

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ,
РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ



Алматы 2018 Almaty

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ**

**Металлургия ғылымы мен өнеркәсібінің мәселелеріне және белгілі
ғалым металлург, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі,
Қазақстан Республикасы Мемлекеттік сыйлығының иегері
Болат Балтақайұлы Бейсембаевті еске алуға арналған
«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»
атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның**

МАТЕРИАЛДАРЫ

МАТЕРИАЛЫ

**Международной научно-практической конференции
«Эффективные технологии производства цветных, редких и
благородных металлов», посвященной проблемам металлургической
науки и промышленности и памяти известного ученого-металлурга,
члена-корреспондента Академии наук РК,
лауреата Государственной премии Республики Казахстан
Булата Балтакаевича Бейсембаева**

PROCEEDINGS

**of International scientific and practical conference
“The Effective Technologies of Non-Ferrous,
Rare and Precious Metals Manufacturing” devoted to the metallurgy
science and industry concerns and in memory of well-known scientist
of metallurgy, Associate Member of the National Academy
of Sciences of Kazakhstan, the honoree of the State Prize of the
Republic of Kazakhstan Bulat Baltakayevich Beisembayev**

Алматы 2018

УДК 669
ББК 34.3
Э94

Ответственный редактор: д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К.

Жауапты редактор: т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К.

Редакционный совет: д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К., д.т.н., проф. Загородняя А.Н., д.т.н. Квятковский С.А., к.т.н. Кульдеев Е.И., к.х.н. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

Редакциялық алқа: т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К., т.ғ.д., проф. Загородняя А.Н., т.ғ.д. Квятковский С.А., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., х.ғ.к. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

«Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов»: Материалы Межд. научно-практ. конф. / Сост.: к.х.н. Темирова С.С., к.т.н. Кульдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 с.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»: Халықар. ғыл. практ. конф. материалдары / Құраст.: х.ғ.к. Темирова С.С., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 б.

ISBN 978-601-323-132-7

В Материалах конференции «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов» представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области металлургии цветных, редких и благородных металлов, обогащения минерального и техногенного сырья, получения высокочистых металлов и перспективных материалов, а также разработки новых и усовершенствования существующих технологических схем, процессов и аппаратов.

Материалы конференции предназначены для ученых и специалистов, работающих в области переработки минерального сырья и материаловедения.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары» атты конференцияның материалдарында түсті, сирек және асыл металдар металлургиясы, минералдық және техногенді шикізаттарды байыту, тазалығы жоғары металдар мен келешегі зор материалдарды алу, сонымен қатар жаңа технологиялық схемаларды, үрдістерді және аппараттарды жасап шығару және олардың бұрыннан келе жатқан түрлерін жетілдіру салаларындағы іргелі және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Конференция материалдары материалтану және минералды шикізаттарды өңдеу саласында жұмыс жасайтын ғалымдар мен мамандарға арналған.

УДК 669
ББК 34.3

ISBN 978-601-323-132-7

© АО «ИМиО», 2018

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА ИЗ КОЛЛЕКТОРНЫХ ШТЕЙНОВ СОКРАТИТЕЛЬНОЙ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕЛЕКЦИИ УПОРНЫХ РУД ЗОЛОТА

<https://doi.org/10.31643/2018-7.13>

Кожухметов С.М.¹, *Квятковский С.А.^{1,2}, Ахмад Мохаммад Бахгат Гемель³,
ORCID: 0000-0002-6955-4381 0000-0002-9686-8642

Сейсембаев Р.С.^{1,2}, Семенова А.С.¹
0000-0002-9279-7111 0000-0003-4054-8268

¹АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, г. Алматы, Казахстан,
*kvyatkovskiy55@mail.ru

²НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева», г. Алматы, Казахстан;

