



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-3-101-107>
УДК 669.054.8

Поступила 08.06.2022
Received 08.06.2022

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ МЕДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Б. Р. ВОХИДОВ, Навоийский государственный горный институт, г. Навои, Узбекистан.

E-mail: golf.87@mail.ru, тел.: 998-9073-13742

А. С. ХАСАНОВ, АО «Алмалыкский ГМК», г. Алмалык, Узбекистан

Б. М. НЕМЕНЕНОК, Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: nemenenok@tut.by

Г. Ф. МАМАРАИМОВ, Навоийский государственный горный институт, г. Навои, Узбекистан

В настоящее время в горно-металлургической промышленности появились тенденции переработки техногенных отходов, накопившихся в течение многих лет, так как мировые запасы месторождений руд с высоким исходным содержанием цветных металлов и легко перерабатываемыми рудами в настоящее время практически истощены. Это обусловливается уменьшением объема переработки кондиционных руд и вовлечением в разработку техногенных отходов, труднообогащаемых руд и забалансовых из низкосортных отвалов. Высокие цены на металлы на мировом рынке создают благоприятную обстановку для разработки технологий извлечения драгоценных металлов с вовлечением в переработку минеральных ресурсов техногенного происхождения. В работе изучены минералогические составы техногенных отходов медной промышленности в условиях АО «Алмалыкский ГМК», определена эффективность методов селективного извлечения платиноидов и уделено внимание способам растворения, восстановления платиновых металлов и методам их очистки от различных примесей. На основе изучения данной тематики и анализа результатов проведенных исследований авторы предложили оптимальную технологию и комплексные способы извлечения платины, палладия и родия из техногенных отходов с использованием селективных методов, подходящих к каждому металлу отдельно с применением гидрометаллургии и пирометаллургии. Разработаны гидрометаллургические способы очистки палладия, платины и родия с обработкой соответственно муравьиной, лимонной и азотной кислотой. В результате разработанных технологий достигнута возможность комплексного извлечения металлов платиновой группы из техногенных отходов. При этом сквозное извлечение всех платиноидов составляет свыше 80%.

Ключевые слова. *Техногенные отходы, платиновые металлы, платина, родий, сбросный электролитный раствор, отходы медно-обогатительной фабрики, селективное осаждение, царско-водочное растворение, промывка, окисление перекисью водорода, прокатка.*

Для цитирования. *Вохидов, Б. Р. Новые направления переработки техногенных отходов медной промышленности / Б. Р. Вохидов, А. С. Хасанов, Б. М. Немененок, Г. Ф. Мамараймов // Литье и металлургия. 2022. № 3. С. 101–107. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-3-101-107>.*

NEW DIRECTIONS PROCESSING OF TECHNOGENIC WASTE OF THE COPPER INDUSTRY

B. R. VOKHIDOV, Navoi State Mining Institute, Navoi, Republic of Uzbekistan.

E-mail: golf.87@mail.ru, tel. 998-9073-13742

A. S. KHASANOV, JSC «Almalyk MMC», Almalyk, Republic of Uzbekistan

B. M. NEMENENOK, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.

E-mail: nemenenok@tut.by

G. F. MAMARAIMOV, Navoi State Mining Institute, Navoi, Republic of Uzbekistan

At the present time, in the mining and metallurgical industry there are trends in the processing of man-made waste that have accumulated over the course of many years. Since the world's reserves of ore deposits with a high initial content of non-ferrous metals and easily processed ores are currently practically depleted. This is due to a decrease in the volume of processing of conditioned ores and the involvement in the development of industrial waste, refractory ores and off-balance from low-grade dumps. High prices for metals on the world market create a favorable environment for the development of technologies for the extraction of precious metals involving the processing of mineral resources of technogenic origin. The work studies the mineralogical composition of industrial waste from the copper industry in the conditions of JSC «Almalyk MMC», determined the effectiveness of methods for the selective extraction of platinum and paid attention to the methods of dissolution, reduction of

platinum metals and methods of their purification from various impurities. Based on the study of this topic and the analysis of the results of the research, the authors proposed an optimal technology and complex methods for extracting platinum, palladium and rhodium from industrial waste using selective methods suitable for each metal separately using hydrometallurgy and pyrometallurgy. Hydrometallurgical methods have been developed for the purification of palladium, platinum and rhodium with treatment, respectively, with formic, citric and nitric acids. As a result of the developed technologies, the possibility of complex extraction of platinum group metals from industrial waste has been achieved. In this case, the end-to-end extraction of all platinumoids is over 80%.

