

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

---

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ  
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА  
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 3 (2023)

---

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**  
выходит 1 раз в квартал

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ KZ51VPY00036165

выдано  
Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем  
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,  
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

**Подписной индекс – 76129**

<https://doi.org/10.48081/GZVJ4547>

**Импакт-фактор РИНЦ – 0,189**

---

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);  
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);  
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);  
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

**Члены редакционной коллегии:**

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);  
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);  
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);  
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

**Зарубежные члены редакционной коллегии:**

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);  
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);  
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);  
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);  
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);  
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);  
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);  
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);  
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);  
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);  
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);  
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);  
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

**Ж. Шошай<sup>1</sup>, \*Р. В. Сапинов<sup>2</sup>, М. А. Саденова<sup>3</sup>,  
А. Б. Баева<sup>4</sup>, Б. С. Корабаев<sup>5</sup>**

<sup>1,3</sup>Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

<sup>2</sup>Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>4</sup>ФРГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» санитарно-гигиеническая лаборатория по Павлодарской области КСЭК МЗ РК, Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>5</sup>ТОО «SA Minerals», Республика Казахстан, г. Павлодар.

\*e-mail: [shoshai.z@tou.edu.kz](mailto:shoshai.z@tou.edu.kz)

### **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОВОЛНОВОЙ АКТИВАЦИИ НА ГИДРОМЕТАЛУРГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

*Благородные металлы, такие как золото на протяжении многих лет остаются одними из самых востребованных, поскольку являются мерой материальных ценностей. В последнее время золото не только не утратило своей актуальности, но и с развитием новых технологий становится все более востребованным в электронной и других областях промышленности по причине своих уникальных качеств. Однако количество и качество минерального сырья, из которого добывают золото, с каждым годом падает. В связи с этим, остро встает вопрос о более глубокой переработке упорного минерального сырья и техногенных отходов, содержащих золото. Так в Республике Казахстане имеются существенные залежи техногенных месторождений золота – хвосты обогащения и т.д. Они были образованы в тот период, когда технологии по извлечению золота из минерального сырья не были совершенными. Переработка техногенных месторождений позволит существенно расширить сырьевую базу добычи золота. Разработка таких месторождений имеет ряд преимуществ, поскольку сырье извлечено на поверхность и измельчено. Как правило, золото в хвостах содержится в виде тонких вкраплений в сульфидах трудно поддающихся цианированию. В данной статье рассматривается способ извлечения золота из хвостов пиритной руды АО «Майкаин Золото» содержащих золото в количестве  $\approx 1\text{г/т}$ . При помощи предварительного микроволнового нагрева и последующего тиомочевинного выщелачивания удалось извлечь до 94 % золота. Без обработки микроволновой обработкой извлечение золота составило 67 %.*

*Ключевые слова: хвосты обогащения, золото, микроволновая активация, рециклинг, тиомочевина.*

### Введение

Минеральные запасы золота не безграничны и при современном уровне потребления и годовой добыче  $\approx 3$  тыс. тонн, этих запасов хватит на 18–19 лет. В связи с этим, большое значение имеет расширение материально – сырьевой базы источников золота. Такими источниками могут являться техногенные отходы. Например, в АО «ГМК Казах алтын» общий объем технологических минеральных образований (ТМО – хвосты переработки золотосодержащих руд) составляет 25 млн. тонн [1], а запасы илов в хранилище Майкаинской золотоизвлекательной фабрики №1 составляют более 1 млн. тонн [2].

Переработка сырья техногенных месторождений зависит от того в каком виде в них находится золото. В зависимости от этого вначале к техногенному сырью применяют различные методы обогащения, с последующим выщелачиванием с помощью бактерий [3] или реагентов [4], либо пирометаллургической переработкой [5], либо их сочетанием. Чаще всего золото в хвостах золотодобычи находится в тонко вкрапленном виде, в присутствии сульфидов – пирита, пирротина, арсенопирита. Данные минералы повышают расход цианидов [6] и даже делают невозможным добычу золота цианированием [7]. Такое сырье называют упорным. Предлагаются различные методы переработки для извлечения золота из упорного сырья. Так с целью снижения расхода реагентов и повышения извлечения золота выполнены исследования по технологии аммиачно-цианистого выщелачивания [8]. Предлагаются и методы предварительного окисления пирита с помощью щелочей [9]. Однако наиболее распространенным методом является обжиг полученных упорных концентратов при температуре 500 – 700 °С [10]. Идет окисление пирита до пирротина, магнетита и далее до гематита (1).



