© О.О. Левенец, Ю.П. Трухин, 2014

УДК 66.061.34 + 579.66

О.О. Левенец, Ю.П. Трухин

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА БИОВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ СУЛЬФИДНОЙ КОБАЛЬТ-МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ РУДЫ

Приведены результаты исследования бактериально-химического выщелачивания сульфидной кобальт-медно-никелевой руды месторождения Шануч (Камчатка) в периодическом режиме при различных температурах: комнатной, 30 °С, 45 °С. Наивысшие показатели извлечения металлов достигнуты при 45 °С. Установлено, что динамика извлечения каждого из металлов существенно не изменяется в зависимости от температуры.

Ключевые слова: бактериально-химическое выщелачивание, биовыщелачивание, сульфидная руда, никель, медь, кобальт, хемолитотрофные микроорганизмы.

Традиционная переработка сульфидных руд, содержащих никель, медь, кобальт, обычно включает этапы флотации и высокотемпературной обработки полученных концентратов. Разработка новых технологий направлена на снижение капитальных затрат и повышение экологической безопасности гидрометаллургических процессов. Одной из таких альтернативных технологий является бактериально-химическое выщелачивание (биовыщелачивание), основанное на окислительно-восстановительных процессах, протекающих в пульпе под воздействием хемолитотрофных микроорганизмов. Одной из трудно поддающихся традиционной переработке разновидностей никельсодержащих сульфидных руд является сульфидная руда, состоящая, главным образом, из пирротина($Fe_{1-x}S$), тесно ассоциированного с вкраплениями пентландита [$(Fe,Ni)_9S_8$].

Исследования выщелачивания никельсодержащих сульфидов проводятся в широком температурном диапазоне [4, 5]. В работе [7] приводятся следующие данные по извлечению никеля из сульфидов при разных температурах с помощью хемолитотрофных микроорганизмов: 40% при 30 °С (17% в абиотическом контроле), 45% при 45 °С (30% в абиотическом контроле), 90% при 60 °С (75% в абиотическом контроле).

В настоящей работе исследовано бактериально-химическое выщелачивание сульфидной кобальт-медно-никелевой руды месторождения Шануч (Камчатка) с целью определения динамики извлечения целевых металлов и выявления оптимальной температуры выщелачивания данной руды в условиях перемешивающего реактора.

Материалы и методы

Руда. Использована сульфидная кобальт-медно-никелевая руда месторождения Шануч (Камчатка). Содержание рудных минералов – 60–65%, из которых 85–90% – пирротин, 5–6% – пентландит, 2–5% – халькопирит, 0,2–0,5% – виоларит. Содержание металлов: Ni – 3,14%, Cu – 0,55%, Co – 0,10%. Степень измельчения 100% <100 мкм.

Микроорганизмы. В качестве инокулята использована автохтонная мезофильная ассоциация хемолитотрофных микроорганизмов, выделенная из зоны окисления месторождения

Шануч, состоящая из Acidithiobacillus ferrooxidans, Sulfobacillus spp. (по данным ПЦР-анализа).

Аналитические методы. Количество бактериальных клеток в жидкой фазе пульпы во всех экспериментах определяли прямым подсчетом в микроскопе с фазово-контрастной насадкой (МИКРОМЕД 3 вар. 3–20, Россия-Китай). Величины pH и Eh (окислительно-восстановительный потенциал) измеряли с помощью портативного мультимонитора pH и Eh PH-099-KL (Kelilong Electron Co., Ltd, Китай). Концентрацию ионов Fe^{3+} и Fe^{2+} в жидкой фазе пульпы определяли методом комплексонометрического титрования трилоном Б [3]. Определение никеля, кобальта и меди в жидкой и твердой фазах осуществляли атомно-абсорбционным методом при помощи атомно-абсорбционного спектрофотометра 6300 Shimadzu (Япония).

Условия эксперимента. Эксперимент проводили в реакторах с механической мешалкой (≈120 об/мин) при плотности пульпы Т:Ж 1:5, соотношении культуры и свежей питательной среды Сильвермана-Люндгрена 9К [1] без железа 1:4 и трех температурах: комнатной, 30 °С, 45 °С.

Результаты и обсуждение

Бактерии сохраняются в пульпе даже при 45 °С (107 клеток в 1 мл), хотя и в гораздо меньшем количестве, чем в мезофильных условиях (109 клеток в 1 мл). При комнатной температуре и при 30 °С развитие биомассы происходит практически одинаково, без выраженной lag-фазы, т.к. микробная культура предварительно была адаптирована к условиям выщелачивания путем культивирования в перемешивающем реакторе с добавлением в качестве источника энергии той же сульфидной кобальт-медно-никелевой руды, что использовалась в эксперименте по бактериально-химическому выщелачиванию. Активный прирост бактерий в мезофильных условиях наблюдается в первые 9 суток.