Keywords. Man-made waste, platinum metals, platinum, rhodium, waste electrolyte solution, waste from a copper-processing plant, selective precipitation, aqua-vodka dissolution, washing, oxidation with hydrogen peroxide, calcination.

For citation. Vokhidov B.R., Khasanov A.S., Nemenenok B.M., Mamaraimov G.F. New directions processing of technogenic waste of the copper industry. Foundry production and metallurgy, 2022, no. 3, pp. 101–107. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-3-101-107>.

Введение

Республика Узбекистан обладает надежной сырьевой базой для извлечения и производства целого ряда редких и рассеянных металлов. Часть из них концентрируется в самостоятельных месторождениях, как, например, медь и молибден, некоторые могут извлекаться в качестве попутных компонентов из медных руд, полиметаллов урана и других полезных ископаемых. В Узбекистане основные запасы платины, палладия, родия и радиогенные изотопы осмия-187 имеются в медно-порфировых месторождениях Алмалыкского рудного района. В концентрате обнаружен также теллурид палладия с примесью платины-мерескиит $(\text{Pd}, \text{Pt})\text{Te}_2$. В Чаткало-Кураминском регионе известны проявления габброидного магматизма и связанных с ними металлов платиновой группы (МПГ), чаще всего палладий, платина и родий [1].

Общее количество техногенных отходов, образующихся при производстве меди в условиях АО «Алмалыкский ГМК», составляет 1,3 млрд. т. В состав этих техногенных отходов в основном входят отходы медной обогатительной фабрики (МОФ-1, МОФ-2), шламы медеплавильных заводов. Также к твердым техногенным отходам относятся забалансовые сульфидные и оксидные отходы месторождения Кальмаккыр. Сегодня в условиях АО «АГМК» отсутствует комплексная технология извлечения драгоценных металлов за счет переработки техногенных отходов. Наличие драгоценных металлов платины, палладия и родия в составе техногенных отходов АО «АГМК» свидетельствует о том, что завод может вести производственную деятельность по их переработке без использования свежей руды в течение нескольких лет. Переработка и обезвреживание техногенных отходов металлургической промышленности – одна из актуальных проблем многих стран мира, а добыча драгоценных металлов на основе их комплексной переработки – одно из новых направлений будущего. В настоящее время в мировой практике в производство вовлекается всего 10–15% техногенных отходов, на самом деле их сфера использования очень широкая. Поэтому существует потребность в комплексной переработке этих отходов с применением инновационных технологий [2].

Методика экспериментов

В начале изучили химический, минералогический и реальный составы объектов исследования и на основании этого определили количество драгоценных металлов в техногенных отходах, разработали оптимальные технологические схемы их извлечения. В качестве объектов исследования были отобраны пробы из отходов медной обогатительной фабрики (МОФ-1, МОФ-2), окисленные, сульфидные и смешанные забалансовые руды месторождения «Кальмаккыр», а также шламы медеплавильных заводов АО «АГМК» [3].

В целях изучения материального и минералогического состава смешанных, окисленных и сульфидных забалансовых руд, хвостов обогатительных фабрик (МОФ-1, МОФ-2), шламов медеплавильных заводов были получены образцы для анализа в ЦАЛ (Центральной аналитической лаборатории) с использованием энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра марки NEX CG RIGAKU.