Сообщается об успешном применении обжига сульфидного золотосодержащего сырья в псевдокипящем слое с последующим выщелачиванием [11]. Помимо преимуществ, процесс обжига с использованием электрических печей, окисление под высоким давлением и другие подобные способы применяемые для разложения пирита имеют свои недостатки – высокие затраты энергии и экологические проблемы [12]. Повысить эффективность пиро процессов возможно с применением микроволнового обжига. Сообщается что сульфиды и пирит в частности особо чувствительны к микроволновому нагреву. При микроволновом облучении пирита, тепло индуцируется непосредственно в самом минерале. За счет этого сокращается расход энергии. Испытание на выщелачивание с использованием тиомочевины было проведено для обработанных микроволнами и необработанных золотых концентратов. При выщелачивании тиомочевинной из необработанного концентрата извлекалось 80% золота, когда из обработанного концентрата золото могло быть извлечено полностью. Эффективность выщелачивания золота увеличивалась с увеличением времени микроволнового облучения, а также с более высоким содержанием тиомочевины [13]. В другом исследовании из тугоплавкого

минерала пиритного происхождения было извлечено 93,1 % золота за 180 мин. с помощью предварительной обработки микроволновыми волнами. В качестве выщелачивающего реагента использовалась тиомочевина (0,1 М) [14]. Таким образом, можно предположить, что микроволновое облучение и последующее тиомочевинное выщелачивание может существенно повысить эффективность процесса извлечения золота как из минерального, так и из техногенного сырья. В данной работе было изучено влияние обжига в муфельной и микроволновой печи на извлечение золота из хвостов Майкаинской золотоизвлекательной фабрики №1 с помощью водного раствора тиомочевины. Схема проведения эксперимента приведена на рисунке 1.

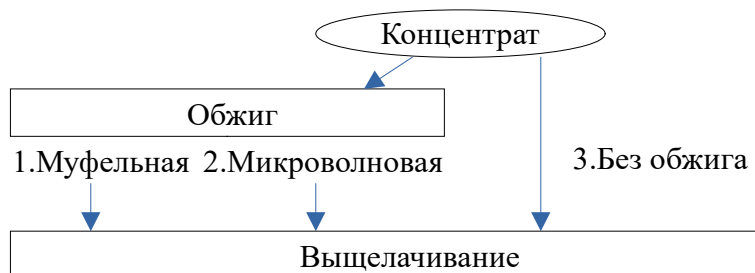


Рисунок 1– Схема проведения эксперимента

#### Материалы и методы

Все эксперименты проводились в лабораториях аналитических исследований центра превосходства «Veritas» ВКТУ им. Д.Серикбаева (<https://www.ektu.kz/divisions/veritas.aspx>) и Торайгыров Университета (<https://tou.edu.kz/ru/component/university?department=126>). В качестве объекта исследования использовались (Рисунок 1) хвосты Майкаинской обогатительной фабрики № 1 в количестве 100 кг взяты методом квартования из валовой пробы на участке хвостохранилища.



Рисунок 2 – Хвосты Майкаинской обогатительной фабрики № 1

Хим. состав объекта исследования (Таблица 1) определялся с помощью масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой ICP-MS 7500cx фирмы «Agilent technologies» (США). Для изучения морфологии поверхности материалов (Рисунок 3) использовался микроскоп ВХ-51 (Olympus, Япония). Для изучения фазового состава объекта исследования, до и после обжига в муфельной и микроволновой печи применяли рентгеновский дифрактометр X'Pert PRO производства компании «PANalitical». Для изучения топографии, морфологии, качественного и количественного элементного микроанализа в точечной области, построения профилей распределения элементов вдоль заданной линии, построения карт распределения элементов на выбранном участке объекта исследования, использовали растровый электронный микроскоп JSM-6390LV производства компании «JEOL Ltd.» (Япония). Для проведения обжига использовали электропечь муфельную модели SNOL-6,7/1300 и кухонную микроволновую печь мощностью = 1 кВт; частотой = 2,45 ГГц. Выщелачивание проводилось с помощью водного раствора тиомочевины концентрацией 20 г/л при температуре 60 °С. Навеска весом = 250 г. Соотношение Т/Ж = 1/2 (твердого / жидкость). Материал выщелачивается в течение 120 мин с перемешиванием на магнитной мешалке. рН процесса = 1,5. Каждые 30 минут отбирались пробы для изучения кинетики процесса. Для поддержания рН процесса добавлялся  $Fe_2(SO_4)_3 = 1,8\%$  и  $H_2O_2 = 20$  мл/л. Выщелачивание проводилось с перемешиванием на магнитной мешалке. Для измельчения материалов применялись шаровая и вибрационная мельницы. Твердую и жидкую фазы разделяли фильтрацией, а фильтраты анализировали на содержание золота и других ценных компонентов. Остатки были высушены и также проанализированы для определения содержания в них золота и других ценных компонентов. Опыты повторяли 2 раза. При разнице значений результатов более 1 % эксперимент повторяли. Все реагенты аналитической чистоты.

### Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлен средний элементный состав лежалых хвостов Майкаинской обогатительной фабрики.

