

2. Пат. 2592596 Рос. Федерация, МПК С 02F 1/62. Способ очистки растворов от селена и мышьяка : № 2592596 : заявл. 25.12.2014 : опубл. 27.07.2016 / Королев А. А., Финеев Д. С., Краюхин С. А. и др. : заявитель и патентообладатель ОАО «Уралэлектромедь». — 5 с.

3. Development of Technology of Arsenic Removal from Acidic Waste Solutions in the form of Arsenic Trisulfide / A. A. Grebneva, I. L. Subbotina, K. L. Timofeev et al. // *KnE Materials Science*. — 2020. — Vol. 6, Iss. 1. — P. 209–213.

4. Петров В. Г., Шумилова М. А., Трубачев А. В. Обезвреживание растворов арсенита натрия в лаборатории // Вестн. Удмурт. ун-та (Физика. Химия). — 2012. — Вып. 1. — С. 105–108.

5. Пат. 2099116 Рос. Федерация, МПК А 62 D 3/00. Способ переработки реакционных масс детоксикации люизита: № 2099116 : заявл. 09.11.1995 : опубл. 20.12.1997 / Петров В. Г., Хан В. П., Трубачев А. В. : заявитель и патентообладатель Ин-т прикладной механики Уральского отделения РАН. — 5 с.

6. Ruiz M. C., Grandon L., Padilla R. Selective arsenic removal from enargite by alkaline digestion and water leaching // *Hydrometallurgy*. — 2014. — Vol. 150. — P. 20–6.

7. А. С. 587100 СССР, МПК С 01 В 27/00. Способ осаждения мышьяка из сульфидно-щелочных растворов: № 587100 : заявл. 26.01.1976 : опубл. 05.01.1978 / Тараскин Д. А., Поливянный И. Р. : заявитель Ин-т металлургии и обогащения АН Казахской ССР. — 4 с.

8. Современные способы переработки пылей медеплавильных предприятий / Ю. Ф. Сергеева, С. В. Мамяченков, В. А. Сергеев [и др.] // Бутлеровские сообщения. — 2012. — Т. 30, № 5. — С. 1–19.

УДК 661.897

Выделение триоксида родия (Rh_2O_3) из цементата производства золота в АО «Уралэлектромедь»

Я. Д. Зелях^{1,2}, Р. С. Воинков^{1,3}, К. Л. Тимофеев^{1,3}, С. В. Мамяченков²

¹АО «Уралэлектромедь», г. Верхняя Пышма, Россия

²Уральский федеральный университет

им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

³НЧОУ ВО «Технический университет УГМК», г. Верхняя Пышма, Россия

Аннотация. Проведена работа по совершенствованию технологии переработки цементата производства золота, образующегося в аффинажном отделении производства АО «Уралэлектромедь», направленная на повышение степени извле-

чения металлов в конечные продукты, диверсификацию производства (получение родиевого концентрата), получение экономического эффекта за счет увеличения содержания благородных металлов в конечных продуктах.

В ходе работы составлена и опробована схема переработки цементата производства золота, включающая в себя следующие стадии: окислительный обжиг; царско-водочное выщелачивание; переработку раствора выщелачивания с осаждением золота пиросульфитом натрия и цементацией металлов платиновой группы (платины и палладия); концентрирование родия путем растворения твердого остатка после выщелачивания в сульфите натрия с последующим осаждением серебра щелочью. Исследовано влияние температуры и состава газовой фазы при проведении обжига на состав концентрата родия.

Данная схема позволяет селективно получить несколько продуктов: черновое золото ($Au > 98 \%$), черновое серебро ($Ag > 98 \%$), концентрат МПГ ($Pt > 45 \%$, $Pd > 15 \%$), концентрат родия ($Rh > 10 \%$). Предполагаемый экономический эффект (1–10 млн руб.) зависит от волатильности котировок родия; основывается на увеличении содержания Rh порядка 5 % в продукте АО «Уралэлектромедь» (концентрат Rh) и на снижении стоимости переработки материала на специализированном предприятии с увеличением извлечения Rh. По данной технологической схеме получен патент и проходят пуско-наладочные работы.