³CMRDI Central Metallurgical Research & Development Institute, г. Каир, Египет

Аннотация. В докладе приведены результаты исследований по восстановлению золотосодержащих огарков. Установлены основные параметры жидкофазного восстановления огарков с получением шлака и металлизированной фазы, обогащенной золотом и серебром. Результаты исследований могут быть применены для разработки и создания нового метода извлечения благородных и других металлов из штейнов, полученных сократительной пирометаллургической селекцией (СПС-процесс), заключающегося в прямой плавке упорных вскрытию коренных руд и концентратов золота. Обжиг штейнов с дальнейшим выделением из них металлизированной фазы, содержащей благородные металлы, позволит создать полную пирометаллургическую переработку упорных коренных руд золота, минуя процессы обогащения и цианирования, с извлечением более 95 % золота и серебра. В случае обеспечения высокой степени извлечения благородных металлов в товарные продукты и положительных технико-экономических показателей восстановительной плавки возможна передача коллекторных золотосодержащих металлических сплавов на конвертирование медных штейнов медеплавильных заводов.

Основные проблемы минерально-сырьевой базы золотодобывающей промышленности Казахстана связаны с отсутствием промышленно эксплуатируемых крупных собственно золотых месторождений, которые могли бы служить базовыми объектами для устойчивого развития отрасли на длительную перспективу.

Использование на основных золотоизвлекающих предприятиях устаревших, малопроизводительных, многооперационных и экологически опасных технологий добычи, обогащения и металлургической переработки 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» 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].

Нами был выполнен краткий анализ существующих и разрабатываемых способов пирометаллургического вскрытия упорного золотосодержащего сырья и дано физико-химическое и технологическое обоснование разрабатываемого СПС-процесса упорных золотосодержащих руд и концентратов [2]. Для имеющихся в труднодоступных и безводных районах ряда стран (ЮАР, Россия, Китай, США, Киргизия и др.) крупных особоупорных месторождений золота, их переработка методом СПС-процесса с извлечением благородных и других металлов в коллекторный штейн, может оказаться весьма перспективной.

В условиях СПС-процесса прямой плавки упорного золотосодержащего сырья извлекающей фазой для благородных и ряда цветных металлов является штейн. В ходе выполнения исследований по программе «Научно-технологическое сопровождение интенсификации производства золота в Республике Казахстан на 2011-2014 годы» и ранее проведенных НИР, полупромышленных и промышленных испытаний прямой плавки упорных золото-мышьяковых и золото-мышьяк-кобальтовых концентратов [3, 4] полученные коллекторные штейновые расплавы перерабатывались различными методами. Были испытаны и предложены следующие варианты извлечения золота и других металлов из штейнов путем:

- передачи их на передел конвертирования медных штейнов и извлечения благородных и цветных металлов на медеплавильных заводах Республики Казахстан;
- измельчения и обжига коллекторных штейнов с дальнейшим извлечением благородных металлов методом классического цианирования из полученных золотосодержащих огарков и возвратом хвостов этого процесса в голову процесса;
- восстановительной переработки полученного золотосодержащего огарка с концентрацией благородных и цветных металлов в металлическом сплаве, направляемом на аффинажное производство;
- лабораторных испытаний метода электромембранного оксигидрохлорирования.

Поскольку основной задачей работы было определение технологических параметров процесса обжига коллекторных штейнов, в работе [2] нами был рассмотрен полный анализ по данной теме. Было показано, что по методу пирометаллургической переработки упорных концентратов золота и связанным с ним получением коллекторных для благородных металлов штейновых расплавов имеется ограниченное количество исследований и разработок. Ниже рассмотрены лишь несколько примеров по извлечению золота и других металлов из сульфидных коллекторов. В настоящем докладе приведены результаты переработки коллекторных штейнов способом обжига с удалением из них серы, мышьяка и углерода, с дальнейшей восстановительной плавкой огарков.

В настоящее время более 1/3 объема золота в Казахстане производится попутно пирометаллургическим методом на медных и свинцовых заводах [5, 6]. Передача коллекторных штейнов СПС-процесса на передел конвертирования медеплавильных заводов и получение золота по существующей схеме из шламов электролиза черновой меди является одним из таких методов.