Таблица 1 – Средний элементный состав хвостов

Элемент	Si	S	Ba	Fe	Al	O	Ca	K	Zn	As
Масса, %	18,3	5,8	16,4	5,5	5,8	44,8	0,18	1,2	0,48	0,024

Присутствие кремния говорит о наличии кварца, железо и сера, как правило, содержатся в виде минералов пирита. На рисунке 3 показана морфология поверхности лежалых хвостов Майкаинской обогатительной фабрики.

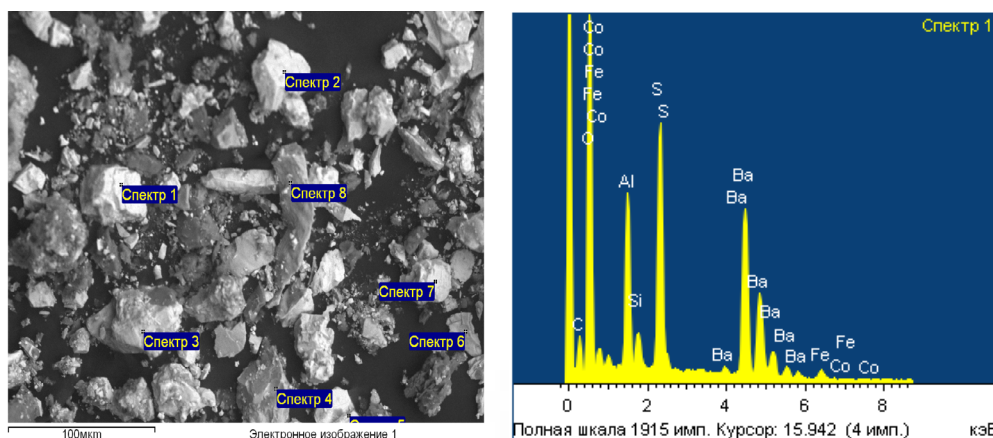


а)

б)

Рисунок 3 – Морфология поверхности лежалых хвостов Майкаинской обогатительной фабрики

На рисунке 3б показана увеличенная часть участка выделенного красным на рисунке 3а. С большой вероятностью это частично окисленный кристалл пирита. Это косвенно подтверждается наличием элементов серы и железа обнаруженных при помощи растрового электронного микроскопа (Рисунок 4).



а)

б)

Рисунок 4 – Морфология (а), качественный и количественный элементный микроанализ в точечной области (б)

Проведенный РФА (Рисунок 5) анализ подтвердил наличие пирита в количестве = 11,3 %, а также барита и кварца в количествах 61,8 % и 26,9 % соответственно.

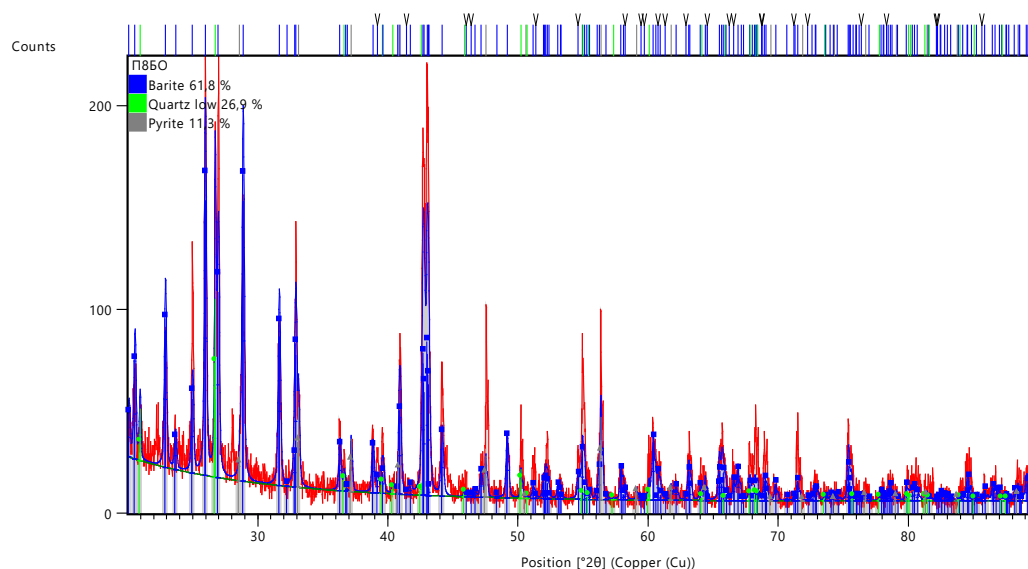


Рисунок 5 – РФА анализ объекта исследования

#### Стадия обжига

1 Образцы объекта исследования в количестве = 250 г были обожжены в течении 30 минут при температуре 700 °С в муфельной печи. Время обжига было подобрано на основании ранее проведенных исследований. После обжига материал был подвергнут РФА анализу (Рисунок 6а) и была изучена морфология образца с помощью расторового микроскопа.