Ключевые слова: цементат производства золота, цементация, драгоценные металлы, обжиг, выщелачивание, родий, концентрат металлов платиновой группы.

Цементат производства золота (далее — ЦПЗ) образуется в аффинажном отделении химико-металлургического цеха (далее — ХМЦ) АО «Уралэлектромедь» вследствие восстановления драгметаллов из отработанных растворов осаждения золота оборотного и растворов осаждения концентрата металлов платиновой группы, а также растворов пылегазоулавливания плавильного передела. ЦПЗ содержит широкий спектр элементов [1], типичный химический состав приведен в табл. 1.

Таблица 1

Типичный химический состав ЦПЗ, %

Элементы	Au	Ag	Pt	Pd	Rh	Cu	Fe	S	Te	Sb
Содержание	≈25	≈4	≈19	≈7	≈3	≈12	≈2	≈5	≈4	≈3

Для материалов подобного состава возможна переработка как с коллективной очисткой от примесей, так и с селективным извлечением драгоценных металлов [2]. Состав полученных продуктов и эффективность их извлечения зависит, например, от природы и свойств растворителя [3, 4]. Получение индивидуальных продуктов высокой чистоты сопровождается либо большим

количеством стадий перечистки, либо сложностью аппаратурного оформления, либо совокупностью данных факторов.

В рамках представленной работы была исследована возможность получения индивидуальных продуктов (черновых драгметаллов и их концентратов) из ЦПЗ с минимальными материальными затратами и трудоемкостью.

По существующей технологии (рис. 1а) родий выводится совместно с платиной и палладием в концентрат металлов платиновой группы — КМПГ-П, получаемый цементацией. Содержание Rh в концентрате варьируется от 2 до 8 %. Повысить содержание родия в концентрате и степень извлечения металла при переработке ЦПЗ возможно путем введения предварительной стадии окислительного обжига, при которой родий образует триоксид состава — Rh_2O_3 . Оксид родия (III) образуется свыше 500 °С, он не растворяется в растворе царской водки, в связи с чем есть предпосылки к его выводу в индивидуальный продукт [5, 6].

Для оценки возможности получения концентрата с повышенным содержанием родия была проведена серия экспериментов в соответствии с технологической схемой, представленной на рис. 1б.

Эксперименты отличались условиями проведения окислительного обжига; параметры других технологических стадий были идентичны. Условия обжига и результаты приведены в табл. 2. Опыт 1 был проведен в лабораторных условиях, опыты 2 и 3 — в промышленных условиях с вынужденным снижением температуры обжига из-за ограничений промышленного оборудования, обусловленных требованиями промышленной безопасности.

