

6. Kusdiana, D., Saka, S. Methyl esterification of free fatty acids of rapeseed oil as treated in supercritical methanol // J. Chem. Eng. Japan. 2001, 34(3), 383-387.
7. Систер В.Г., Иванникова Е.М. Экспериментальное исследование процесса переэтерификации рапсового масла метанолом в сверхкритических условиях // Альтернативная энергетика и экология, 2012. - №11, с. 38-42.
8. Заварухин С.Г., Яковлев В.А., Пармон В.Н., Систер В.Г., Иванникова Е.М., Елисеева О.А. Разработка процесса переработки рапсового масла в биодизель и высокоцетановые компоненты дизельного топлива // Химия и технология топлив и масел. М., 2010. - №1. - с. 3-7.
9. Систер В.Г., Соколов В.В., Лукшо В.А., Теренченко А.С., Извеков Д.В., Иванникова Е.М. Анализ физико-химических и химмотологических свойств образцов биодизельных топлив с различным содержанием метиловых эфиров жирных кислот // Химическое и нефтегазовое машиностроение. М., 2008. - № 11. – с. 42-44.

**Выщелачивание цветных металлов из металлургических шлаков
сернокислыми растворами трехвалентного железа,
полученными путем биоокисления**

д.т.н. проф. Фомченко Н.В., Кайнова А.А., к.т.н. Муравьев М.И.

Университет машиностроения

Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН

(499) 135 04 21, natalya.fomchenko@gmail.com

Аннотация. В статье приведены результаты исследования выщелачивания меди, никеля, кобальта и железа из шлаков металлургического производства. Показано, что сернокислые растворы трехвалентного железа, полученные при окислении ионов двухвалентного железа ассоциациями ацидофильных хемолитотрофных бактерий, позволяли достаточно полно перевести цветные металлы в жидкую фазу за 1,0 ч при температуре 70 °С. При этом извлечение меди в раствор достигало 90%, никеля – 88%, кобальта – 67%, а извлечение железа в раствор составило всего около 30%.

Ключевые слова: выщелачивание, шлаки, цветные металлы, хемолитотрофные бактерии, извлечение.

Введение

Шлаки являются отходом пирометаллургической переработки сульфидного сырья цветных металлов. В среднем при производстве 1 т меди образуется 2,2 т шлака, а годовое производство медеплавильных шлаков в мире составляет около 25 млн. т [1]. Шлаки могут рассматриваться как техногенное сырье для производства цветных металлов, содержание которых часто превышает содержание их в перерабатываемых рудах. Кроме того, высокая стоимость цветных металлов делает переработку подобного сырья экономически привлекательной.

Гидрометаллургические способы извлечения ценных компонентов из шлаков являются перспективным направлением их переработки. К ним относятся: выщелачивание с применением хлората [2], пероксида водорода [3], растворами серной кислоты [4], сульфатом или хлоридом трехвалентного железа [5], дихроматом калия [6], водными растворами диоксида серы [7, 8]. Ни один из указанных выше способов не нашел промышленного применения вследствие высокой стоимости и токсичности реагентов, а также технологических свойств получаемых продуктов. При этом при переработке отходов образуются сточные воды, утилизация которых может являться более серьезной экологической проблемой, нежели хранение в отвалах самих шлаков.

Биовыщелачивание шлаков цветной металлургии может являться перспективным способом переработки указанного техногенного сырья. При этом для выщелачивания цветных металлов из шлаков и других отходов может применяться раствор сульфата трехвалентного железа, полученный с помощью железоокисляющих ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов.

Шлак, полученный при производстве медно-никелевого штейна, содержащий медь, никель и кобальт, является перспективным сырьем для получения из него цветных металлов, однако в настоящее время не имеется технологии его переработки.

Целью работы являлось исследование выщелачивания цветных металлов из шлака сернокислыми растворами трехвалентного железа, полученными с использованием ассоциации ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов.

Материалы и методы исследования

Характеристика шлака. Химический состав шлака следующий: железо (20,0%), медь (2,07%), никель (3,01%), кобальт (0,11%), диоксид кремния (35,1%), платина (1,5 – 3,0 г/т), палладий – (7,5 г/т).

Получение выщелачивающего раствора. В качестве инокулята для получения раствора, содержащего трехвалентное железо для химического выщелачивания, использовали ассоциацию микроорганизмов, включающую бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Sulfobacillus thermotolerans*, *Leptospirillum ferrooxidans*. Биоокисление двухвалентного железа проводили в бутылках объемом 5 л, содержащими 4 л жидкости при 40°C и аэрации 4 мин⁻¹. Окисление соли FeSO₄·7H₂O осуществляли в среде 9К. Значения pH поддерживали на уровне 1,5 добавлением 98,5% H₂SO₄. Конечная концентрация Fe³⁺ составила 33,6 г/л. После разведения с водой до необходимой концентрации Fe³⁺ полученный раствор был использован для химического выщелачивания шлака.