В хвостохранилище № 1 (МОФ-1) насчитывается 546,2 млн. т хвостов обогащения с общим содержанием меди 610,5 тыс. т, 114,0 т золотосодержащих отходов с концентрацией золота 0,21 г/т, серебросодержащих отходов – 577,8 т с содержанием серебра 1,06 г/т [4]. В хвостохранилище № 2 (МОФ-2) числится 775,3 млн. т хвостов обогащения с содержанием меди 801,6 тыс. т, золота – 156,5 т, серебра – 800,9 т. При этом концентрация меди, золота и серебра составляет соответственно 0,103%, 0,2 г/т и 1,03 г/т.

В результате изучения минералогического состава техногенных отходов установлено, что основные элементы платиновой группы входят в сульфидные медно-никелевые руды в сочетании с чистыми минералами меди, пирита, халькопирита и их количество постоянно меняется.

По данным химического анализа, в средней пробе хвостов МОФ-2 содержится SiO_2 –36,3%; Al_2O_3 –6,64; MgO – 1,64; SO_3 –1,20; K_2O – 2,19; CaO – 3,58; Fe_2O_3 –42,4; CuO – 0,55; ZnO – 1,32; As_2O_3 –0,0182; SnO_2 –0,008; Rb_2O – 0,0138; ZrO – 0,0218; Au – 0,00; Ag – 0,00; PbO –0,286; MnO – 0,232; TiO_2 –0,301; As – 0,0201; Cl – 0,0516; Sb_2O_3 –0,00678; U_3O_8 –0,0015; Ir_2O_3 –0,0072; BaO – 0,191; Co_2O_3 –0,0891; V_2O_3 –0,0094%. Данные по содержанию элементов в хвостах МОФ-1 и МОФ-2 приведены в табл. 1.

Таблица 1. Количество элементов, содержащихся в хвостах МОФ-1 и МОФ-2 (1321,5 т)

| Металл | Кларк металла | Содержание в хвостах, г/т | Количество в хвостах, т |
|--------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|
| Au (золото), % | $4,3 \cdot 10^{-7}$ | 0,21 | 277,51 |
| Ag (серебро), % | $7 \cdot 10^{-6}$ | 1,06 | 1400,79 |
| Se (селен), мг/т | 500 | 5,0 | 6607,5 |
| Pt (платина), % | $5 \cdot 10^{-7}$ | 0,001 | 1,32 |
| Pd (палладий), % | $1 \cdot 10^{-6}$ | 0,410 | 541,81 |
| Re (рений), % | $7 \cdot 10^{-8}$ | 0,038 | 50,21 |
| Os (осмий), % | $5 \cdot 10^{-6}$ | 0,0018 | 2,37 |
| In (индий), % | 10^{-5} | 0,042 | 55,50 |
| Ru (рутений), % | $5 \cdot 10^{-7}$ | 0,091 | 120,25 |
| Te (теллур), % | $1 \cdot 10^{-6}$ | 0,007 | 9,25 |
| Mo (молибден), % | $3 \cdot 10^{-4}$ | 49,0 | 64753,5 |
| W (вольфрам), г/т | 1,3 | 4,50 | 5946,75 |
| Rh (родий), % | $1 \cdot 10^{-7}$ | 0,039 | 51,53 |
| Ir (иридий), % | 10^{-7} | 0,0084 | 11,10 |
| Be (бериллий), г/т | 3,8 | 0,370 | 488,95 |
| Ga (галлий), г/т | 19 | 6,80 | 8986,2 |
| Nb (ниобий), г/т | 18 | 0,200 | 264,3 |

Полученные результаты свидетельствуют, что при флотационном обогащении тяжелые фракции, содержащие драгоценные металлы, смачиваются водой и переходят в состав хвостов. Это позволило проверить возможность гравитационного обогащения хвостов. Известно, что проведение винтовой сепарации, интенсивной гравитации при обогащении хвостов МОФ-1 и МОФ-2 по комплексной схеме позволяет извлекать драгоценные металлы золото, серебро, платину и палладий не менее 80% [6].