В работе [7] приведены различные варианты извлечения золота из коллекторных штейнов, полученных в ходе полупромышленных и промышленных испытаний электроплавки золотомышьяковых концентратов Акбакайского ГМК. Полученные богатые благородными металлами штейны обжигались в печах кипящего слоя (КС), огарки подвергались цианированию с извлечением из растворов благородных металлов методом электролиза.

Как показали наши исследования по изучению процессов прямой плавки различных по составу упорных коренных руд золота, полученные по методу СПС-процесса коллекторные штейны существенно отличаются по составу от штейнов, полученных при плавках золотомышьяковых концентратов, особенно по содержаниям благородных металлов. К тому же в литературе отсутствуют сведения по вскрытию таких штейнов пирометаллургическими методами.

На многих предприятиях золотоперерабатывающей промышленности Казахстана, выпускающих золотосодержащие концентраты, отсутствует пирометаллургическая технология их переработки. Результаты данной работы позволят перерабатывать коллекторные штейны с получением промежуточных продуктов, пригодных для переработки на аффинажных заводах. Поэтому исследования в этом направлении актуальны.

Был подготовлен исходный штейн с выполнением его химического анализа на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA240 «Varian Optical Spectroscopy Instruments, (Австралия). При этом было принято, что для выполнения работы наиболее целесообразным следует считать использование коллекторного для золота и других металлов штейна, полученного нами при лабораторных плавках (СПС-процесс) коренной богатой золотом руды месторождения Бакырчик, а в качестве исходного материала для восстановления металлов огарок, полученный после обжига этого штейна - химические составы которых, приведены в таблице 1. В качестве флюса был использован шлак укрупненной балансовой плавки золотосодержащей руды месторождения Саяк IV (шлак 1), содержащий SiO₂ – 55,18 %. Шлак 2 использовался в опытах по определению расхода кокса на степень восстановления огарка при оптимальной температуре.

Для изучения прямого восстановления золотосодержащих огарков были проведены эксперименты в высокотемпературной камерной печи НТС 08/16 Nabertherm GmbH (Германия) в интервале температур 1350-1450 °С. Использовались алундовые тигли, которые для предотвращения вторичного окисления шихты, накрывались графитовой крышкой. Навеска шихты составляла 220 г. Состав используемого шлака указан в таблице 1. В качестве восстановителя использовался кокс с содержанием углерода не менее 97 %.

Таблица 1 – Химический состав исходных материалов

Материал	Содержание,												
	г/т		мас. %										
	Au	Ag	Cu	Fe	S	As	Co	C	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	B ₂ O ₃
Штейн	52,90	41,77	0,850	50,1	34,56	0,18	-	10,05	-	-	-	-	-
Огарок	46,45	36,80	0,490	44,5	13,26	0,16	-	3,15	-	-	-	-	-
Шлак № 1	0,24	0,98	0,031	2,22	0,88	0,014	0,001	0,22	55,18	22,79	8,22	0,79	7,92
Шлак № 2	0,30	1,02	0,034	2,22	0,44	0,013	0,001	0,16	54,80	22,79	9,24	1,18	8,37

Из данных таблицы 1 видно, что в процессе прямой плавки коренной руды месторождения Бакырчик достигнуто высокое удаление мышьяка с газовой фазой, так как в исходной золотосодержащей руде содержание мышьяка составляло 2,05 %. Повышенные содержания углерода в штейнах обуславливается тем, что штейны были получены в условиях укрупненных плавки шихты весом 1000 г в графитовых тиглях. Для удаления оставшихся летучих составляющих (сера и углерод) проводился окислительный обжиг золотосодержащего железистого штейна, по методике укрупненных балансовых экспериментов [8].