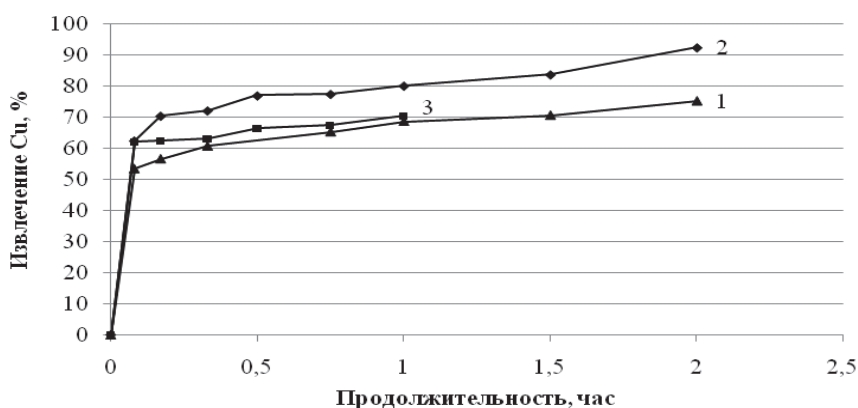


Рисунок 1. Извлечение меди в процессе химического выщелачивания при 70 °C: 1 – в растворе серной кислоты при плотности 10%; 2 – биораствором, содержащим Fe³⁺ с исходной концентрацией 15 г/л при плотности 10%; 3 – биораствором, содержащим Fe³⁺ с исходной концентрацией 4 г/л при плотности 20%

Химическое выщелачивание. Выщелачивание проводили в периодическом режиме в реакторах объемом 2 л, содержащими 1 л суспензии шлака. Температуру поддерживали с помощью U-образного теплообменника, соединенного с ультратермостатом. Скорость вращения закрытой турбинной мешалки составляла 760 мин⁻¹. Шлак добавляли в выщелачивающий раствор, предварительно нагретый до температуры 70 °C. Значение pH поддерживали на уровне 1,5 добавлением 98,5% серной кислоты.

Аналитические методы. Значения pH определяли с помощью pH-метра pH-150МИ (Измерительная техника, Россия). Концентрацию ионов железа, никеля, меди и кобальта определяли на атомно-абсорбционном спектрометре с пламенной атомизацией Perkin Elmer 3100 (США).

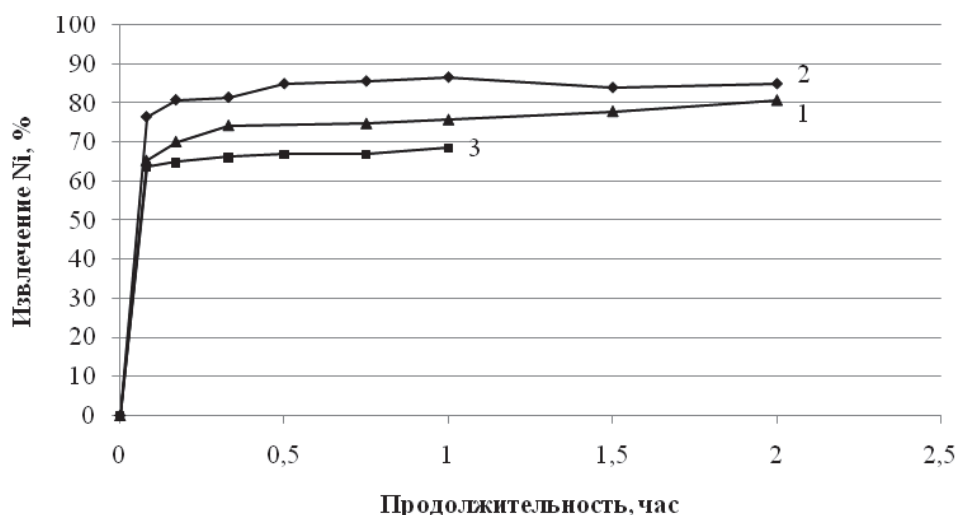


Рисунок 2. Извлечение никеля в процессе химического выщелачивания при 70 °С:
1 – в растворе серной кислоты при плотности 10%;
2 – биораствором, содержащим Fe^{3+} с исходной концентрацией 15 г/л при плотности 10%;
3 – биораствором, содержащим Fe^{3+} с исходной концентрацией 4 г/л при плотности 20%

Исследования и результаты

Проведены исследования химического выщелачивания шлаков, полученных после плавки медно-никелевого штейна. Для химического выщелачивания использовался раствор, содержащий ионы Fe^{3+} , полученные путем биоокисления ацидофильными хемолитотрофными микроорганизмами ионов Fe^{2+} , а также раствор серной кислоты при поддержании pH не выше 1,5. Исследовалось влияние плотности твердой фазы в выщелачиваемой суспензии, а также концентрации ионов трехвалентного железа в выщелачивающем растворе. В процессе выщелачивания наблюдался переход в раствор цветных металлов, ионов двухвалентного железа, а также восстановление трехвалентного железа до двухвалентного. Выщелачивание проводилось при поддержании температуры около 70 °С.