При комнатной температуре и 30 °С из руды извлекается железо (10–12 г/л), его полное окисление бактериями происходит в период с 8-х по 16-е сутки (рис. 1). При 45 °С концентрация железа в пульпе низкая на протяжении всего эксперимента (2–3 г/л), при этом тоже происходит его полное окисление, но только к 20-м суткам. Таким образом, при повышении температуры снижается роль микроорганизмов и участие ионов окисного железа в разрушении сульфидов, т.е. возрастает роль химического выщелачивания.

Извлечение никеля, меди и кобальта при различных температурах в виде функции от времени отображено на рис. 2. Максимальное извлече-

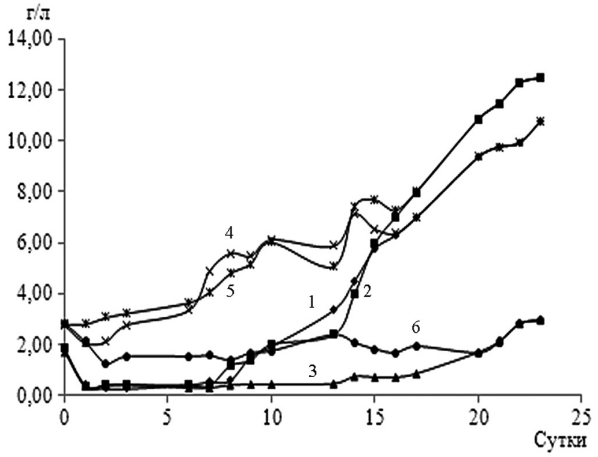

Рис. 1. Изменение концентрации трехвалентного и суммарного железа в процессе биовыщелачивания сульфидной руды при разных температурах: Fe^{3+} комнатная (1), Fe^{3+} 30 °С (2), Fe^{3+} 45 °С (3), $Fe_{общ}$ комнатная (4), $Fe_{общ}$ 30 °С (5), $Fe_{общ}$ 45 °С (6)

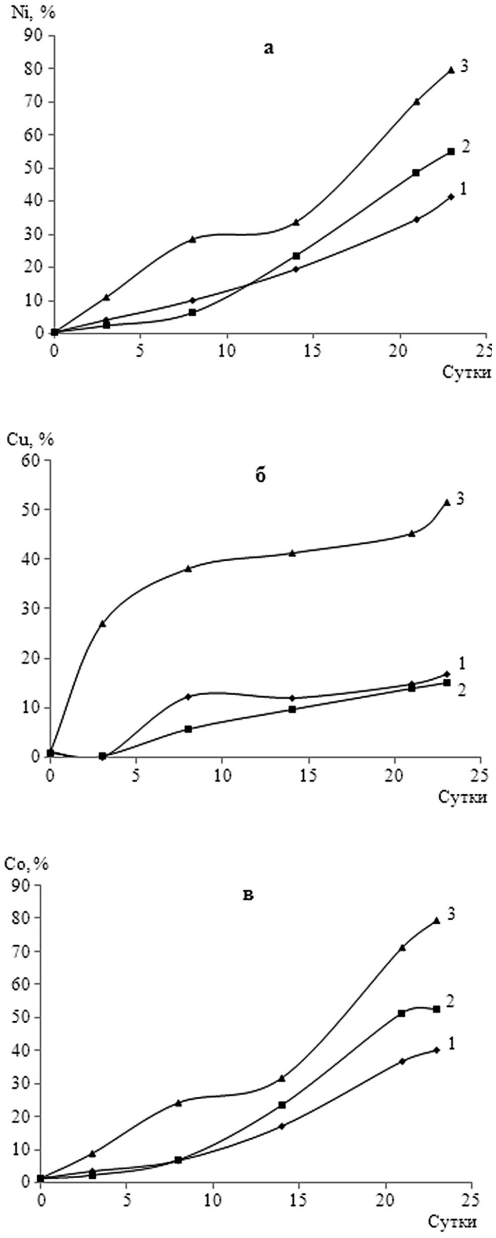

Рис. 2. Извлечение никеля (а), меди (б) и кобальта (в) в раствор в процессе биовыщелачивания при разных температурах: комнатной (1), 30 °С (2), 45 °С (3)

ние металлов происходит при 45 °С. Особенно сильно повышение температуры влияет на извлечение меди, т.к. халькопирит в мезофильных условиях плохо поддается выщелачиванию. При этом динамика извлечения каждого из металлов существенно не изменяется в зависимости от температуры. Максимальные скорости извлечения никеля и кобальта наблюдаются после 14 суток, в то время как медь переходит в раствор, главным образом, в первые 3–8 суток. Установлено, что в начале процесса биовыщелачивания (в среднем, до 7-х суток) извлечение металлов практически одинаково при комнатной температуре и при 30 °С.