Влияние температуры на степень восстановления огарков. Эксперименты проводили с постоянным весом и составом шихты (огарок – 47,72 %, шлак – 47,72% и кокс – 4,56 %), рассчитанным на полное восстановление железа из огарка; температуру варьировали от 1350 до 1450 °С с шагом 50 °С. Для получения достаточного для химического анализа количества продуктов, опыты проводились в двух тиглях и объединённые пробы этих материалов анализировались на основные компоненты. В таблицах 2 и 3 приведены условия проведения, выходы и химические составы продуктов трех тигельных плавки.

Таблица 2 – Условия проведения экспериментов, вес и выходы продуктов плавков

№ опыта	№ тигля	Т, °С	Выход продуктов плавков от веса шихты, %		
			металлизированная фаза	шлак	возгоны
1	1	1350	9,1	72,79	18,11
	2		8,51	73,61	17,88
	Всего		8,81	73,2	17,99
2	1	1400	14,26	67,31	18,43
	2		15,32	65,68	19
	Всего		14,79	66,5	18,71
3	1	1450	15,43	65,2	19,37
	2		14,61	66,03	19,36
	Всего		15,02	65,61	19,37

Таблица 3 – Химический состав продуктов плавков шихты

№ оп.	Продукты плавков	Содержание,											
		г/т		мас. %									
		Au	Ag	Cu	Fe	S	As	C	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Mg O	B ₂ O ₃
1	Металл. фаза	251,4	184,21	2,56	65,43	10,19	0,79	6,42	-	-	-	-	-
	Шлак	0,1	2,68	0,1218	19,49	0,87	0,019	0,15	31,89	21,05	9,57	1,34	4,65
2	Металл. фаза	149,82	111,55	1,7	73,8	15,66	1,58	4,24	-	-	-	-	-
	Шлак	0,1	2,56	0,1218	23,67	0,35	0,017	0,02	33,92	21,59	10,02	0,96	4,49
3	Металл. фаза	147,5	110,14	1,46	74,12	13,3	0,79	4,16	-	-	-	-	-
	Шлак	0,1	2,48	0,1218	23,92	0,56	0,017	0,13	34,70	22,12	12,20	0,19	4,93

В процессе экспериментов по восстановлению огарка получены два основных продукта – шлак и металлизированная фаза, которые хорошо разделялись. Возгоны не анализировались, поскольку их трудно было собрать в условиях экспериментов, а вес взят по разности между исходными и конечными продуктами.

Наиболее полное восстановление огарка достигается при температурах 1400 – 1450 °С. Исходя из этого, для дальнейших экспериментов принята оптимальная температура 1400 °С.

Из данных таблиц видно, что получаемые шлаковые расплавы как по шлакообразующим оксидам, так и по содержанию металлов характеризуются устойчивыми составами. Однако содержание благородных металлов в металлизированной фазе колеблется в довольно широких пределах. Существенные расхождения в содержаниях, отмечаемые нами неоднократно в работах [2, 8], явились следствием отсутствия методик надежного определения содержаний золота и серебра в штейновых и металлических расплавах, с высоким содержанием железа (60 – 75 мас. %).

Таким образом, из представленных выше данных можно сделать вывод, что при наиболее полном восстановлении шихты, достигаемом при температурах 1400 – 1450 °С, выход металлизированной фазы составит 14,79 – 15,02 %, с содержанием железа 73,8-74,12 мас. %.

В целом полученные результаты могут быть использованы при решении проблем извлечения золота и других металлов из огарков обжига золотосодержащих концентратов и руд, используемого на ряде зарубежных предприятий [9-12].

Влияние расхода кокса в шихте на восстановление огарка. Опыты проводили по аналогии с предыдущей серией опытов, но в качестве флюса использовали шлак № 2. Количество кокса от веса шихты рассчитывалось на степень восстановления железа в металлизированной фазе 80, 60, 40 и 20 % и составляло соответственно 3,68; 2,78; 1,86; 0,94 %. Проведено 4 серии опытов. Состав шихты, выходы продуктов плавки приведен в таблице 4, химический состав в таблице 5.