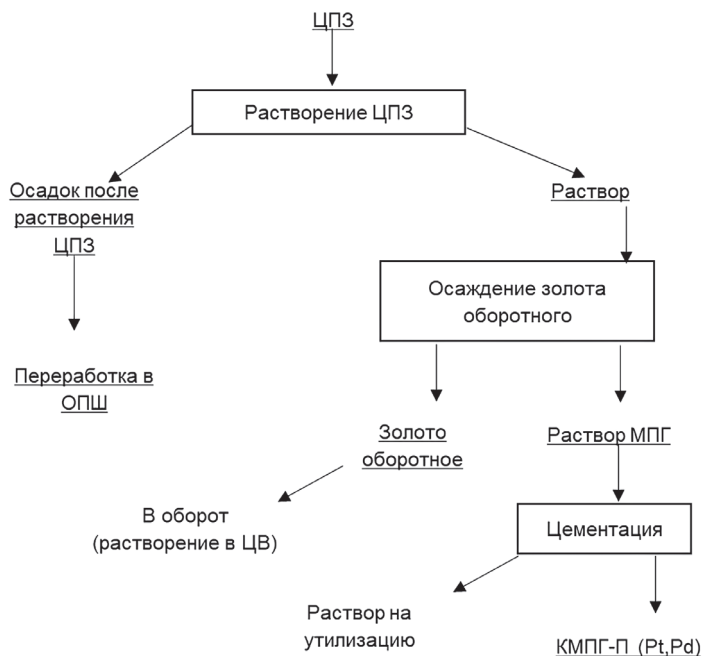
Таблица 2

Данные по стадии обжига ЦПЗ

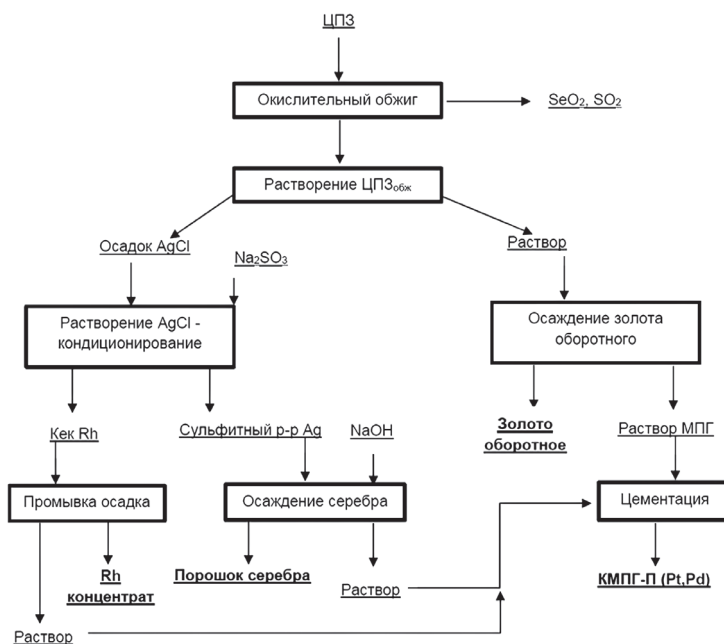
№ п/п	t , °С	τ , час	Состояние газовой фазы	Условия проведения	Убыль массы, %
1	750	10–12	Периодическая подача воздуха	Лабораторный опыт	11,02
2	620	24–30	Периодическая подача воздуха	Промышленный эксперимент	10,97
3	500	8–10	Подача чистого кислорода	Промышленный эксперимент	10,64

Выщелачивание проводили при $T:Ж = 1:5$ смесью кислот (об. %: HCl от 85 до 95, HNO_3 от 5 до 15) при температуре 85–95 °С в течение 4–6 часов. В табл. 3 приведены результаты опытов.

Существенное различие степеней извлечения, вероятно, связано не только с температурой, но и с различным содержанием примесных металлов (медь, теллур, железо, сурьма) в разных партиях ЦПЗ. Влияние содержания при-



a



б

Рис. 1. Принципиальная технологическая схема переработки ЦПЗ:
a — существующая, *б* — проектная

месных металлов на степень извлечения БМ в раствор будет оценено в ходе дальнейших исследований.

Таблица 3

Степень извлечения металлов в раствор, %

№ опыта	Au	Ag	Pt	Pd	Rh
1	≈100	≈4	≈86	≈82	≈30
2	≈100	≈3	≈100	≈100	≈50
3	≈100	≈1,5	≈88	≈72	≈34

Из полученных растворов выщелачивания было проведено удаление избытка азотной кислоты путем добавления 25 об. % раствора этилового спирта при температуре 95–105 °С согласно уравнению (1):



В табл. 4 приведены составы черного золота, в табл. 5 — состав КМПГ-порошка. Извлечение драгметаллов в соответствующие продукты составило более 99 %.

Таблица 4

Состав золота черного, %

№ п/п	Au	Ag	Pt	Pd	Rh
1	99,3	0,020	0,178	0,199	0,001
2	98,9	0,257	0,234	0,010	0,010
3	99,4	0,015	0,045	0,105	0,000

Таблица 5

Состав концентрата МПГ, %

№ п/п	Au	Ag	Pt	Pd	Rh
1	н/а	0,005	46,15	22,70	2,10
2	0,012	0,720	38,80	15,12	3,10
3	0,056	0,329	48,13	19,79	2,52

Нерастворенный остаток после царско-водочного растворения ЦПЗ в основном состоит из хлорида серебра (AgCl) и оксида родия (Rh_2O_3). На этапе растворения данного остатка было достигнуто увеличение содержания родия в твердой фазе за счет выщелачивания раствором сульфита натрия. В раствор при этом переходит серебро, в опыте № 1 его концентрация 9,18 г/дм³, во 2–9,2, в 3–7,9 г/дм³. Конечный твердый остаток является родиевым концентратом (табл. 6), содержание Rh в продукте достигает 45 %.

