

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ ТРУДНОВСКРЫВАЕМЫХ РУД

*Соколов Л.В., Лобанов В. Г.*

Уральский федеральный университет имени первого президента России

Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

*Levsha45@yandex.ru, v.g.lobanov@urfu.ru*

**Аннотация.** Оценено влияние электрофизического воздействия на показатели гидрометаллургической переработки окисленной никелевой руды. Выполнен комплекс тестовых опытов с целью изучения влияния энергии высокой частоты на скорость и полноту сернокислотного выщелачивания никеля. Рассмотрены различные варианты применения электрофизической активации (ЭФА) выщелачивания: обработка пульпы в стационарном режиме, обработка реакционной смеси до состояния спека, обработка реакционной смеси в режиме противотока. В ходе опытов варьировали концентрацией кислоты, продолжительностью обработки, толщиной слоя реакционной массы. Показано, что в любом варианте ЭФА позволяет уверенно ускорить выщелачивание никеля в раствор

**Ключевые слова:** электрофизическая активация, окисленные никелевые руды, выщелачивание, гидрометаллургия, никель.

## STUDY OF FEATURES OF PROCESSING NICKEL-CONTAINING DIFFICULT TO OPEN ORES OF COMPLEX COMPOSITION

*Sokolov L., Lobanov V.*

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

**Abstract.** The electrophysical effects on oxidized nickel ore were assessed. Various applications of SFA leaching were considered, such as: reaction cup treatment, sintering, column leaching. The complex of tests has been performed in order to study the prospects of using electrophysical energy to increase the efficiency of sulfuric acid leaching of zinc from this raw material. In the course of experiments, high recovery rates were achieved by varying the acid concentration, processing time, thickness of the material to be treated, for different EFA leaching methods.

**Key words:** lectrophysical activation, oxidized nickel ores, leaching, hydrometallurgy, nickel.

Никель незаменим в производстве нержавеющей стали и различных сплавов цветных металлов, таких как нихром, мельхиор и др., обладающих

высокими ударопрочностью, коррозионной стойкостью, электропроводностью и ковкостью [1].

В природных месторождениях никель находится как в сульфидной, так и в окисленной форме. По количеству никеля в разведанных запасах окисленные руды в 1,5-2 раза превосходят аналогичный показатель в сульфидных рудах. Вместе с тем, по ряду причин во всем мире при переработке сульфидных руд получают никеля больше. [2].

Возрастающий спрос на никель с одновременным истощением сульфидных никелевых руд все больше заставляет проявлять интерес к переработке окисленных руд, даже не смотря на низкое содержание в них ценного компонента (0,75 – 1 %) и трудности их переработки, связанные с невозможностью их обогащения [3 – 5].

Наименее затратный и простой способ переработки ОНР Уральского региона – это сернокислотное кучное и подземное выщелачивание. Выбор данной технологической схемы обусловлен наличием на Урале больших объемов дешевой серной кислоты, являющейся побочным продуктом производства Уральских металлургических предприятий. Возможность вскрытия окисленных никелевых руд растворами серной кислоты при атмосферном давлении показана в работах [6–14].

Рассмотренные в этих работах методы имеют существенные недостатки, которые приводят к значительному удорожанию описанных технологических схем, что делает их применение экономически не рентабельным [15].

ЭФ излучение получило широкое распространение в различных сферах. Так, оно применяется для связи (передачи данных) и радиолокации; в медицине для обеззараживания инструментов и оборудования, диагностики некоторых заболеваний у пациентов; в лесозаготовительной промышленности для сушки древесины; в химической промышленности для разложения и синтеза веществ; в металлургии для термической обработки поверхностей металла, для очистки от отложений; в перерабатывающей промышленности для извлечения и получения полезных элементов, например в переработке автомобильных каталитических нейтрализаторов, содержащих большое количество полезных и драгоценных металлов [17,18].

Сложный состав руды, в свою очередь, не позволил адаптировать гидрометаллургические схемы применяемые за рубежом. Таким образом остается актуальной задача разработки технологической схемы, позволившей бы переработать данное сырье с высокими показателями извлечения никеля и кобальта в товарную продукцию, при этом с достаточными технико-экономическими показателями обеспечивающими рентабельность применения технологии на производстве. Для исследований использовали пробы окисленной никелевой руды Буруктальского месторождения.