Таблица 4 – Условия проведения и выходы продуктов экспериментальных тигельных плавки по определению влияния расхода кокса на степень восстановления огарка

№ опыта	Вес шихты, г	Состав шихты, %	№ тигля	Выходы продуктов плавки от веса шихты, %		
				металлизированная фаза	шлак	возгоны
4	218	Огарок 48,16	1	11,69	70,5	17,81
		Шлак 48,16				
		Кокс 3,68	2	11,95	70,43	17,62
		Всего 100				
5	216	Огарок 48,61	1	8,74	75,2	16,06
		Шлак 48,61				
		Кокс 2,78	2	9,68	74,68	15,64
		Всего 100				
6	214	Огарок 49,07	1	6,28	77,46	16,26
		Шлак 49,07				
		Кокс 1,86	2	6,37	78,83	14,8
		Всего 100				
7	212	Огарок 49,53	1	2,96	82,74	14,3
		Шлак 49,53				
		Кокс 0,94	2	2,4	83,18	14,42
		Всего 100				

Таблица 5 – Результаты химического анализа продуктов плавки шихты

№ опыта	Продукты плавки	Содержание,											
		г/т		мас. %									
		Au	Ag	Cu	Fe	S	As	C	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	B ₂ O ₃
4	Металл. фаза	189,2	139,75	2,19	77,98	17,41	0,53	4,64	-	-	-	-	-
	Шлак	0,1	2,62	0,122	18,1	0,48	0,021	0,065	33,22	18,92	11,30	2,68	4,65
5	Металл. фаза	245,8	180,9	2,56	50,13	19,33	0,32	5,98	-	-	-	-	-
	Шлак	0,1	2,64	0,122	25,76	0,91	0,018	0,23	23,20	18,92	12,07	1,34	4,49
6	Металл. фаза	360,7	258,5	3,41	64,06	18,72	0,79	6,42	-	-	-	-	-
	Шлак	0,1	3,06	0,122	25,06	0,74	0,016	0,22	28,98	11,73	-	6,52	4,17
7	Металл. фаза	808,1	544,8	6,82	54,31	19,38	0,79	6,68	-	-	-	-	-
	Шлак	0,22	3,06	0,122	25,07	1,05	0,024	0,14	28,34	17,32	9,51	1,91	3,91

Из данных таблицы 4 видно, что с уменьшением расхода кокса в шихте выход металлизированной фазы сокращается, шлака – увеличивается. При этом, как видно из таблицы 5, металлизированная фаза обогащается металлами, что хорошо согласуется с литературными данными [13-17] и свидетельствует о возможности регулирования их содержаний в металлизированной фазе изменением содержания кокса в шихте. Чем меньшее количество металлизированной фазы будет получено, тем она будет более концентрированной по благородным металлам. Поэтому можно рекомендовать минимальный расход кокса.

Извлечение благородных металлов в металлизированную фазу составило: Au – 93,7-99,69 %; Ag – 77,5-90,0 %, что гораздо выше достигнутого уровня извлечения при переработке золотосодержащего сырья классическими гидрометаллургическими методами [1, 14].

Экспериментальное определение оптимальных составов шлаков и металлических сплавов-коллекторов золота при постоянных температурах и расходах кокса в условиях восстановительной плавки огарков. Методика проведения опытных плавов данной серии была аналогичной той, описанной в предыдущих сериях опытных плавов. В качестве флюса использовался шлак №1 (таблица 1). С целью набора необходимых количеств продуктов для физико-химических анализов опыты проводились в сдвоенных тиглях. В данной серии опытов изменялось количество шлака в шихте и составило 47,72; 55,45; 60,45 для 8; 9 и 10 опытов соответственно. Содержание кокса в шихте было постоянным – 4,56%. Опыты проводились при температуре 1400 °С.

В таблице 6 приведены выходы продуктов экспериментов. Химические составы полученных продуктов опытных плавов представлены в таблице 7.