Общее количество забалансовой руды месторождения «Кальмаккыр» на отвалах А-7 и А-8 составляет 74,5 млн. т, в составе которой содержится 31,6 т золота с концентрацией 0,424 г/т и 132,2 т серебра с содержанием 1,77 г/т [3].

Забалансовые окисленные руды месторождения «Кальмаккыр» сконцентрированы в отвалах № 39, 9, 10, 8а, А-4. Общее количество окисленных забалансовых руд в отвалах № 39, 9, 10, 8а, А-4 составляет 63,8 млн. т, в них содержится 31,1 т золота, 144,5 т серебра. Для изучения распределения благородных и редких металлов из отвалов забалансовых руд были отобраны мономинералы: пирит, халькопирит, молибденит и др. Установлено следующее распределение благородных металлов: Au –3,2 г/т; Ag –8,2; Pd – 0,25; Pt – 0,20; Rh –0,02; Ru – 0,93; Os – 0,015 г/т. По данным химического анализа, в средней пробе сульфидной руды содержится: SiO_2 –54,3%; Al_2O_3 –16,5; MgO – 2,49; SO_3 –1,49; K_2O – 5,72; Na_2O – 2,52; CaO – 7,26; Fe_2O_3 –7,96; CuO – 0,119; ZnO – 0,0214; Ga_2O_3 –0,0042; As_2O_3 –0,0057; SnO_2 –0,0037; Rb_2O – 0,00295; SrO – 0,0566; Au – 0,0019; Ag – 0,0017; PbO – 0,0018; NiO – 0,0022; MnO – 0,312; TiO_2 –0,571; As – 0,0037; Cl – 0,028; Sb_2O_3 –0,0017; U_3O_8 –0,0014; MoO_3 –0,003; Co_2O_3 –0,0132; BaO – 0,0761; Cr_2O_3 –0,0042; V_2O_5 –0,0352% [7].

Было изучено 40 проб, на основании которых определено среднее количество драгоценных металлов и проведена отдельная объективная оценка для каждого металла (табл. 2).

В результате изучения химического состава отходов установлена возможность извлечения драгоценных металлов из их состава, используя усовершенствованные методы переработки техногенных отходов. Процесс изучения минералогического состава и общей массы техногенных отходов и забалансовых руд, образовавшихся в результате горных работ на АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат», показывает, что количество драгоценных металлов в отходах представляет большой интерес для

Т а б л и ц а 2. Среднее содержание металлов в отвалах месторождения «Кальмаккыр»

| Металл | Количество металла в окисленных рудах, т | Количество металла в сульфидных рудах, т | Общие содержание, т |
|---------------|--|--|---------------------|
| Au (золото) | 31,1 | 31,6 | 62,7 |
| Ag (серебро) | 144,5 | 132,2 | 276,7 |
| Se (селен) | 74 | 86,42 | 160,42 |
| Pt (платина) | 143,55 | 167,625 | 311,175 |
| Pd (палладий) | 194,59 | 227,225 | 421,815 |
| Re (рений) | 16,97 | 19,817 | 36,787 |
| Os (осмий) | 4,568 | 5,3342 | 9,9022 |
| In (индий) | 0,1276 | 0,149 | 0,2766 |
| Ru (рутений) | 1,0846 | 1,2665 | 2,3511 |

производства, а эффективное разделение благородных и редких металлов возможно с использованием современных гидрометаллургических и пирометаллургических технологий [8].

Методами атомно-эмиссионной спектроскопии также был изучен состав медного анодного шлама, образующегося при переработке техногенных отходов, обогащении хвостов медного производства богатых МПГ. Результаты анализа приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3. Результаты химического анализа медного анодного шлама

| Элемент | Медный шлам, концентрация, % | Элемент | Медный шлам, % |
|----------|------------------------------|---------------|----------------|
| Платина | 0,84 | Серебро | 5,0–9,0 |
| Палладий | 4,1–5,45 | Медь | 18–22 |
| Родий | 0,27–0,35 | Никель | 16–24 |
| Иридий | 0,175–0,019 | Железо | 0,5–1,8 |
| Рутений | 0,095 | Селен | 2–5 |
| Осмий | 0,102 | Теллур | 0,7–1,1 |
| Золото | 0,729 | Сера | 2–4 |
| | | Кремнекислота | 2,5–4,5 |

