

9-9-2020

## STUDY OF GOLD ENCAPSULATION IN MAGHEMITE DURING MICROWAVE ROASTING OF FLOTATION CONCENTRATE

K. Sanakulov

*Navoi Mining and Metallurgical Combinat, Navoi, Uzbekistan, info@ngmk.uz*

O.U. Fuzaylov

*Navoi State Mining Institute, Navoi, Uzbekistan, omon\_fuzaylov@ndki.uz*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/gorvest>



Part of the [Other Engineering Commons](#)

---

### Recommended Citation

Sanakulov, K. and Fuzaylov, O.U. (2020) "STUDY OF GOLD ENCAPSULATION IN MAGHEMITE DURING MICROWAVE ROASTING OF FLOTATION CONCENTRATE," *Gorniy vestnik Uzbekistana*: Vol. 2020 : Iss. 3 , Article 4.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/gorvest/vol2020/iss3/4>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Gorniy vestnik Uzbekistana by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНКАПСУЛЯЦИИ ЗОЛОТА В МАГГЕМИТЕ ПРИ МИКРОВОЛНОВОМ ОБЖИГЕ ФЛОТОКОНЦЕНТРАТА

Maqolada murakkab tarkibli oltin saqlovchi konsentratga mikroto'qinli ishlov berganda oltinning maggemitga kapsulyatsiyasini o'rganish bo'yicha olib borilgan izlanishlar natijalari keltirilgan. Mikroto'qinli ishlov berilgan kuyindini magnitli separatsiya qilganda oltinning magnitli fraksiyaga konsentrlanishi kuzatildi. Oltin va maggemitning korrelyatsiyasi aniqlandi, ya'ni kuyindidagi oltinning 80% qismi tarkibida 48,7% maggemit bo'lgan magnitli fraksiyaga tarkibiga o'tdi. Temir oksidlarini eritish maqsadida magnitli fraksiyaga sulfat kislotali ishlov berish jarayoni oltinning magnitli fraksiyadan ajralish darajasini 96% ga oshirish imkonini berdi.

**Tayanch iboralar:** murakkab tarkibli oltin saqlovchi konsentrat, mikroto'qinli kuydirish, oksidlash, pirit, maggemit, gematit, magnitli separatsiya, oltinning kapsulyatsiyasi.

В статье представлены результаты исследования инкапсуляции золота в маггемите при микроволновой обработке упорного золотосодержащего концентрата. Магнитная сепарация МВ огарка показала концентрирование золота в магнитную фракцию. Результаты рентгеноструктурного анализа подтвердили большое содержание маггемита в магнитной фракции. Была обнаружена явная корреляция между золотом и маггемитом так как основная часть золота переходит в магнитную фракцию где содержание маггемита 48,7%. Серноокислотное выщелачивание магнитной фракции с целью растворения окислов железа позволило повысить степень извлечения золота из магнитной фракции до 96%.

**Ключевые слова:** упорный золотосодержащий концентрат, микроволновый обжиг, окисление, пирит, маггемит, гематит, магнитная сепарация, инкапсуляция золота.

На сегодняшний день проблемы переработки упорных золотосодержащих руд стали основной темой золоторудной промышленности. Литературы [1-4] указывают на то что упорность в золотосодержащих рудах, в основном делится на физическую и химическую. При физической упорности золото капсулировано в сульфидную матрицу вследствие чего выщелачивающий раствор не может добраться до реакционной поверхности с золотом, а в химической упорности в породе может содержаться углестое вещество поглощающее растворенное золото, и породные примеси способные реагировать с цианидом доступным для растворения золота или некоторые промежуточные соединения, такие как двухвалентное железо, сульфид-ион, тиосульфаты и арсениды, которые потребляют кислород, который нужен для растворения золота в цианиде, кроме того, эти виды упорности имеют тенденцию к повторному осаждению уже окисленного золота [5].

Такие руды требуют предварительной обработки, чтобы разрушить матрицу сульфидов и окислить или пассивировать углеродистое вещество перед выщелачиванием. Методы предварительной обработки включают обжиг, хлорирование, автоклавная обработка и биоокисление.

В нашей предыдущей работе [6] был исследован способ микроволнового обжига для обработки упорного золотосодержащего концентрата ГМЗ-3 НГМК. Результаты показали увеличение в степени извлечения золота от 29,8 до 74,5%. В целом, извлечение золота на уровне около 75%, как правило, не является отличным результатом для операции с золотом, поэтому исследование того как остаточные 25% инкапсулируются в минералах, представляет особый интерес и заслуживает изучения.