Таблица 6 – Выходы продуктов плавов

№ опыта	№ тигля	Выход продуктов плавов от веса шихты, %		
		металлизированная фаза	шлак	возгоны
8	1	14,26	67,31	18,43
	2	15,32	65,68	19
	Всего	14,79	66,5	18,71
9	1	13,27	69,46	17,27
	2	13,11	70,53	16,36
	Всего	13,19	69,99	16,82
10	1	10,71	73,84	15,45
	2	10,26	74,29	15,45
	Всего	10,48	74,07	15,45

Таблица 7 – Результаты химического анализа продуктов плавов по основным компонентам

№ оп.	Продукты плавов	Содержание										
		г/т		%								
		Au	Ag	Cu	Fe	S	As	C	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃
8	Металл. фаза	149,82	111,55	1,7	73,8	15,66	1,58	4,24	-	-	-	-
	Шлак	0,1	2,56	0,1218	23,67	0,35	0,017	0,02	33,92	21,59	10,02	4,49
9	Металл. фаза	141,76	105,10	1,42	45,23	15,34	1,46	4,51	-	-	-	-
	Шлак	0,1	2,27	0,046	23,67	0,33	0,017	0,02	34,21	23,11	10,01	4,51
10	Металл. фаза	156,33	118,8	1,82	38,06	15,71	1,47	4,32	-	-	-	-
	Шлак	0,1	1,59	0,05	25,49	0,37	0,016	0,02	35,67	24,15	11,07	3,02

На основании проведенных экспериментов оптимальными составами шлаков следует считать расплавы, содержащие, %: 33-35 SiO₂; 20-25 CaO; около 10 Al₂O₃; 0,10 г/т Au и 2,0 г/т Ag; Оптимальным составам металлических сплавов соответствуют следующие их составы, %: 70-75 Fe; 1-2 Cu; 145-150 г/т Au и 100-120 г/т Ag;

Результаты опытов по изучению влияния температуры на степень восстановления золотосодержащих огарков показали, что наиболее полно процесс восстановления протекает при температурах 1400 – 1450 °С. При этом выход металлизированной фазы находится в пределах 13-15 %, а содержание железа в ней составляет в среднем 71 %. Извлечение благородных металлов в металлизированную фазу в зависимости от степени

восстановления огарка изменяется незначительно и составляет для золота 99,71-99,75 %, для серебра – 89,25-91,0 %.

Экспериментальное определение расхода кокса на степень восстановления огарка показало возможность закономерного регулирования содержаний металлов в металлизированном сплаве путем изменения его содержания в шихте. С уменьшением выхода металлизированной фазы она закономерно обогащается металлами в пределах: золота – 189,2-808,1 г/т, серебра

139,75-544,8 г/т и меди – 2,19-6,82 %. Извлечение благородных металлов в металлизированную фазу составило: Au – 93,7-99,69 %; Ag – 77,5-90,0 %.

В условиях опытных восстановительных плавок золотосодержащих огарков установлены оптимальные составы шлаков, содержащих, %: 33-35 SiO₂, 20-25 CaO, около 10,0 Al₂O₃, 0,10 г/т Au и около 2,0 г/т Ag и металлических сплавов, содержащих: 70-75 % Fe, 1-2 Cu %, 145-150 г/т Au и 100-120 г/т Ag. В этих условиях балансовых плавок извлечение металлов в коллекторный сплав составило, %: Au - 97,43-98,37; Ag - 72,38-85,08.

ЛИТЕРАТУРА

1 Захаров Б.А., Меретуков М.А. Золото: упорные руды. – М.: Руда и металлы, 2013. – 452 с.

2 Кожаметов 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: Матер. Межд. совещ. Плаксинские чтения-2012. – Петрозаводск, 2012. – С. 259–261.