Развернутые данные по химическому анализу усредненной пробы ОНР получили методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. Содержания отдельных элементов пересчитали на оксиды (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав усредненной пробы ОНР, %

Al	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Ni	Si	S	Mn	итого
0,572	0,648	0,037	1,19	0,058	28,9	2,02	1,06	30,6	0,008	0,18	65,27
Пересчет на соединения											
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	CoO	Cr	Cu	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	NiO	SiO <sub>2</sub>	S	MnO	итого
1,0804	1,17	0,047	1,19	0,058	41,29	3,37	1,35	41,73	0,008	0,619	91,96

Фазовый состав пробы установили с помощью метода порошковой дифракции на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu Corporation) (рис. 1).

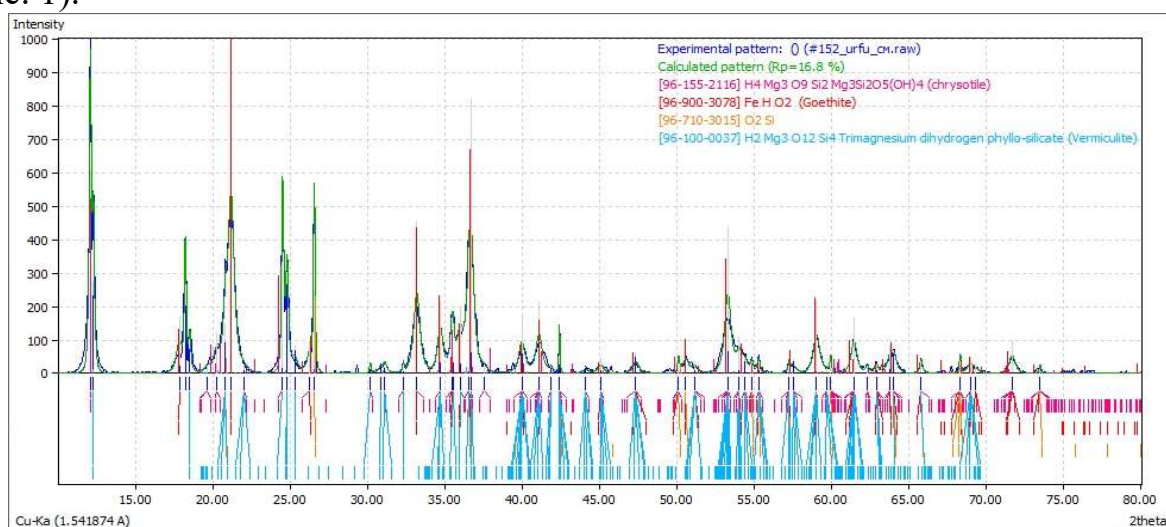


Рисунок 1 – Дифрактограмма усредненной пробы

Гидроксиды и оксиды железа, глинозём (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), кремнезём (SiO<sub>2</sub>), кварц SiO<sub>2</sub> составляют основу глинообразующих минералов, присутствующих в обеих пробах. Основными никельсодержащими фазовыми составляющими исследованной пробы смеси руд идентифицированы серпентин (Mg, Ni, Al)<sub>6</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>8</sub>, монтмориллонит (Mg, Ni, Al)<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub><sup>3+</sup>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>4</sub>·nH<sub>2</sub>O. В тоже время, самостоятельных минералов кобальта не выявлено – это связано, в первую очередь, с низким содержанием кобальта в рудах.

В работе использовали бытовую СВЧ печь, установленную таким образом, чтобы весь поток ЭФ излучения проходил сквозь реакционную массу. Реакционный стакан устанавливали в рабочей зоне реактора над магнетроном на подставку из ЭФ-прозрачного материала – слюды.