2 Образцы объекта исследования в количестве = 250 г были обожжены в течении 15 минут на максимальной мощности в микроволновой печи. Время обжига было подобрано на основании ранее проведенных исследований. После обжига материал был подвергнут РФА анализу (Рисунок 6б) и была изучена морфология образца с помощью расторового микроскопа.



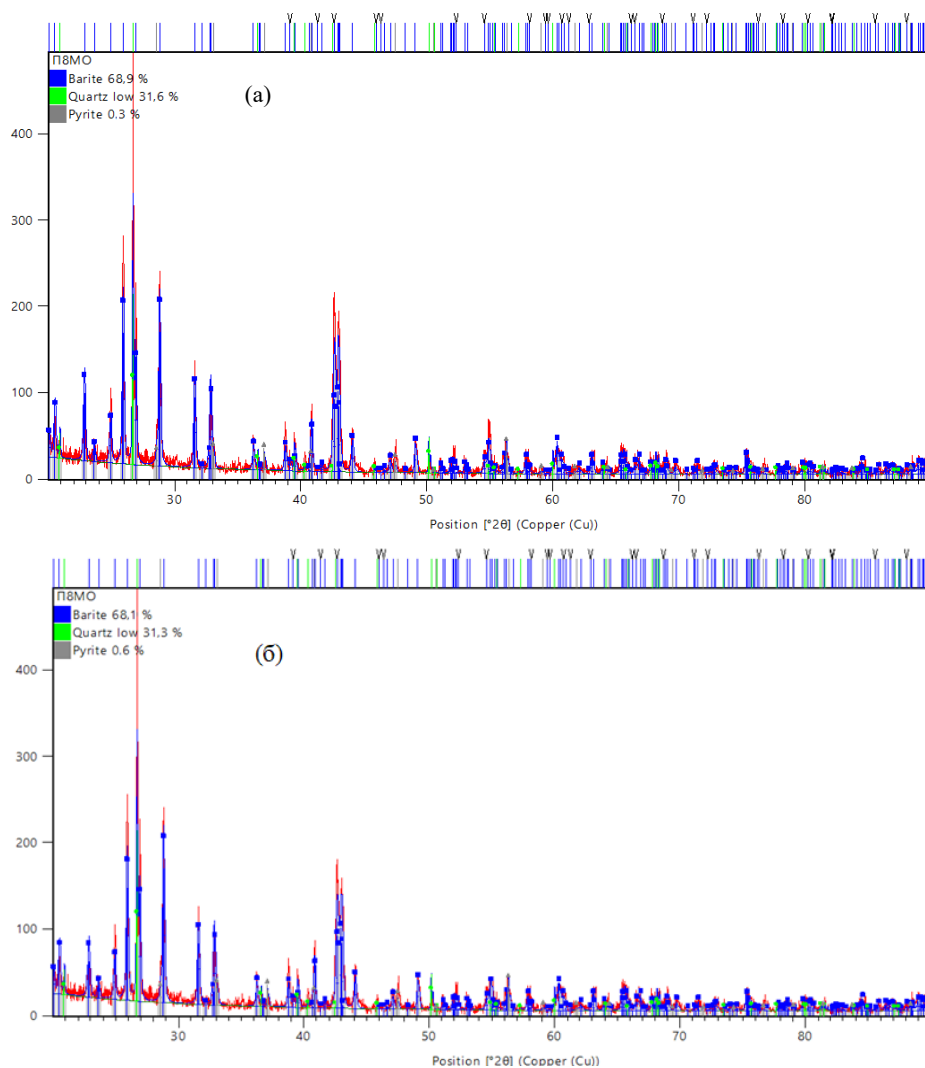


Рисунок 6 – РФА анализ объекта исследования после обжига в муфельной (а) и микроволновой печи (б)

Результаты проведенной термической обработки в обоих случаях показали заметное снижение количества пиррита за счет окисления с 11,3 до 0,3 % и 0,6 % в муфельной и микроволновой печи соответственно (Рисунок 6). На рисунке 7 показана морфология поверхности пробы после обжига в муфельной (Рисунок 7а) и микроволновой печи (Рисунок 7б). На снимках изображенных на рисунке 7 не было обнаружено кристаллов по своему виду напоминающих кристаллы пиррита. На рисунке 8 показаны снимок и микроанализ хвостов после обжига сделанный с помощью растрового микроскопа.