По данным, представленным в работе [4], чем ниже температура выщелачивания, тем более высокий уровень pH следует поддерживать в пульпе. По всей видимости, это заключение справедливо в большей степени для бедных руд (в указанной работе приведены результаты выщелачивания руды с общим содержанием сульфидов около 2% и содержанием никеля 0,31%). При выщелачивании богатой руды, какая использовалась в настоящем исследовании, наблюдается противоположная картина: максимальному извлечению никеля при комнатной температуре соответствует значение pH 2,04, при 30 °С – 2,05, при 45 °С – 2,32.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования позволили найти решение проблемы селективности извлечения металлов, заключающейся в том, что из сульфидных кобальт-медно-никелевых руд выщелачиваются, преимущественно, никель и кобальт; при этом концентрация меди в получаемом растворе ниже в несколько раз [6]. Выщелачивание данной руды целесообразно проводить при 45 °С. Также можно выщелачивать медь при 45 °С на начальном этапе, после чего направлять кек на довыщелачивание и извлечение никеля и кобальта в мезофильных условиях.

1. *Каравайко Г.И., Росси Дж., Агате А., Грудев С., Авакян З.А.* Биогеотехнология металлов: практическое руководство. – М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1989. – 375 с.

2. *Левенец О.О.* Исследование бактериального окисления сульфидной кобальт-медно-никелевой руды / Актуальные аспекты современной микробиологии: материалы VII молодежной школы-конференции с международным участием. Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН. – М.: МАКС Пресс, 2011. – С. 121–123.

3. *Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю.* Методы анализа природных вод. – М.: Недра, 1970. – 480 с.

4. *Cameron R.A., Lastra R., Mortazavi S., Gould W.D., Thibault Y., Bedard P.L., Morin L., Kennedy K.J.* Elevated-pH bioleaching of low-grade ultramafic nickel sulphide ore in stirred-tank reactors at 5 to 45 °C // Hydrometallurgy. – 2009. – V. 99. – P. 77–83.

5. *Gericke M., Govender Y.* Bioleaching strategies for the treatment of nickel-copper sulphide concentrates // Minerals Engineering. – 2011. – V. 24. – P. 1106–1112.

6. *Pogaku R., Kodali B.* Optimization of bacterial oxidation process parameters for selective leaching of nickel by Thiobacillus ferrooxidans // International Journal of Chemical Reactor Engineering. – 2006. – V. 4. – № 1. – P. 1307.

7. *Watling H.R.* The bioleaching of nickel-copper sulfides // Hydrometallurgy. – 2008. – V. 91. – P. 70–88. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Левенец Ольга Олеговна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: leveolga@yandex.ru,
Трухин Юрий Петрович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, зав. лабораторией, e-mail: ytrukhin@yandex.ru,
Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения РАН.

UDC 66.061.34 + 579.66

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE CONDITIONS ON BIOLEACHING OF SULFIDE COBALT-COPPER-NICKEL ORE

Levenets O.O., Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher, e-mail: leveolga@yandex.ru,
Trukhin Yu.P., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,
Head of Laboratory, e-mail: ytrukhin@yandex.ru,
Scientific Research Geotechnological Centre, Far Eastern Brunch of Russian Academy of Sciences.

The results of bacterial-chemical leaching of sulfide cobalt-copper-nickel ore from Shanuch deposit (Kamchatka) in periodic mode under different temperatures (room temperature, 30 °C, 45 °C) are shown in this article. The highest amounts of metal extraction were achieved at temperature 45 °C. The research results showed also that the dynamics of each metal extraction doesn't change noticeably depending on temperature.

Key words: bacterial-chemical leaching, bioleaching, sulfide ore, nickel, copper, cobalt, chemolithotrophic microorganisms.

REFERENCES

1. Karavaiko G.I., Rossi Dzh., Agate A., Grudev S., Avakyan Z.A. *Biogeotekhnologiya metallov: prakticheskoe rukovodstvo* (Biogeotechnology of metals: Practical guide), Moscow, Tsentr mezhdunarodnykh proektov GKNT, 1989, 375 p.

2. Levenets O.O. *Aktual'nye aspekty sovremennoi mikrobiologii: materialy VII molodezhnoi shkoly-konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Institut mikrobiologii im. S.N. Vinogradskogo RAN* (Actual Aspects of Modern Microbiology: Proceedings of VII Youth School-Conference with Foreign Partnership. Vinogradsky's Institute of Microbiology RAS), Moscow, MAKS Press, 2011, pp. 121–123.

3. Reznikov A.A., Mulikovskaya E.P., Sokolov I.Yu. *Metody analiza prirodnykh vod* (Analytical methods for natural water), Moscow, Nedra, 1970, 480 p.

4. Cameron R.A., Lastra R., Mortazavi S., Gould W.D., Thibault Y., Bedard P.L., Morin L., Kennedy K.J. *Hydrometallurgy*. 2009. V. 99. P. 77–83.

5. Gericke M., Govender Y. *Minerals Engineering*. 2011. V. 24. P. 1106–1112.

6. Pogaku R., Kodali B. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*. 2006. V. 4. № 1. P. 1307.

7. Watling H.R. *Hydrometallurgy*. 2008. V. 91. P. 70–88.