Объективное изучение среднего содержания металлов в отвалах месторождения «Кальмаккыр» позволило использовать гравитационное обогащение для получения концентратов драгоценных металлов с дальнейшей их пирометаллургической переработкой. Полученные концентраты после переработки хвостов флотации МОФ-1, 2 и обогащения отвальных месторождений «Кальмаккыр» объединяли и направляли на конвертерную плавку с дальнейшей анодной плавкой с целью получения сконцентрированных на драгоценных металлах анодной меди. Выбор такой сложной схемы переработки концентратов был обоснован исследователями на основе практики получения золота, серебра, платины и палладия из отходов медной промышленности методом сочетания пирометаллургии и гидрометаллургии [9].

Результаты и обсуждение

Исследование отработанных электролитов с целью получения платиноидов (платины, палладия, родия) было проведено на МПЗ АО «АГМК», в результате была разработана новая технологическая схема (рис. 1).

Новыми операциями в данной технологической схеме являются:

- накопление платина-палладиевых растворов после электролиза золота, где содержание платины и палладия в растворе составляет более >100 мг/л и они находятся в виде хлористых соединений: $PtCl_2$ и $PdCl_2$;
- окисление перекисью водорода сбросных растворов электролита после электролиза золота с концентрацией платины 100–800 мг/л, в результате чего $PtCl_2$ переходит в $PtCl_4$;
- осаждение палладиотиомочевинного комплекса в тиомочевинном растворе, фильтрация продукта, обжиг кека при 500–600 °С; при этом время обжига составляло 2–3 ч и полученный продукт подвергали восстановлению раствором гидразина; восстановленный продукт направляли на отмывку дистиллированной водой, затем сушили при температуре 100–110 °С и растворяли в царской водке [9].

С увеличением продолжительности степень растворимости металлов повышается, так как царско-водочное выщелачивание Pd и Pt связано с кинетикой растворимости. Из рис. 2 видно, что степень