Для сравнения с предлагаемой технологией так же были проведены опыты по термохимической обработке – сульфатизирующий обжиг. Пробу усредненной руды замешивали с раствором серной кислоты до получения пастообразной массы. Полученный материал помещали в нагретую муфельную печь. После термохимической обработки полученный полупродукт выщелачивали в дистиллированной воде. Сравнительные результаты сульфатизации и ЭФА – активации представлены на диаграмме (Рис. 2)

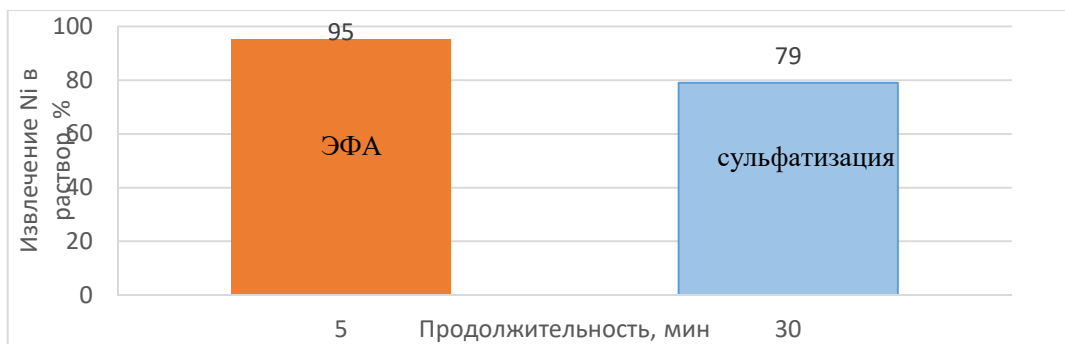
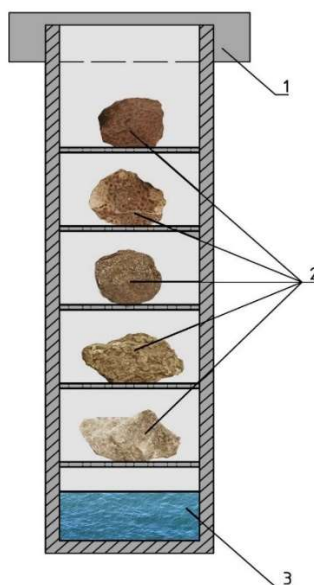


Рисунок 2 – Сравнительные результаты сульфатизации и ЭФА – активации

Затем был изучен метод шахтного выщелачивания. Для этого изготовлен многоуровневый вкладыш в реакционный стакан (Рис. 3).



1 – крышка реактора;

2 – гранулы ОНР;

3 – вода для противоточного парообразования

Рисунок 3 – Схема реактора шахтного выщелачивания

На него помещались комочки ОНР смешанные с концентрированной серной кислотой, завернутые в фильтровальную бумагу для сохранения формы.

Подготовленные пробы в реакционном стакане подвергались обработке в течении 5 минут, затем нижний комочек вынимался, а остальные спускались на позицию ниже и подвергались дальнейшей обработке. Полученный полупродукт выщелачивали в дистиллированной воде.

Удалось достичь извлечения никеля в раствор на уровне 65 – 67 %, что показало не эффективность данного метода для переработки ОНР.

### **Выводы**

Электрофизическая активация обеспечивает резкое увеличение скорости и степени выщелачивания никеля из окисленной руды.

В лучших опытах за короткое время достигнуто весьма высокое извлечение ценных компонентов в раствор (80-95 % для Ni и до 75 % для Co);

Существенное ускорение лимитирующей стадии позволяет сократить требуемую продолжительность и, следовательно, капитальные затраты на переработку руды.

Высокая энергоэффективность предлагаемой технологии является основой для снижения себестоимости переработки важнейшего стратегического сырья и обеспечивает рентабельность.