Результаты исследований по выщелачиванию цветных металлов и железа представлены на рисунках 1 – 4.

На рисунке 1 представлена зависимость извлечения меди от времени химического выщелачивания в различных условиях. Из представленных данных следует, что минимальное извлечение меди в раствор наблюдается при выщелачивании шлаков раствором серной кислоты. Применение для выщелачивания биораствора трехвалентного железа увеличивало извлечение меди в жидкую фазу более чем на 10%. При этом следует отметить, что увеличение плотности выщелачиваемой суспензии и снижение концентрации ионов трехвалентного железа в растворе приводило к снижению извлечения меди в жидкую фазу.

На рисунках 2 и 3 представлена зависимость извлечения никеля и кобальта в раствор от времени химического выщелачивания в различных условиях.

Как следует из представленных данных, применение биораствора с концентрацией ионов Fe^{3+} 15 г/л также повышало извлечение никеля по сравнению с применением в качестве выщелачивающего агента только серной кислоты, причем максимальное извлечение никеля в раствор наблюдалось при продолжительности выщелачивания 1,0 час. На выщелачивание кобальта наличие ионов Fe^{3+} в выщелачивающем растворе не оказывало существенного влияния.

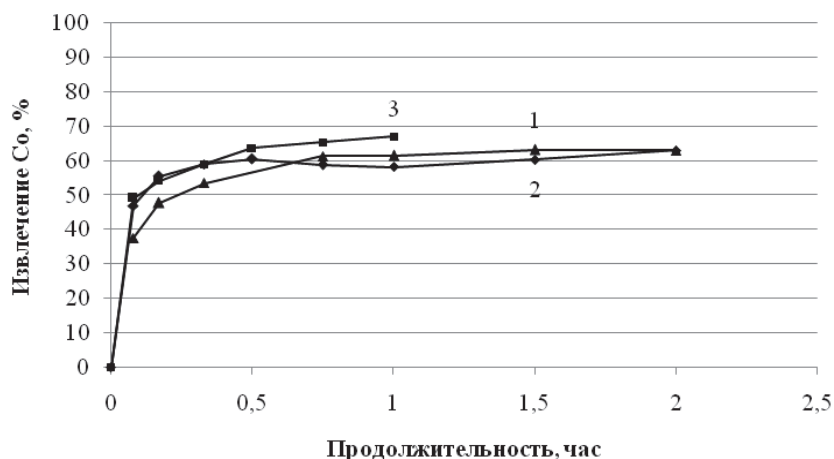


Рисунок 3. Извлечение кобальта в процессе химического выщелачивания при 70 °C:
1 – в растворе серной кислоты при плотности 10%; 2 – биораствором, содержащим Fe^{3+} с исходной концентрацией 15 г/л при плотности 10%; 3 – биораствором, содержащим Fe^{3+} с исходной концентрацией 4 г/л при плотности 20%

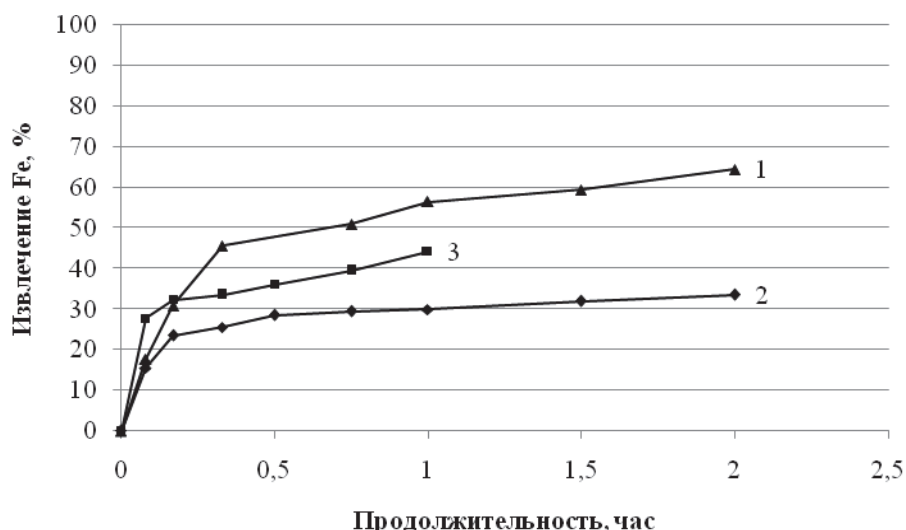


Рисунок 4. Извлечение железа в процессе химического выщелачивания при 70 °C:
1 – в растворе серной кислоты при плотности пульпы 10%;
2 – биораствором, содержащим Fe^{3+} с исходной концентрацией 15 г/л при плотности 10%; 3 – биораствором, содержащим Fe^{3+} с исходной концентрацией 4 г/л при плотности 20%