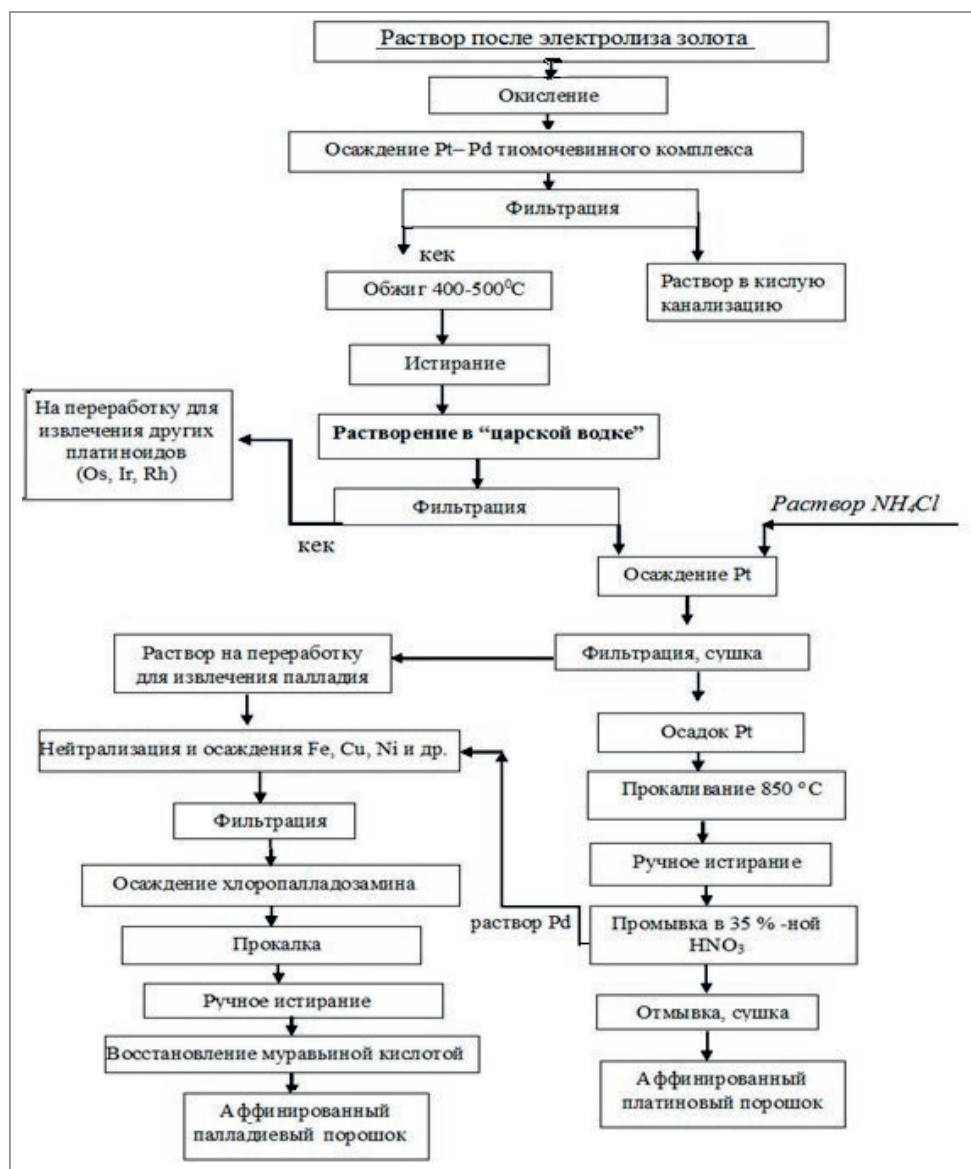


Рис. 1. Технологическая схема получения аффинированного платинового и палладиевого порошка из отработанных электролитов цеха аффинажа золота

растворимости Pd выше, чем степень растворимости Pt. Экспериментально определено, что при увеличении времени царско-водочного растворения повышается расход раствора, в результате чего концентрация палладия в растворе соответственно увеличивается и составляет 200 г/л при 120 мин продолжительности процесса с расходом реагента 2 л на 100 г палладиевого продукта [10].

В результате проведенных исследований установлено, что палладий находится в растворе тетрахлорпалладиевой кислоты, а платина в виде гексахлороплатината аммония выпадает в осадок, что без особых усилий позволяет точно отделить Pd от Pt. На основании полученных результатов исследований предложена технологическая схема (см. рис. 1), реализованная в производственных условиях цеха МПЗ.

В результате исследований, включающих ряд опытов и экспериментов, была разработана новая технологическая схема, состоящая из 20 операций с продолжительностью цикла 24–26 ч. При этом рентабельное извлечение МПГ из растворов с содержанием платиноидов 50 мг/л достигает более 84%.

В результате получается аффинированный платиновый порошок с массовой долей Pt 99,9–99,98% (табл. 4) и палладиевый порошок с массовой долей палладия 99,5–99,94% (табл. 5). Способ пригоден и с экологической точки зрения, так как образующиеся кислые фильтраты нейтрализуются раствором щелочи или щелочными фильтратами, полученными при восстановлении палладия до металла муравьиной кислотой или солянокислым гидразином. Внедрение данной технологии, несомненно, дает положительный экономический эффект благодаря получению платины и палладия, дополнительному извлечению родия и улучшает экологическую обстановку в местах скопления техногенных отходов.