#### **Библиографический список**

1. Zhang, P. Extraction of metals from saprolitic laterite ore through pressure hydrochloric-acid selective leaching / Peiyu Zhang, Qiang Guo, Guangye Wei, Long Meng, Linxin Han, Jingkui Qu, Tao Qi // Hydrometallurgy. - 2015. - P. 149-158.
2. Mohammadreza, F. Nickel extraction from low grade laterite by agitation leaching at atmospheric pressure / Fatahi Mohammadreza, Noaparast Mohammad, Shafaei Seyyed Ziaeddin // International Journal of Mining Science and Technology. - 2014. - N 4. - P. 543-548.
3. Gao, J. Innovative methodology for comprehensive utilization of saprolite laterite ore: Recovery of metal-doped nickel ferrite and magnesium hydroxide / Jianming Gao, Mei Zhang, Min Guo // Hydrometallurgy. - 2015. - P. 27-34.
4. Pickles, C.A. Microwave heating behavior of nickeliferous limonitic laterite ores / C.A. Pickles // Minerals Engineering. - 2004. - № 6. - P. 775-784.
5. Колесников, А.С. Термодинамическое моделирование получение ферроникеля из окисленных никелевых руд Казахстана / А.С. Колесников // Вестник Южно-Уральского государственного университета. - 2014. - № 1. - С. 12-18.
6. Аленичев, В.М. Физико-химические особенности процесса кучного выщелачивания окисленных никелевых руд Урала с использованием растворов серной кислоты / В.М. Аленичев, А.Б. Уманский, А.М. Ключников // Вестник Воронежского университета. - 2013. - № 2. - С. 9-14.
7. Чунарев, А.А, Обзор методов переработки окисленных никелевых руд и перспективы развития на Урале никелевого производства / А.А. Чунарев, О.Б. Колмачихина, С.С. Набойченко // Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. - 2014. - С. 333-335.
8. Уманский, А.Б. Гидрометаллургическая технология переработки отвалов серпентинита с выделением никелевого концентрата / А.Б. Уманский, А.М. Ключников // Труды Международного Конгресса «Фундаментальные основы технологий переработки и утилизации техногенных отходов». - 2012. - С. 419-422.

9. McDonald, R.G. Atmospheric acid leaching of nickel laterites review Part I. Sulphuric acid technologies / R.G. McDonald, B.I. Whittington // Hydrometallurgy. - 2008. - № 1-4. - P. 35-55.
10. Аленичев, В.М. Разработка технологии кучного выщелачивания окисленных никелевых руд Уральских месторождений / В.М. Аленичев, А.Б. Уманский, А.М. Ключников // Известия Томского политехнического университета. - 2013. - № 3. - С. 124-128.
11. Agatzini-Leonardou, S. Beneficiation of a Greek serpentinitic nickeliferous ore Part II. Sulphuric acid heap and agitation leaching / Stella Agatzini-Leonardou, Ioannis G. Zafiratos // Hydrometallurgy. - 2004. - № 3-4. - P. 267-275.
12. Komnitsas, K. Column leaching of low-grade saprolitic laterites and valorization of leaching residues / Kostas Komnitsas, Evangelos Petrakis, Georgios Bartzas, Vassiliki Karmali // Science of the total environment. - 2019. - P. 347-357.
13. Kursunogl, S. Atmospheric pressure acid leaching of Caldag lateritic nickel ore / Sait Kursunoglu, Muammer Kay // International Journal of Mineral Processing. - 2016. - P. 1-8.
14. Zhang, P. Surfactant-assistant atmospheric acid leaching of laterite ore for the improvement of leaching efficiency of nickel and cobalt / Peiyu Zhang, Linquan Sun, Hairui Wang, Jiwei Cui, Jingcheng Hao // Journal of Cleaner Production. - 2019. - P. 1-7.
15. Вершинин А.С. Месторождения никеля на Урале / Горный журнал // Известия ВУЗов. - 1996. - № 8-9.
16. Alloys and compound. / a School of Chemical Engineering & Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou, 221116, Jiangsu, China. 2020 – URL: <https://sci-hub.im/10.1016/j.jallcom.2020.154920> (дата обращения 2020-05-01)
17. Journal Pre-proofs. / S. S. Behera, Subhendu K. Panda, D. Das, R.K. Mohapatra, H. I. Kim, J. Y. Lee, R.K. Jyothi, P. K. Parhi. 2020 – URL: [sci-hub.im/10.1016/j.seppur.2020.116842](https://sci-hub.im/10.1016/j.seppur.2020.116842) (дата обращения 2020-05-12)
18. Соколов Л.В., Методологические особенности исследований электрофизической активации выщелачивания цинковых кеков / Л.В. Соколов, М.В. Коновалов, С.Э. Польшгалов // Молодой ученый. -2020. - №47. - С. 46-49.