Таблица 6

Состав концентрата родия, %

№ п/п	Rh	Au	Ag	Pt	Pd
1	45,00	0,15	0,250	1,17	0,58
2	20,08	1,07	0,543	3,96	6,16
3	15,10	0,54	5,200	1,600	11,7

Из полученных сульфитных растворов кондиционирования серебро восстановили до элементарного добавлением едкого натра, суммарная реакция представлена уравнением (2). Составы продуктов операции осаждения серебра представлены в табл. 7.

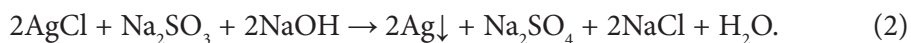


Таблица 7

Состав осадка серебра, %

№ п/п	Au	Ag	Pt	Pd	Rh
1	н/а	99,59	0,00	0,00	0,00
2	0,18	94,61	0,77	0,15	0,30
3	2,34	86,80	1,70	0,68	0,39

Помимо изменений в распределении элементов по продуктам, отмечается снижение продолжительности растворения материала и сокращение времени фильтрации получаемой пульпы (рис. 2).

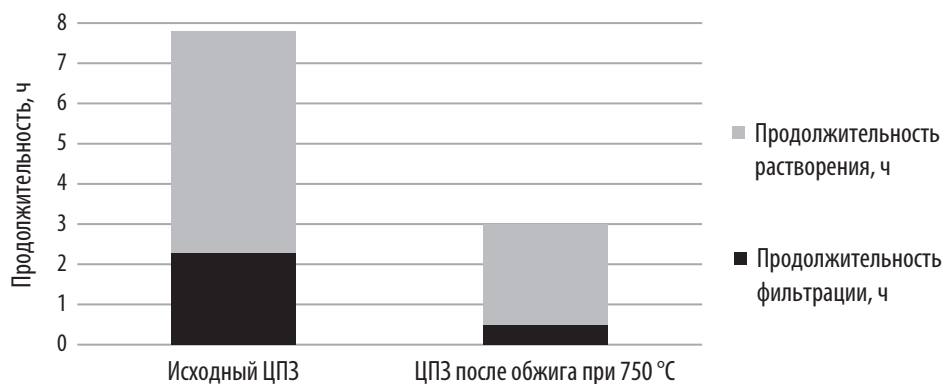


Рис. 2. Продолжительность растворения ЦПЗ и фильтрации растворов

Проведенный микрорентгеноспектральный анализ исходного цементата позволяет сделать вывод об аморфности материала, поскольку структурированные фазы практически отсутствуют (рис. 3а). Только после проведения

обжига отмечается образование кристаллических фаз, часть из которых может быть идентифицирована. Например, в материале после обжига был обнаружен теллурид меди в виде Cu_3TeO_6 (макалпинит). Его кристаллы четко идентифицируются на микрофотографиях на рис. 3б.