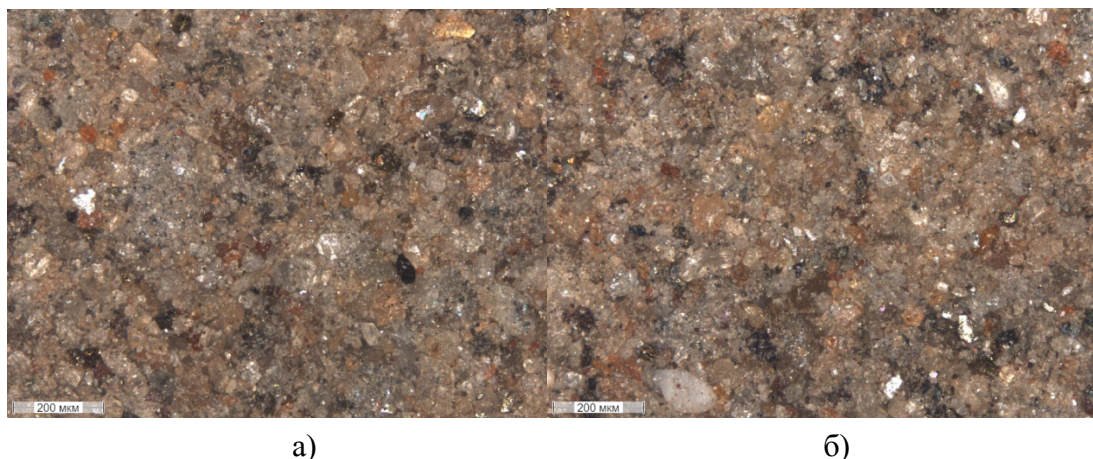


Рисунок 7 – Морфология поверхности лежалых хвостов Майкаинской обогатительной фабрики после обжига в муфельной (а) и микроволновой печи (б)

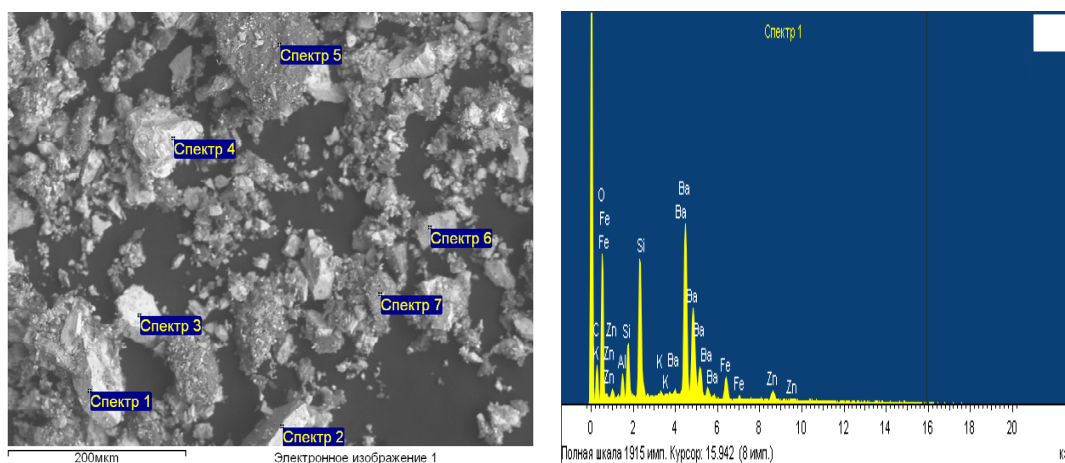


Рисунок 8 – Морфология (а), качественный и количественный элементный микроанализ в точечной области (б) после обжига

Морфология, качественный и количественный элементный микроанализ в точечной области спектра 1, хвостов после обжига показанный на рисунке 8 показывает отсутствие серы. Отсутствие серы еще раз подтверждает практически полное разложение пирита за счет окисления серы в виде  $SO_2$  как при обжиге как в муфельной так и в микроволновой печи .

На следующем этапе проводилось выщелачивание золота из хвостов без термической обработки и прошедших обжиг в муфельной и микроволновой печи.

#### Стадия выщелачивания

При проведении выщелачивания золота из хвостов без обжига за 120 минут удалось извлечь 67 % золота. При проведении выщелачивания золота из хвостов прошедших обжиг в муфельной печи извлечение золота составило 92 %. При проведении выщелачивании золота из хвостов прошедших обжиг в

микроволновой печи извлечение золота составило 94 %. На рисунке 9 показан график отображающий извлечение золота из сырья подготовленного разными методами.