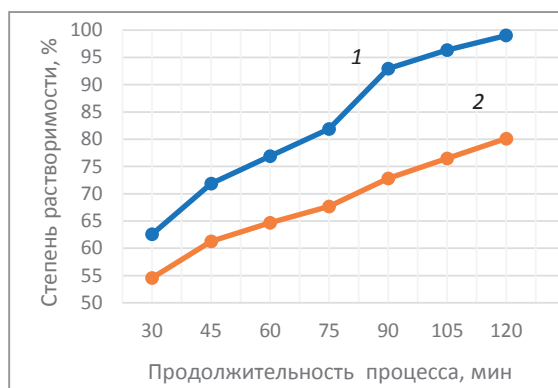


Рис. 2. Зависимость степени растворимости МПГ от продолжительности процесса: 1 – Pd; 2 – Pt

Т а б л и ц а 4. Результаты химического анализа полученного платинового порошка

| Наименование материала | Содержание элементов, % | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------------------|-------|--------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|---------|-------|
| | Pt | Pd | Rh | Ir | Ru | Au | Pb | Fe | Si | Sn | Al |
| Pt порошок | 99,98 | 0,01 | 0,0012 | 0,0002 | 0,0018 | 0,002 | 0,002 | 0,0012 | <0,002 | <0,0001 | 0,002 |
| | Содержание элементов, % | | | | | | | | | | |
| | Sb | Ag | Mg | Zn | Cu | Ni | Mn | Cr | Co | Ca | |
| | 0,002 | 0,002 | 0,0003 | <0,0001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,005 | |

Т а б л и ц а 5. Результаты химического анализа полученного палладиевого порошка

| Наименование материала | Содержание элементов, % | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------------------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|
| | Pd | Pt | Rh | Ir | Ru | Au | Pb | Fe | Si | Sn | Al |
| Pd порошок | 99,94 | 0,0022 | 0,0310 | 0,0003 | 0,0039 | 0,0032 | <0,0001 | 0,0055 | <0,0001 | <0,0001 | 0,0003 |
| | Содержание элементов, % | | | | | | | | | | |
| | Sb | Ag | Mg | Zn | Cu | Ni | Mn | Cr | Co | Ca | |
| | 0,0022 | <0,0001 | 0,0001 | <0,0001 | 0,0050 | 0,0012 | 0,0001 | 0,0006 | 0,0005 | 0,0004 | |

ЛИТЕРАТУРА

1. Котляр, Ю.А. *Металлургия благородных металлов* / Ю.А. Котляр, М.А. Меретуков, Л.С. Стрижко // *Руда и металлы*. 2005. Т. 1. С. 253–263.
2. Хурсанов, А.Х. *Разработка технологии получения аффинированного палладиевого порошка из отработанных электролитов* / А.Х. Хурсанов, А.С. Хасанов, Б.Р. Вохидов // *Горный вестник Узбекистана*. 2019. № 1 (76). С. 58–61.
3. *Исследование повышения степени извлечения аффинированного палладиевого порошка из сбросовых растворов* / А.С. Хасанов [и др.] // *Литье и металлургия*. 2020. № 1. С. 78–86.
4. Хасанов, А.С. *Исследование повышения степени извлечения и чистоты аффинированного палладиевого порошка из сбросовых растворов* / А.С. Хасанов, Б.Р. Вохидов, Р.А. Хамидов // *Universum: Технические науки*. 2019. № 9. С. 20–30.
5. Vokhidov, B.R. *Scientific substantiation of the technology for obtaining pure palladium powder from technogenic electrolytes* // XI International correspondence scientific specialized conference «International scientific review of the technical sciences, mathematics and computer science». BOSTON (USA). 2019. June 10–11. P. 55–62.
6. Вохидов Б.Р., Хасанов А.С. *Creation of technology for the extraction of palladium from waste electrolytes by aqua regia leaching* // International conference on «Integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects». Navoi, 2019. P. 35–39.
7. Вохидов, Б.Р. *Разработка технологии получения платиновых металлов из техногенных отходов* / Б.Р. Вохидов // *Науч.-метод. журнал «Евразийский союз ученых»*. 2020. № 6(75). С.38–46.
8. Вохидов Б.Р., Хасанов А.С. *Разработка способа очистки палладиевого порошка от примесей* // *Международ. науч.-техн. конф. «Наука и инновации»*. Ташкент, 2019. С. 261–263.
9. Вохидов Б.Р., Хасанов А.С. *Исследование и разработка технологии извлечения металлов платиновых групп из техногенного сырья АО «АГМК»* // XIV Международ. конф. Институт химии и химической технологии Сибирского отделения РАН. Красноярск, 2021, 6–9 сентября. С. 29–32.
10. *Технология платиноидов* / А.Х. Хурсанов [и др.]. Ташкент: Мухаррир, 2021.