По идеи при обжиге флотоконцентрата реакция окисления должна протекать превращением пирита в магнетит и затем в гематит [7, 8]. Однако на самом деле, промежуточный оксид железа маггемит образуется в процессе окисления магнетита в гематит [7-11]. Дуглас и Семенина [9] утверждали, что маггемит является основным носителем как и свободного, так и мелкодисперсного золота при обжиге флотоконцентрата. По этой причине нами была поставлена цель - определить, насколько золото капсулировано в маггемите при микроволновом обжиге флотоконцентрата.

Наблюдалось, что при окислительном обжиге флотоконцентрата образуются магнитные фазы (в основном, маггемит), которые имеют значительно меньшую пористость, что приводит к инкапсуляции золота. Эти фазы можно эффективно извлечь в виде магнитной фракции. В табл.1 представлены результаты полуколичественного рентгеноструктурного анализа МВ огарка. Как видно из таблицы самое большое содержание среди окислов железа имеет маггемит (12,6%).

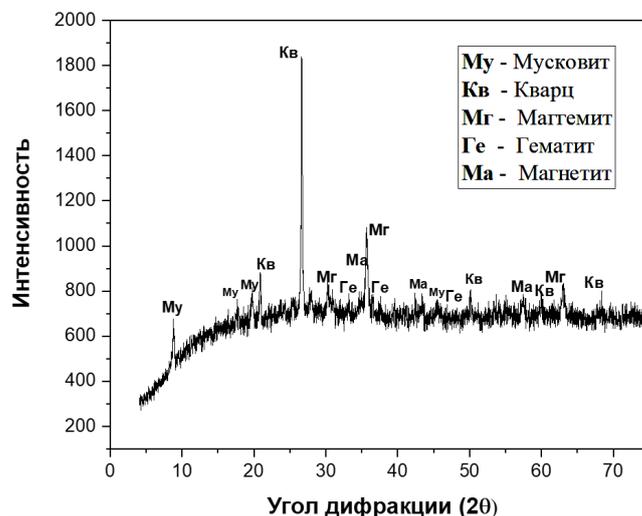


Рис. 1. Дифрактограмма МВ обработанного флотоконцентрата

На рис. 1. представлена дифрактограмма МВ обработанного флотоконцентрата. Показано, что основные оксиды железа после МВ обжига проявляются в виде магнетита, маггемита и гематита. Нерудные минералы в основном представлены мусковитом, кварцем и анортитом.

Для уточнения подтверждения, является ли маггемит основным носителем трудноизвлекаемого золота, была проведена магнитная сепарация МВ огарка после сорбционного цианирования.

Таблица 1

Результаты полуколичественного рентгеноструктурного анализа МВ обожженного флотоконцентрата

Наименование минерала	Мусковит	Кварц	Маггемит	Гематит	Магнетит	Анортит	Эпидот	Хлорит
Содержание, %	34,2	26,5	12,6	3,57	4,36	12,2	3,66	2,5

**Санакулов К.,**  
генеральный директор  
ГП «Навоийский горно-  
металлургический  
комбинат»,  
д.т.н., профессор



**Фузайлов О.У.,**  
докторант кафедры  
«Металлургия» НГГИ



Таблица 2

Результаты магнитной сепарации МВ огарка после сорбционного цианирования

№	Наименование продукта	E% Au	γ	Fe%	Ss%	Собщ%	Сообщ%	Сорг %	As%
1	МВ огарок после сорбции	100	100	22,8	0,2	0,5	1,3	0,8	0,64
2	Магнитная фракция	70,05	38,6	50,9	< 0,2	0,2	0,22	0,54	0,46
3	Немагнитная фракция	29,95	61,4	4,9	0,2	0,37	1,66	1,3	0,72

Магнитную сепарацию проводили на постоянном магнитном поле с магнитной индукцией 0,4 Тесла. Взяли две пробы МВ огарка до и после сорбционного цианирования по 40 гр, смешивали с 80 мл водой и прогоняли через постоянное магнитное поле с получением двух продуктов: магнитную и немагнитную фракцию. К полученной магнитной фракции добавляли 40 мл воды и снова подвергали магнитной сепарации. Этот цикл повторяли 5 раз для получения более богатого железом концентрата. В результате магнитной сепарации были получены 2 пробы магнитной и 2 пробы немагнитной фракции. Все пробы подвергались химическому и рентгенофазному анализу для определения качества полученных концентратов.

С целью высвобождения золота ассоциированное оксидами железа проводили сернокислотное выщелачивание железа, после чего осадок подвергался сорбционному цианированию. Сернокислотное выщелачивание проводили с содержанием серной кислоты 200 г/л при Т:Ж = 1:5; Т=80–85°C, в течение 90 минут. Фильтрат подвергался анализу ионов железа и примесей.

В табл. 2. представлены результаты магнитной сепарации. Показано, что извлечение золота в магнитную фракцию составляет ~70%, при содержании: Fe-50,9%; Ss-0,2%; Сорг -0,54%; As -0,46%. По результатам анализа видно, что корреляция между золотом и углеродом, или между золотом и мышьяком не имеется, так как основная часть этих элементов перешла на немагнитную фракцию, когда большая часть золота переходит в магнитную фракцию.