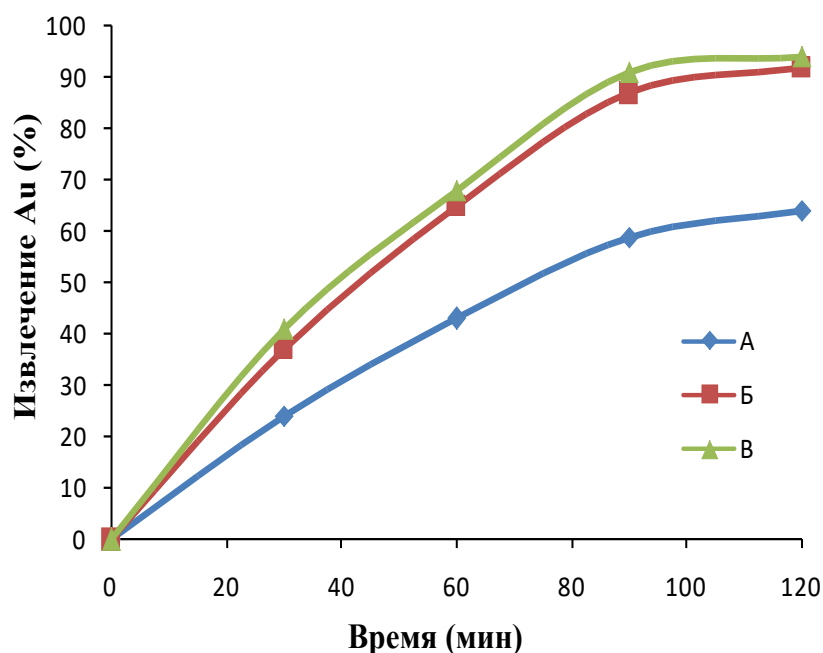


Рисунок 9 – График извлечение золота из сырья подготовленного разными методами: (А) – без обжига; (Б) – обжиг в муфельной печи; (В) – обжиг в микроволновой печи

### Выводы

Как и ожидалось обжиг пиритного сырья существенно увеличил извлечение золота, за счет высвобождения связанного тонко вкрапленного золота. При этом обжиг с помощью микроволновой печи оказался наиболее эффективным. Для обжига в муфельной печи было затрачено 45 минут на выход до температуры 700 °С и затем непосредственно на сам обжиг в течении 30 минут. Обжиг в микроволновой печи занял всего 15 минут. Это связано с тем, что микроволновая печь индуцирует нагрев непосредственно в кристалле пирита. При этом тонко вкрапленное золото в металлическом виде также начинает разогреваться внутри кристалла, тем самым ускоряя вскрытие. С этим также связано и более высокое извлечение золота при помощи водного раствора тиомочевины. поскольку при нагреве микроволнами, все тонко вкрапленное золото оказывается вскрытым. Данное направление крайне перспективно. Далее авторы планируют изучить кинетические закономерности выщелачивания золота водным раствором тиомочевины из минерального и техногенного сырья активированного микроволновым нагревом.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 [Электронный ресурс]. – [https://kase.kz/files/emitters/KZAL/kzalp\\_2017\\_rus.pdf](https://kase.kz/files/emitters/KZAL/kzalp_2017_rus.pdf)
- 2 Официальный сайт «Единый экологический портал». [Электронный ресурс]. – [ecportal.kz](https://ecportal.kz) <https://ecportal.kz/Public/PubHearings/LoadFile/35216> (дата обращения 23.07.2023).
- 3 **Wang, J., Faraji, F., Ramsay, J., & Ghahreman, A.** (2021). A review of biocyanidation as a sustainable route for gold recovery from primary and secondary low-grade resources. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126457. [Электронный ресурс]. – doi:10.1016/j.jclepro.2021.126457.
- 4 **Neag, E, Kovacs, E, Dinca, Z, et al.** (2021) Hydrometallurgical Recovery of Gold from Mining Wastes. *Strategies of Sustainable Solid Waste Management*. Intech Open. DOI: 10.5772/intechopen.94597.
- 5 **Ojeda, M.W. & Perino, Ernesto & Ruiz, M.** (2009). Gold extraction by chlorination using a pyrometallurgical process. *Minerals Engineering – MINER ENG*. 22. 409-411. 10.1016/j.mineng.2008.09.002.
- 6 **Ахмедов, Х., Асиллов, Ш. Н., Ботиров, М. Ш., Содиков, Ф. С.** Исследования технологии переработки упорных золотосодержащих руд и концентратов месторождений Даугызтау // *Central Asian Academic Journal of Scientific Research*. 2022. № 5.
- 7 **Qin, H., Guo, X., Tian, Q., & Zhang, L.** (2021). Recovery of gold from refractory gold ores: Effect of pyrite on the stability of the thiourea leaching system. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28(6), 956–964. [Электронный ресурс]. – doi:10.1007/s12613-020-2142-9.
- 8 **Коблов, А. Ю., Дементьев, В. Е., Бескровная, В. П.** Технология переработки упорных пирит-теннантитовых золотосодержащих руд. *Вестник ИрГТУ №3 (39)* 2009.
- 9 **Li, J., Dabrowski, B., Miller, J. D., Acar, S., Dietrich, M., LeVier, K. M., & Wan, R. Y.** (2006). The influence of pyrite pre-oxidation on gold recovery by cyanidation. *Minerals Engineering*, 19(9), 883–895. [Электронный ресурс]. – doi:10.1016/j.mineng.2005.09.05.
- 10 **AL motasim, T., Abdalla, S., Abdelmajid, I., Essam, M., Kabash, M.** Study of the effects of roasting and sodium thiosulfate on the extraction of silver from Volcanic Massive Sulfide ore, *Results in Chemistry*, Volume 5, 2023, 100829. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.100829>.
- 11 **Xu, B., Yang, Y., Li, Q., Li, G. & Jiang, T.** (2014). Fluidized roasting-stage leaching of a silver and gold bearing polymetallic sulfide concentrate. *Hydrometallurgy*, 147-148, 79–82.
- 12 **Boyabat, N., Özer, A., Bayrakceken, S., Gülabo, Şglu M.** Thermal decomposition of pyrite in the nitrogen atmosphere. *Fuel Process. Technol.* 2004, 85, 179–188.