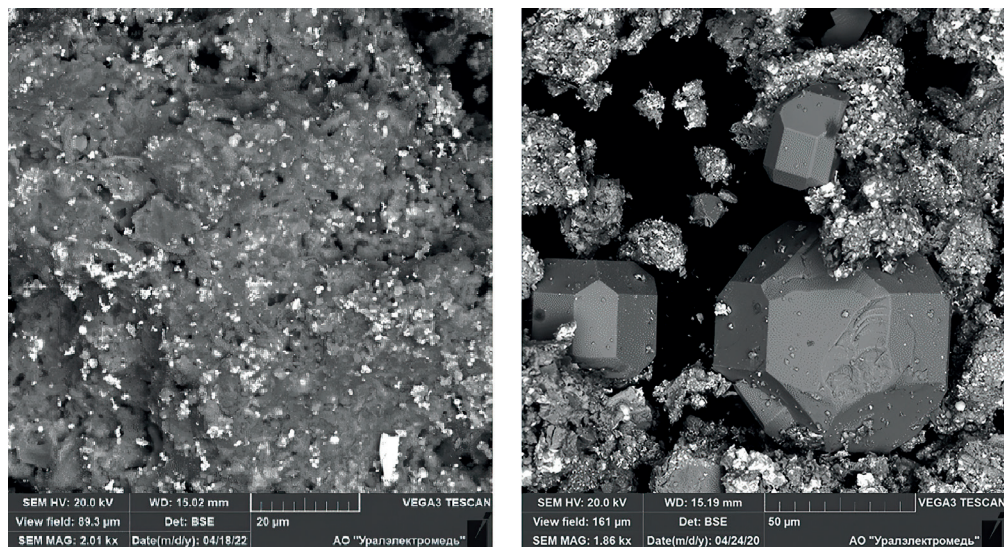


Рис. 3. Микрофотографии при увеличении в 2000 раз:
а — исходный цемент; б — цементат после обжига

В ходе проведения операции предварительного обжига происходит удаление легколетучих компонентов (селен, сера), образование нерастворимой пленки триоксида родия (Rh_2O_3), идет кристаллизация фаз. Эти структурные изменения позволяют селективно выделить благородные металлы при сокращении времени операций царско-водочного растворения и фильтрации.

Закключение

В рамках представленной работы была разработана и опробована технологическая схема переработки цементата производства золота, содержащего благородные металлы.

Данная схема позволяет селективно получить несколько продуктов:

- осажденное золото, содержание $\text{Au} > 98 \%$;
- осажденное серебро, содержание $\text{Ag} > 98 \%$;
- концентрат МПГ, содержание $\text{Pt} > 45 \%$ и $\text{Pd} > 15 \%$;
- концентрат родия, содержание $\text{Rh} > 10 \%$.

По представленной принципиальной технологической схеме получен патент РФ № 2775555 «Способ селективного извлечения благородных металлов из золотосодержащего цементата».

Библиографический список

1. Лебедь А. Б., Мальцев Г. И., Мамяченков С. В. Аффинаж золотосеребряных сплавов на ОАО «Уралэлектромедь»: учеб. пособие. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 160 с.
2. Аналитическая химия платиновых металлов / С. И. Гинзбург и др. — М.: Наука, 1972. — 616 с.
3. Основы металлургии: в 5-ти т. Т. 5 / под ред. Н. С. Грейвера и др. — М.: Металлургия, 1968. — 624 с.
4. Пат. 2398898 РФ. Способ селективного извлечения палладия, платины и родия из концентратов / В. А. Шипачев; опубли. 10.09.2010.
5. Гинзбург С. И. Руководство по химическому анализу платиновых металлов и золота. — М.: Наука, 1965. — 314 с.
6. Федоров И. А. Родий. — М.: Наука, 1966. — 276 с.

УДК 669.334:544.42

Кинетика цементации меди измельченным железом прямого восстановления

В. Р. Курдюмов, Р. С. Воинков, К. Л. Тимофеев

АО «Уралэлектромедь», г. Верхняя Пышма, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты исследований кинетики цементации меди из кислой шахтной воды с использованием в качестве материала — цементатора измельченного железа прямого восстановления. В ходе ее выполнения было изучено изменение концентрации ионов меди в шахтной воде с течением времени в результате протекания гетерогенной реакции при варьировании соотношения жидкой и твердой фаз в системе. Было установлено, что порядок реакции приближен к первому, и она протекает как в областях с кинетическими, так и диффузионными ограничениями, для каждой из которых рассчитали константы скорости реакции. На основании полученных зависимостей был также сделан вывод о предпочтительном соотношении взаимодействующих фаз и продолжительности их контакта, что может быть использовано при осаждении меди из шахтной воды в цементаторах-агитаторах, работающих в периодическом режиме.

Ключевые слова: медь, цементация, железо прямого восстановления, агитатор, кинетика, константа скорости реакции.