Как показывает дифрактограмма магнитной фракции (рис. 2.) основными фазами являются фазы магнетита, также имеются пики слабой интенсивности фаз кварца, гематита и гематита. В табл. 3. представлены результаты полуколичественного рентгеноструктурного анализа. Как видно из таблицы содержание оксидов железа в магнитной фракции увеличилось в 4 раза, а содержание кварца уменьшалось на 11%.

Таблица 3

Результаты полуколичественного рентгеноструктурного анализа магнитной фракции МВ обожженного флотоконцентрата

Наименование минерала	Кварц	Магнетит	Гематит	Магнетит
Содержание, %	15,7	48,7	16,1	19,5

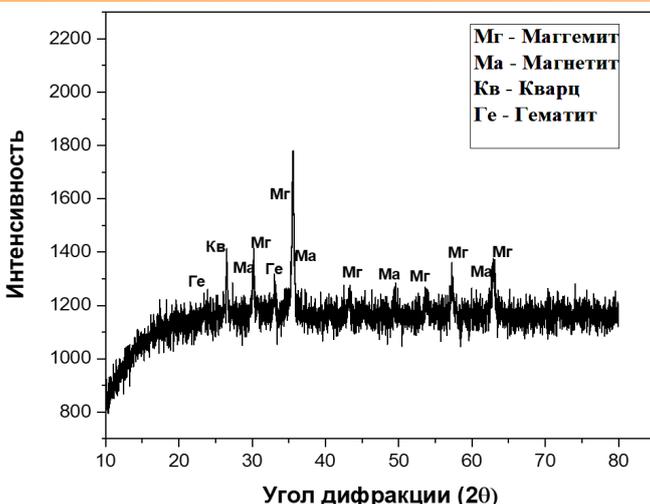


Рис. 2. Дифрактограмма магнитной фракции МВ обработанного флотоконцентрата

На рис. 3. представлена дифрактограмма немагнитной фракции МВ обожженного флотоконцентрата. Как видно из рисунка, пики оксидов железа не наблюдаются, что свидетельствует, об их полном переходе в магнитную фракцию не учитывая очень маленького количества гематита, который не проявляет магнитные свойства. В табл. 4. представлен полуколичественный минералогический состав немагнитной фракции. Показано, что основными минералами являются мусковит (40,9%), кварц (30%) и анортит (14,92%).

Магнитная сепарация МВ огарка до сорбции показала 80% извлечение золота в магнитную фракцию при выходе магнитной фракции 40%.

С целью высвобождения золота, ассоциированное с оксидами железа, было проведено сернокислотное выщелачивание оксидов железа из магнитной фракции с последующим сорбционным цианированием кека. Немагнитная фракция также подвергалась сорбционному цианированию.

Результаты показали, что при сорбционном цианировании кека, после сернокислотного выщелачивания магнитной фракции, степень извлечения золота составила ~ 96%. Степень извлечения золота из немагнитной фракции составила ~ 65%.

Таким образом, рентгеноструктурные анализы показали наличие в огарке значительного количества магнетита, в котором может быть ассоциировано существенное количество золота. Магнетит имеет непористую структуру, что препятствует выщелачиванию золота. Проведенная магнитная сепарация МВ огарка после сорбционного цианирования подтвердила, что магнетит является основным носителем трудноизвлекаемого золота. Полученные результаты показали, что извлечение золота в магнитную фракцию составляет 75–80%, при содержании: Fe-50,9%; Ss-0,2%; Сорг -0,54%; As -0,46%. Была обнаружена явная корреляция между золотом и магнетитом так как основная часть золота переходит в магнитную фракцию где содержание магнетита 48,7%.

Сернокислотное выщелачивание магнитной фракции с целью растворения оксидов железа позволило повысить степень извлечения золота из магнитной фракции на 20%, что является еще одним доказательством того, что большая часть трудноизвлекаемого золота ассоциировано с магнетитом.

Таблица 4

Результаты полуколичественного рентгеноструктурного анализа не магнитной фракции МВ обожженного флотоконцентрата

Наименование минерала	Мусковит	Кварц	Гематит	Анортит	Эпидот	Хлорит
Содержание, %	40,9	30	1,23	14,92	3,47	2,35