13 **Choi, N-C, Kim, B-J, Cho, K, Lee, S, Park, C-Y.** Microwave Pretreatment for Thiourea Leaching for Gold Concentrate. *Metals*. 2017; 7(10):404. [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.3390/met7100404>.

14 **Jiménez, T. G., Torres, G. R., Parra, P. M., Córdoba, A. O., Sosa, D., & Ortíz, C.** (2022). Microwave treatment for gold minerals used in small-scale mining. *Journal of Applied Research and Technology*, 20(4), 399–407. [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2022.20.4.1771>.

#### REFERENCES

1 [Electronic resource]. – [https://kase.kz/files/emitters/KZAL/kzalp\\_2017\\_rus.pdf](https://kase.kz/files/emitters/KZAL/kzalp_2017_rus.pdf).

2 **Oficial'ny`j sajt «Ediny`j e`kologicheskij portal».** [Electronic resource]. – [ecoportal.kz](https://ecoportal.kz) <https://ecoportal.kz/Public/PubHearings/LoadFile/35216> (data obrashheniya 23.07.2023).

3 **Wang, J., Faraji, F., Ramsay, J., & Ghahreman, A.** (2021). A review of biocyanidation as a sustainable route for gold recovery from primary and secondary low-grade resources. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126457. [Electronic resource]. – doi:10.1016/j.jclepro.2021.126457.

4 **Neag, E, Kovacs, E, Dinca, Z, et al.** (2021) Hydrometallurgical Recovery of Gold from Mining Wastes. *Strategies of Sustainable Solid Waste Management*. Intech Open. [Electronic resource]. – DOI: 10.5772/intechopen.94597.

5 **Ojeda, M.W. & Perino, Ernesto & Ruiz, M.** (2009). Gold extraction by chlorination using a pyrometallurgical process. *Minerals Engineering – MINER ENG*. 22. 409-411. 10.1016/j.mineng.2008.09.002.

6 **Axmedov, X., Asilov, Sh. N., Botirov, M. Sh., Sodirov, F. S.** Issle-dovaniya texnologii pererabotki uporny`x zolotosoderzhashhix rud i koncentratov mestorozhdenij Daugy`ztau // *Central Asian Academic Journal of Scientific Research*. 2022. № 5.

7 **Qin, H., Guo, X., Tian, Q., & Zhang, L.** (2021). Recovery of gold from refractory gold ores: Effect of pyrite on the stability of the thiourea leaching system. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28(6), 956–964. [Electronic resource]. – doi:10.1007/s12613-020-2142-9.

8 **Koblov, A. Yu, Dement`ev, V. E., Beskrovnaya, V. P.** *Texnologiya pe-rerabotki uporny`x pirit-tennantitovy`x zolotosoderzhashhix rud*. Vestnik IrGTU № 3 (39) 2009.

9 **Li, J., Dabrowski, B., Miller, J. D., Acar, S., Dietrich, M., LeVier, K. M. & Wan, R. Y.** (2006). The influence of pyrite pre-oxidation on gold recovery by cyanidation. *Minerals Engineering*, 19(9), 883–895. [Electronic resource]. – doi:10.1016/j.mineng.2005.09.05.

10 **AL motasim T., Abdalla, S., Abdelmajid, I., Essam, M., Kabash, M.** Study of the effects of roasting and sodium thiosulfate on the extraction of silver from Volcanic Massive Sulfide ore, *Results in Chemistry*, Volume 5, 2023, 100829. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.100829>.

11 **Xu, B., Yang, Y., Li, Q., Li, G. & Jiang, T.** (2014). Fluidized roasting-stage leaching of a silver and gold bearing polymetallic sulfide concentrate. *Hydrometallurgy*, 147-148, 79–82,

12 **Boyabat, N., Özer, A., Bayrakceken, S., Gülabo ğlu, M.** Thermal decomposition of pyrite in the nitrogen atmosphere. *Fuel Process. Technol.* 2004, 85, 179–188.

13 **Choi N-C, Kim B-J, Cho K, Lee S, Park C-Y.** Microwave Pretreatment for Thiourea Leaching for Gold Concentrate. *Metals*. 2017; 7(10):404. <https://doi.org/10.3390/met7100404>.

14 **Jiménez T.G., Torres G.R., Parra P.M., Córdoba A.O., Sosa D., & Ortíz C.** (2022). Microwave treatment for gold minerals used in small-scale mining. *Journal of Applied Research and Technology*, 20(4), 399-407. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2022.20.4.1771>.