REFERENCES

1. Kotlyar Yu.A., Meretukov M.A., Strijko L.S. *Metallurgiya blagorodnix metallov* [Metallurgy of precious metals]. *Ruda i metally = Ore and metals*, 2005, vol. 1, pp. 253–263.

2. **Hursanov A. X., Hasanov A. S., Vohidov B. R.** Razrabotka texnologii polucheniya affinirovannogo palladievogo poroshka iz otrabotannix elektrolitov [Development of technology for obtaining refined palladium powder from spent electrolytes]. *Gorniy vestnik Uzbekistana = Mountain Bulletin of Uzbekistan*, 2019, no. 1 (76), pp. 58–61.
3. **Hasanov A. S.** Issledovanie povysheniya stepeni izvlecheniya affinirovannogo palladievogo poroshka iz sbrosovykh rastvorov [Study of increasing the degree of extraction of refined palladium powder from waste solutions]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 1, pp. 78–86.
4. **Hasanov A. S., Vohidov B. R., Hamidov R. A.** Issledovanie povyshenie stepen' izvlecheniya i chistoty affinirovannogo palladievogo poroshka iz sbrosnykh rastvorov [Study of increasing the degree of extraction and purity of refined palladium powder from waste solutions]. *Tehnicheskie nauki = Technical science*, 2019, no. 9, pp. 20–30.
5. **Vohidov B. R.** Nauchnoe obosnovanie texnologii polucheniya chistogo poroshka palladiya iz tehnogennix elektrolitov [Scientific substantiation of the technology for obtaining pure palladium powder from technogenic electrolytes]. *XI International correspondence scientific specialized conference «International scientific review of the technical sciences, mathematics and computer science». BOSTON (USA)*. June 10–11, 2019, pp. 55–62.
6. **Vohidov B. R., Hasanov A. S.** Creation of technology for the extraction of palladium from waste electrolytes by aqua regia leaching. *International conference on «Integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects»*. Navoi, 2019, pp. 35–39.
7. **Vohidov B. R.** Razrabotka texnologii polucheniya platinovykh metallov iz tehnogennykh othodov [Development of technology for obtaining platinum metals from industrial waste.]. *Nauchno-metodicheskij zhurnal «Evrazijskij sojuz uchenykh = Scientific and methodological journal «Eurasian Union of Scientists»*, 2020, no. 6(75), pp. 38–46.
8. **Vohidov B. R., Hasanov A. S.** Razrabotka sposoba ochildka palladievogo poroshka ot primesej [Development of a method for purification of palladium powder from impurities]. *Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Nauka i Innovacii», Tashkent, 1 nojabr', 2019 = International scientific and technical conference. "Science and Innovation"*. Tashkent, November 1, 2019, pp. 261–263.
9. **Vohidov B. R., Hasanov A. S.** Issledovanie i razrabotka texnologii izvlecheniya metallov platinovykh grupp iz tehnogennogo syr'ja AO «AGMK» [Research and development of technology for the extraction of platinum group metals from technogenic raw materials of JSC «AGMK»]. *XIV Mezhdunarodnaja konferencija, Krasnojarsk, 6–9 sentjabrja, 2021 = XIV International Conference, Krasnojarsk, September 6–9, 2021*, pp. 29–32.
10. **Hursanov A. Kh. i dr.** *Tehnologija platinoidov [Platinoid Technology]*. Tashkent, Muharrir Publ., 2021.