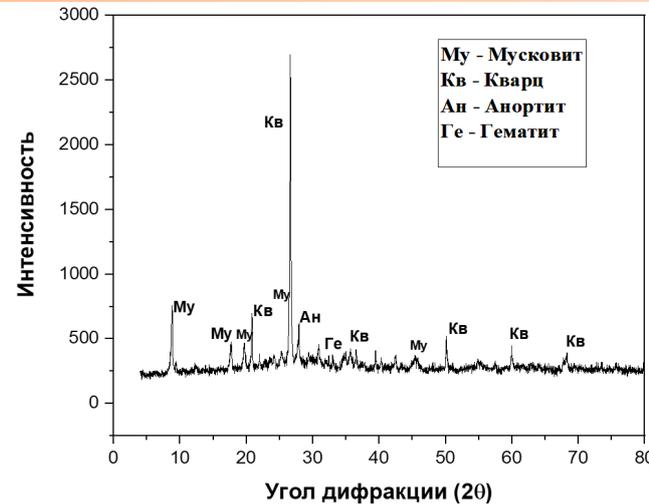


Рис. 3. Дифрактограмма немагнитной фракции МВ обработанного флотоконцентрата

## STUDY OF GOLD ENCAPSULATION IN MAGHEMITE DURING MICROWAVE ROASTING OF FLOTATION CONCENTRATE

<sup>1</sup>Sanakulov K., General Director, Professor, Doctor of Technical Sciences, info@ngmk.uz

<sup>2</sup>Fuzaylov O.U., PhD student of the department "Metallurgy"

<sup>1</sup>Navoi Mining and Metallurgical Combinat, Navoi, Uzbekistan

<sup>2</sup>Navoi State Mining Institute, Navoi, Uzbekistan

### Abstract:

The article presents the results of a study of the encapsulation of gold in maghemite during microwave processing of refractory gold-bearing concentrate. The magnetic separation of the MW calcine showed the concentration of gold in the magnetic fraction. The results of XRD analysis confirmed the high content of maghemite in the magnetic fraction. An obvious correlation was found between gold and maghemite, since most of the gold recovered in the magnetic fraction where the maghemite content is 48.7%. Sulfuric acid leaching of the magnetic fraction in order to dissolve iron oxides made it possible to increase the rate of gold recovery from the magnetic fraction to 96%.

**Keywords:** refractory gold ore, flotation concentrate, microwave roasting, sulfide minerals, carbon removal, microwave power, pyrite, arsenopyrite, organic carbon, oxidizing.

### References

1. Marsden J., House I., The Chemistry of Gold Extraction. - New York, Spring, 1992. -- pp. 40–178.
2. Vaughan J.P. The process mineralogy of gold: The classification of ore types // Journal of Metals. - 2004. - no 56 (3). - pp. 46–48.
3. Saba M, Mohammadyousefi A, Rashchia, Moghaddam J. Diagnostic pre-treatment procedure for simultaneous cyanide leaching of gold and silver from a refractory gold/silver ore // [J]. Minerals Engineering. - 2011 -no 24(15) - pp 1703–1709
4. Nanthakumar B., Pickles C. A., Kelebek S. Microwave pretreatment of a double refractory gold ore // [J]. Minerals Engineering. - 2007. - no 20(11) – pp. 1109–1119.
5. Diaz-Ojeda, Carranza, F., Romero R. Recuperacion de oro y plata a partir de cenizas de pirita. Tratamientos previos y cianuracion en doble etapa. // Rev. Metal. - 1988. - no 24(6). - pp. 391.
6. Sanakulov K.S., Fuzaylov O.U., Kenbaeva Zh.A. Microwave processing of sulfide gold-bearing concentrates // Gorniy Vestnik of Uzbekistan. - 2020 - no 1 - pp. 53-56
7. Paper C., Aylmore M. G. Conditions and Design Considerations for Maximising Recoverable Gold in Roasting of Refractory Gold Ores // World Gold Conference, Brisbane, Qld - 26 - 29 September 2013.
8. Paktunc D., Kingston D., Pratt A., McMullen J. Distribution of Gold in Pyrite and in Products of its Transformation Resulting from Roasting of Refractory Gold Ore // The Canadian Mineralogist. - vol. 44, no. 1. - 2006. - pp. 213–227.
9. Douglas W., Semenyna L. Magnetic Recovery of Gold-Bearing Iron Oxides at Barrick Goldstrike's Roaster // World Gold Conference, Brisbane, Qld. - 26 - 29 September 2013. - pp. 79-85.
10. Hochella M. F., Bakken B. M., Marshall A. F. Transmission Electron Microscopy (Tem) of Partially Oxidized Gold Ore. // Carlin Mine, Nevada. - pp. 154–155.
11. Thomas K. G., Cole A. P. Roasting Developments - Especially Oxygenated Roasting // Developments in Mineral Processing. - vol. 15, no. 05, 2005, pp. 403–432.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ И ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ



Государственное предприятие НГМК  
Производственное объединение  
"Навийский машиностроительный завод"

www.ngmk.uz

Адрес: г. Навои, ул. Инспекторов, 5

Тел.: (+99879)227-62-14, 227-64-23

Факс: (+99879) 223-48-78

E-mail: infonmz@ngmk.uz