3 Омаров С.И., Кожаметов 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 Зеленов В.И., Щендригин А.Н. Пути совершенствования технологии переработки золото- и серебросодержащих руд. обзорн. инф. М.: ВИЭМС, 1986. – 40 с.

6 Marsden J., House I. The chemistry of gold extraction. – Ellis Horwood. N. Y. 1993. – 597 p.

7 Омарова Н.С. Развитие научных основ восстановительно-сульфидирующей электроплавки и её применение в металлургии цветных и благородных металлов. Автореферат докторской диссертации. – Алматы, 2010. – 288 с.

8 Semenova A.S., Kozhakhmetov S.M., Kvyatkovskiy S.A., Kim L.P., Sejssembaev R.S. Technological parameters of direct smelting of gold-containing refractory ledge of Bakyrchik deposit // Complex Use of Mineral Resources. – 2016. – № 4. – P. 35–38.

9 Зеленов В.И. Методика исследования золото- и серебросодержащих руд 3-е издание. – М.: Недра, 1989. – 302 с.

10 Лодейщиков В.В. Углерод в золотосодержащих рудах и его влияние на процесс цианирования // Золото добыча. – 2008. – № 116. – С. 8–12.

11 Комогорцев Б.В., Вареничев А.А. Проблемы переработки бедных и упорных золотосодержащих руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 2. – С. 204–218.

12 Лодейщиков В.В. Извлечение золота из упорных руд и концентратов. – М.: Недра, 1968. – 204 с.

13 Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов. – М.: Руда и Металлы, 2005. Т.1. – 431 с.

14 Меретуков М.А. Золото: химия, минералогия, металлургия. – М.: Руда и металлы, 2008. – 528 с.

15 Меретуков М.А., Орлов А.М. Металлургия благородных металлов. Зарубежный опыт. – М.: Металлургия, 1991. – 415 с.

16. Seitkan A., Redfern S. Processing double refractory gold-arsenic-bearing concentrates by direct reductive melting // Minerals Engineering. – 2016. – Vol.98. – P. 286-302. DOI: 10.1016/j.mineng.2016.08.017.

17. Moskalyk R.R., Alfantazi A.M. Review of copper pyrometallurgical practice: today and tomorrow // Minerals Engineering. – 2003. – Vol.16. – P. 893-919. DOI: 10.1016/j.mineng.2003.08.002.

RECOVERY OF GOLD AND SILVER FROM COLLECTOR MATTES OF THE REDUCING PYROMETALLURGICAL SELECTION OF REFRACTORY GOLD ORES

Kozhakhmetov S.M.¹, *Kvyatkovskiy S.A.^{1,2}, Ahmad Mohammad Bahgat Gemeal³,
ORCID: 0000-0002-6955-4381 0000-0002-9686-8642

Seisembayev R.S.^{1,2}, Semenova A.S.¹
0000-0002-9279-7111 0000-0003-4054-8268

¹“Institute of Metallurgy and Beneficiation” JSC, Almaty, Kazakhstan,
*kvyatkovskiy55@mail.ru;

²“Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev” NJSC,
Almaty, Kazakhstan;

³Central Metallurgical research & Development Institute, Cairo, Egypt

Abstract. *This report contains results of the research on recovery of gold-containing calcines. The main parameters of liquid-phase recovery of calcines with the production of slag and metallized phase enriched with gold and silver are established. The results of the research can be applied to the development and creation of a new method for extraction of precious and other metals from mattes obtained by applying of the Reducing Pyrometallurgical Selection (RPS process) which consists of the direct smelting of stubborn refractory ledge ores and gold concentrates. Roasting mattes with further extraction of metallized phase containing precious metals will allow to create a complete pyrometallurgical processing of refractory gold ledge ores excluding the processes of beneficiation and cyanidation with extraction of more than 95% of gold and silver. In case of ensuring a high degree of extraction of precious metals in commercial products and positive technical and economic indicators of reduction smelting, it is possible to transfer collector gold-containing metal alloys to convert copper mattes of copper smelters.*