkovskiy S.A., Omarova N.S.; publ. **2012**, 9 (in Russ.).

**С. А. Квятковский<sup>1</sup>, С. М. Кожаметов<sup>1</sup>, Е. А. Оспанов<sup>2</sup>, А. С. Семенова<sup>1</sup>, Р. С. Сейсембаев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>АҚ «Металлургия және кен байыту институты», Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>«ҚазақмысКорпорациясы» ЖШС, Алматы, Қазақстан

### АЛТЫН ҚҰРАМДЫ КОЛЛЕКТОРЛЫ ШТЕЙНДЕРДІ ТОТЫҚТЫРЫП КҮЙДІРУ

**Аннотация.** Жұмыстың мақсаты: сульфидті штейндерді күйдіру процесінің параметрлерін бақылау – берік алтын кенін тікелей балқыту, яғни қысқартылған пиromеталлургиялық селекция (ҚПС-процесс) әдісімен алынатын тиімді металдардың коллекторы. Зерттеу аймағы болып коллектор үшін алтын штейні, күйінді және күйдіруді құрайтын ұшқыш күкірт, мышьяк және көміртек. Жұмысты жүргізу әдісі: лабораториялық пештерде қождаманы балқыту, тотыққан газдың арасында оттектің әртүрлі құрамымен лабораториялық құбырлы пештерде күйдіру, химиялық және минералогиялық анализдер. Күйдірудің тиімді температурасындағы шарты анықталды және штейннің ірі бөлшектері газды фазаға өтетін ұшқыш компоненттерге тигізетін әсерінің дәрежесі. Тиімді температуралық жағдайда газды фазаға өтетін күкірт, мышьяк және көміртек дәрежелеріне үрленетін оттек құрамының әсері анықталды. Тәжірибелер 800 °C температурасында дәрежесінде жүргізілді. Газды фазада SO<sub>2</sub> құрамының өзгеруі ауа атмосферасында шамамен төрт сағат көлемінде жүрсе, ал бұл процесс техникалық оттек атмосферасында тәжірибелі түрде 60 минут ішінде аяқталды. Осы жағдайда максималды жетістік 10 минут ішінде, яғни SO<sub>2</sub> бөлінуі. Күйдіру барысындағы ұшқыш компоненттер өнімдерінің жайғасуы қойылды.

**Түйін сөздер:** алтын құрамды кен, балқыту, коллекторлы штейн, күйдіру, күйінді, тотықтырып балқыту, металданған фаза.