На рисунке 4 представлено извлечение железа в раствор в зависимости от времени выщелачивания шлама. Следует отметить, что железо затрудняет выделение из раствора цветных металлов, поэтому наиболее перспективным являлся режим выщелачивания при минимальном растворении железа из исследуемых шлаков.

Из представленных данных следует, что выщелачивание биораствором с максимальной концентрацией Fe^{3+} (15 г/л) препятствует растворению железа, но повышает растворимость соединений, содержащих медь и никель. При этом извлечение железа в раствор не превышало 30% за 1,0 час выщелачивания, в то время как извлечение меди составило 90%, а никеля – 88%.

В полученном после выщелачивания растворе содержалось 2,9 г/л меди, 4,1 г/л никеля

и 0,15 г/л кобальта. Эти концентрации достаточны для селективного выделения цветных металлов с применением известных технологических приемов.

Предполагается, что после выделения из раствора цветных металлов оставшейся раствор, содержащий в основном ионы двухвалентного железа (до 20 г/л) в виде сульфата, направляется на биорегенерацию с применением используемых железоокисляющих хемолитотрофных бактерий. Бактерии в процессе биорегенерации окисляют ионы двухвалентного железа до трехвалентного. После биорегенерации раствор предлагается использовать для повторного химического выщелачивания шлака, полученного при производстве медно-никелевого штейна.

Таким образом, предлагаемый процесс выщелачивания цветных металлов из шлака сульфатом трехвалентного железа, полученным с помощью железоокисляющих хемолитотрофных бактерий, позволит не только получить из него цветные металлы, но и создать технологию с замкнутым циклом технологических потоков. При этом шлак после удаления из него цветных металлов может использоваться в качестве сырья для других отраслей промышленности, в частности для производства стройматериалов.

Литература

1. Gorai B., Jana R., Premchand K. Characteristics and utilization of copper slag – a review. *Resour. Conserv. Recycl.* 2003. V. 39. P. 299–313.
2. Yang Z., Rui-lin M., Wang-dong N., Hui W. Selective leaching of base metals from copper smelter slag. *Hydrometallurgy*. 2010. V.103. P. 25–29.
3. Banza A.N., Gock E., Kongolo K. Base metals recovery from copper smelter slag by oxidizing leaching and solvent extraction. *Hydrometallurgy*. 2002. V. 67. P.63–69.
4. Anand S., Rao K.S., Jena P.K. Pressure leaching of copper converter slag using dilute sulphuric acid for the extraction of cobalt, nickel and copper values. *Hydrometallurgy*. 1983. V.10. P. 305–312.
5. Carranza F., Romero R., Mazuelos A., Iglesias N., Forcat O. Biorecovery of copper from converter slags: Slags characterization and exploratory ferric leaching tests. *Hydrometallurgy*. 2009. V. 97. P.39–45.
6. Altundogan H.S., Boyrazli M., Tumen F. A study on the sulfuric acid leaching of copper converter slag in the presence of dichromate. *Miner. Eng.* 2004. V. 17. P. 465–467.
7. Gbor P.K., Ahmed I.B., Jia C.Q. Behavior of Co and Ni during aqueous sulphur dioxide leaching of nickel smelter slag. *Hydrometallurgy*. 2000. V. 57. P. 13–22.
8. Arslan C., Arslan F. Recovery of copper, cobalt, and zinc from copper smelter and converter slags. 2002. *Hydrometallurgy*. V. 67. P.1–7.

Методика распознавания летательных аппаратов и радиолокационных ловушек в контуре управления системы контроля воздушного пространства на основе нейросетевой технологии

к.т.н. Бобин А.В.¹, Азаров В.А.², Булгаков С.А.², Савин Д.А.²

¹Университет машиностроения

²НИУ ВШЭ

alvbobin@gmail.com

Аннотация. В работе предлагается методика построения автоматических распознавателей летательных аппаратов по набору радиолокационных измерений на основе каскада многослойных нейронных сетей прямого распространения. Демонстрируется практическое применение данной методики при распознавании летательных аппаратов трех типов.