Материал поступил в редакцию 19.08.23.

**Ж. Шошай<sup>1</sup>, \*Р. В. Сапинов<sup>2</sup>, М. А. Саденова<sup>3</sup>,  
А. Б. Баева<sup>4</sup>, Б. С. Корабаев<sup>5</sup>**

<sup>1,3</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ;

<sup>2</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ;

<sup>4</sup>Ұлттық сараптама орталығы Павлодар облысы бойынша санитарлық-  
гигиеналық зертхана, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ;

<sup>5</sup>«SA Minerals», Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 19.08.23 баспаға түсті.

### **ТЕХНОГЕНДІК ҚАЛДЫҚТАРДАН АЛТЫН АЛУДЫҢ ГИДРОМЕТАЛУРГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІН МИКРОТОЛҚЫНМЕН БЕЛСЕНДІРУДІҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ**

*Асыл металдардың бірі алтын көптеген жылдар бойы үлкен сұранысқа ие, өйткені олар материалдық құндылықтың өлшемі болып табылады. Соңғы уақытта алтынның өзектілігі арта түскенімен бірге жаңа технологиялардың дамуымен электронды және басқа да салаларда өзінің ерекше қасиеттеріне байланысты сұранысқа ие бола бастады. Алайда, алтын өндірілетін минералды шикізаттың мөлшері мен сапасы жыл сайын төмендеуде. Осыған байланысты құрамында алтын бар қиын өңделетін минералды шикізат пен техногендік қалдықтарды негұрлым терең өңдеу туралы мәселе өткір тұр. Осылайша, Қазақстан Республикасында алтынның техногендік кен орындарының едәуір кен орындары бар - байыту және т.б. қалдықтар олар минералды шикізаттан алтын алу технологиялары дамымаған кезеңінде пайда болған. Техногендік кен орындарын қайта өңдеу алтын өндірудің шикізат базасын едәуір кеңейтуге мүмкіндік береді. Мұндай кен орындарын игерудің бірқатар артықшылықтары бар, өйткені шикізат жер бетіне шығарылған және ұсақталған. Әдетте,*

қалдықтардағы алтын цианидтеуге қиын сульфидтерде жұқа дақтар түрінде болады. Бұл мақалада «Майқайың Алтын» АҚ пирит кенінің қалдықтарынан алтынды  $\approx 1\text{г/т}$  мөлшерінде алу әдісі қарастырылған. Алдын ала микротолқынмен өңдеуде және одан кейінгі тиомочевинамен ерітінділеуде алтынның 94 % - на дейін алуға болады. Микротолқынды өңдеусіз алтын алу 67 % құрады.

*Кілтті сөздер:* байыту қалдықтары, алтын, микротолқынды белсендіру, рецилинг, тиомочевина.

**Zh. Shoshay<sup>1</sup>, \*R. V. Sapinov<sup>2</sup>, M. A. Sadenova<sup>3</sup>,**

**A. B. Baeva<sup>4</sup>, B. S. Korabaev<sup>5</sup>**

<sup>1,3</sup>East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbayev,  
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

<sup>2</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>4</sup>«National Centre for Expertise» sanitary-hygienic laboratory in Pavlodar region,  
Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>5</sup>«SA Minerals», Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 19.08.23

## STUDY OF THE EFFECT OF MICROWAVE ACTIVATION ON THE HYDROMETALLURGICAL PROCESS OF GOLD EXTRACTION FROM TECHNOGENIC WASTES

*Precious metals such as gold have been among the most sought-after metals for many years, as they are a measure of wealth. Recently, gold has not only remained relevant, but with the development of new technologies, it is becoming more and more in demand in electronics and other industries due to its unique qualities. However, the quantity and quality of mineral raw materials from which gold is extracted is decreasing every year. In this connection, the question of deeper processing of refractory mineral raw materials and technogenic wastes containing gold arises. Thus, in the Republic of Kazakhstan there are significant deposits of technogenic gold deposits - tailings of enrichment, etc. They were formed in the period when technologies for extraction of gold from mineral raw materials were not perfect. Processing of anthropogenic deposits will significantly expand the raw material base of gold production. Development of such deposits has a number of advantages, as the raw material is extracted to the surface and crushed. As a rule, gold in tailings is contained in the form of thin phenocrysts in sulphides difficult to cyanidise. In this article the method of gold extraction from tailings of pyritic ore of JSC «Maikain Gold» containing gold in the amount of  $\approx 1\text{g/t}$  is considered. Microwave preheating and subsequent thiourea leaching recovered up to 94% of the gold. Without microwave treatment the gold recovery was 67 %.*

*Keywords:* tailings, gold, microwave activation, recycling, thiourea.

Теруге 08.09.23 ж. жіберілді. Басуға 29.09.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 17,61 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4133

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz