

УДК 66.061.34 + 579.66

Ю.П. Трухин, О.О. Левенец

ТРЕХСТАДИЙНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БИОВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ СУЛЬФИДНОЙ КОБАЛЬТ-МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ РУДЫ

Исследовано бактериально-химическое выщелачивание сульфидной кобальт-медно-никелевой руды в трехстадийном режиме. Проведено сравнение эффективности растворов биогенного Fe^{3+} с бактериями и без и химического Fe^{3+} на второй стадии. Установлено, что при использовании на второй стадии раствора биогенного Fe^{3+} с бактериями достигается извлечение $Ni - 73,3\%$, $Co - 67,5\%$, $Cu - 15,6\%$. Разработана технологическая схема переработки сульфидной руды.

Ключевые слова: биовыщелачивание, трехвалентное железо, сульфидные минералы.

Традиционная переработка сульфидных руд пирометаллургическими способами представляет значительную экологическую опасность, обусловленную выбросами в атмосферу токсичной пыли и сернистого газа. Микробное выщелачивание сульфидных руд и концентратов, основанное на окислительно-восстановительных реакциях с участием ацидофильных хемолитотрофных микро-организмов, признано привлекательной альтернативой традиционным физическим и химическим методам благодаря сокращению потребления энергии, транспортных затрат и менее пагубному воздействию на окружающую среду. За последние десятилетия промышленное применение железо- и сероокисляющих микроорганизмов с целью извлечения ценных компонентов из руд достигло широких масштабов в разных странах, в том числе и России.

Устойчивость сульфидных минералов как к бактериальному, так и к химическому окислению неодинакова. Серноокисное окисное железо сравнительно легко взаимодействует с халькозином, галенитом, борнитом, арсенопиритом, пиритом и более трудно с халькопиритом и некоторыми другими сульфидными минералами [1]. Поэтому при бакте-

риальном выщелачивании металлов из руд, содержащих легко окисляемые минералы, серноокисное железо может являться эффективным окислителем. Регенерация его может быть осуществлена при помощи железоокисляющих бактерий, например, *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Так как скорость бактериального окисления двухвалентного железа ниже, чем скорость восстановления трехвалентного в реакции с сульфидными минералами, процесс регенерации Fe^{3+} следует вести в отдельном цикле. В присутствии Fe^{3+} роль бактерий в окислении сульфидов сводится, в основном, к окислению ионов двухвалентного железа и элементарной серы, образующихся в процессе выщелачивания.

Применительно к медному [2], медно-цинковому [3] и золото-мышьяковому сырью [4] и пирротинovому концентрату [5] разработаны двухстадийные технологии биовыщелачивания. На первой стадии осуществляется процесс выщелачивания металлов из сульфидного сырья посредством трехвалентного железа, образующегося на второй стадии. Вторая стадия заключается в регенерации бактериями трехвалентного железа, которое восстанавливается до двухвалентного при его взаимодей-

вии с сульфидными минералами на первой стадии. При этом вторая стадия осуществляется в мезофильных условиях (при 28 ± 1 °C), благоприятных для таких железобактерий, как *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*. Первая стадия осуществляется при 50–80 °C, когда бактерии в рабочем растворе погибают. Также с повышением температуры растет скорость осаждения соединений Fe^{3+} [6].

Нами разработана трехстадийная технология бактериально-химического окисления сульфидной кобальт-медно-никелевой руды, включающая:

- 1) получение рабочего раствора трехвалентного железа при помощи аборигенной железобактериальной микробной ассоциации на первой стадии;

- 2) выщелачивание руды раствором Fe^{3+} на второй стадии;

- 3) бактериальное доокисление (биоокисление) осадка руды, выщелоченной трехвалентным железом, на третьей стадии.

Все три стадии осуществляются в мезофильных условиях (при 28 ± 1 °C), что позволяет использовать окислительную активность бактерий на протяжении всего процесса и снижает затраты на значительный подогрев пульпы. К тому же, повышенные температуры усиливают ингибирующее действие ионов меди, никеля, железа на микроорганизмы [7].

Важной особенностью чанового биовыщелачивания является то, что размеры установки мало влияют на кинетику и извлечение металла. Поэтому определение пригодности руды или концентрации к переработке методом чанового бактериального выщелачивания и проверку эффективности разрабатываемой технологии проводят с использованием малогабаритного лабораторного оборудова-

ния. Метод исследования в колбах на качалках очень важен как предварительный тест для этого типа выщелачивания. С его помощью можно получить ценную информацию об оптимальных условиях и результатах выщелачивания даже тогда, когда используются небольшие количества выщелачиваемого твердого продукта (порядка десятка граммов) [8].

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлась сульфидная кобальт-медно-никелевая руда, полученная из месторождения Шануч (Западная 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 – 6,73 %, Cu – 0,83 %, Co – 0,16 %. Степень измельчения ~44 мкм.

В процессе наработки раствора биогенного Fe^{3+} на первой стадии в качестве инокулята была использована микробная культура ОК-Fe – мезофильная ассоциация хемолитотрофных микроорганизмов (доминирующий вид – *A. ferrooxidans*), выделенная из окисленной сульфидной медно-никелевой руды месторождения Шануч, выращенная в питательной среде Сильвермана-Люндгрена 9К [8] с 11 г/л Fe^{2+} . В процессе биологического доокисления осадка после второй стадии была использована микробная культура ОК-БО – мезофильная ассоциация хемолитотрофных микроорганизмов (*A. ferrooxidans*, *A. thiooxidans*, *Sulfobacillus sp.*), выделенная из окисленной сульфидной медно-никелевой руды месторождения Шануч, выращенная в питательной среде Сильвермана-Люндгрена 9К без железа в присутствии сульфидной медно-никелевой руды (3 % твердого).

Получение рабочего раствора трехвалентного железа (первая стадия). Для рабочего раствора была выбрана концентрация Fe^{3+} 10–11 г/л как благоприятная для жизнедеятельности бактерий [8]. Нарботку биогенного Fe^{3+} проводили при температуре 28 ± 1 °С в стеклянных емкостях объемом 1 л при соотношении объемов инокулята и свежей питательной среды Сильвермана и Люндгрена 9К с 11 г/л Fe^{2+} 1:10. Перемешивание пульпы осуществляли компрессором.

Очищение раствора Fe^{3+} от бактериальных клеток осуществляли путем центрифугирования его при 5,5 тыс. об/мин в течение 15 мин. Во избежание появления микрофлоры в очищенном растворе в него вносили бактерицидную смесь (2 % тимол + этанол в соотношении 1:1) из расчета 2 мл смеси на 100 мл раствора [9].

Раствор химического Fe^{3+} получали путем растворения соли $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в дистиллированной воде (концентрация $\text{Fe}^{3+} \approx 10\text{--}11$ г/л) и доведения рН до 1,8 при помощи 10N H_2SO_4 .

Выщелачивание сульфидной кобальт-медно-никелевой руды раствором трехвалентного железа (вторая стадия). Выщелачивание руды раствором Fe^{3+} проводили в трех повторях в колбах Эрленмейера объемом 250 мл (объем пульпы = 150 мл) на качалке (≈ 120 об/мин), в термостате при температуре 28 ± 1 °С, плотности пульпы т:ж = 1:10. При восстановлении Fe^{2+} в растворе производили смену рабочего раствора. Пульпу не подкисляли. В процессе выщелачивания руды раствором биогенного Fe^{3+} с бактериями произвели 4 смены раствора, т.к. в дальнейшем скорость восстановления железа увеличивалась, и следующие смены представлялись нецелесообразными. Столько же

смен раствора произвели и в остальных экспериментах.

Бактериальное доокисление руды, выщелоченной раствором трехвалентного железа (третья стадия). Бактериальное доокисление осадка руды проводили в трех повторях в колбах Эрленмейера объемом 250 мл (объем пульпы = 150 мл) на качалке (≈ 120 об/мин), в термостате при температуре 28 ± 1 °С, плотности пульпы т:ж = 1:20. Жидкая фаза пульпы состояла из инокулята и питательной среды 9К без железа в соотношении 1:4. Пульпу не подкисляли.

Осадки руды после выщелачивания промывали дважды дистиллированной водой (объем воды равен объему одной смены рабочего раствора) в колбах на качалке в течение 15 мин, высушивали при 85 °С, перетирали до однородной массы в фарфоровой ступке, еще раз высушивали, взвешивали. В процессе исследований измеряли рН, Eh жидкой фазы пульпы с помощью рН-метра HI 98103 и Eh-метра HI 98201 («Hanna Instruments», Маврикий). Количество бактериальных клеток определяли прямым подсчетом в микроскопе с фазово-контрастной насадкой (ЛОМО МИК-МЕД 5). Концентрацию $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ в жидкой фазе определяли методом комплексонометрического титрования трилоном Б [10]. Определение никеля, меди и кобальта в жидкой и твердой фазах осуществляли атомно-абсорбционным методом при помощи атомно-абсорбционного спектрофотометра 6200 Shimadzu (Япония).

Результаты и обсуждение

Исследование выщелачивания сульфидной кобальт-медно-никелевой руды раствором трехвалентного железа

В качестве рабочего раствора на второй стадии использовали: биогенное

Fe^{3+} с бактериями, биогенное Fe^{3+} без бактерий, химическое Fe^{3+} без бактерий.

Анализ жидкой фазы пульпы на протяжении экспериментов показал следующее. В процессе обработки руды раствором биогенного Fe^{3+} pH жидкой фазы увеличивается, при этом замедление процесса с каждой сменой раствора прослеживается по уменьшению колебаний pH. Динамика изменения pH при использовании химического Fe^{3+} противоположна динамике изменения pH в процессах с биогенным Fe^{3+} . Вследствие того, что полиминеральная руда представляет собой микрогальванический элемент, катодные реакции протекают на поверхности пирротина ($\text{FeS} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Fe}^0 + \text{S}^{2+}$) и халькопирита ($2\text{CuS}\cdot\text{FeS} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Cu}_2\text{S} + 2\text{Fe}^{2+} + 3\text{S}^{2-}$). Затем выделяющиеся на катоде Fe^0 и Fe^{2+} переходят в $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$, выпадающие в осадок. Ионы S^{2-} преобразуются при наличии O_2 в SO_4^{2-} [11]. Полученные экспериментальные данные показали, что наиболее интенсивно образование и выпадение в осадок гидроксидных форм железа происходит при выщелачивании руды раствором химического Fe^{3+} (рис. 1), сопровождаясь значительным снижением pH раствора вследствие высвобождения большого количества ионов SO_4^{2-} . При выщелачивании руды раствором биогенного Fe^{3+} выделяющееся из минералов железо переходит, преимущественно, в форму FeSO_4 и $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$, связывая ионы SO_4^{2-} и препятствуя снижению pH.

В процессе выщелачивания руды биогенным Fe^{3+} с бактериями их количество возрастает с каждой сменой раствора ($3,6 \cdot 10^8$ – $5,3 \cdot 10^8$ – $8,6 \cdot 10^8$ – $9,2 \cdot 10^8$ кл/мл). В первой смене при минимальном количестве бактерий наблюдали наиболее быстрое потребление Fe^{3+} из раствора. Следовательно, на начальных этапах выщелачивания преобла-

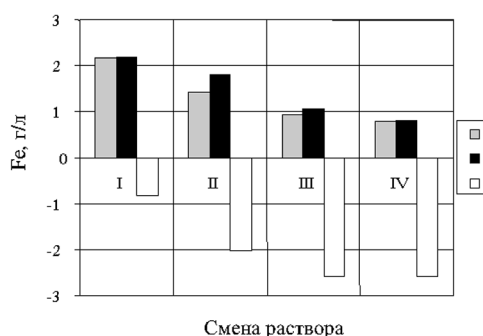


Рис. 1. Прирост железа в растворе в процессе выщелачивания руды ионами Fe^{3+} : 1 – биогенным Fe^{3+} с бактериями, 2 – биогенным Fe^{3+} без бактерий, 3 – химическим Fe^{3+}

дающее значение имеет непрямой механизм посредством Fe^{3+} , способствующий первичному разрушению руды, что делает ее более доступной для бактерий. В последующих сменах происходит рост микробной биомассы, которая начинает вновь окислять железо в растворе, регенерируя основной окисляющий агент (Fe^{3+}) и способствуя более полному извлечению металлов. Становится невозможным добиться полного или почти полного восстановления Fe^{3+} до Fe^{2+} .

В течение первых двух смен потребление окислителя (иона Fe^{3+}) из раствора происходит наиболее быстро: при использовании окислителя без бактерий – за 4–5 ч, при использовании окислителя с бактериями – за 6–7 ч. В это время из руды выщелачивается, преимущественно, железо. Увеличение времени потребления Fe^{3+} (продолжительности смен раствора) можно объяснить тем, что во время третьей и четвертой смен начинает преобладать выщелачивание серы, которая формирует на поверхности руды диффузионный слой, затрудняющий ионам Fe^{3+} доступ к минералам.

В I смене при минимальном количестве бактериальных клеток в растворе наблюдали максимальное извлечение

Таблица 1

Извлечение металлов в процессе выщелачивания сульфидной медно-никелевой руды ионами Fe^{3+} различного происхождения

Выщелачивающий раствор	Ni			Co			Cu		
	извлечение		потери*, %	извлечение		потери*, %	извлечение		потери*, %
	г/л	%		г/л	%		г/л	%	
Биогенное Fe^{3+} с бактериями	1,28	19,0	-	0,022	13,8	2,7	0,036	4,3	0,5
Биогенное Fe^{3+} без бактерий	0,88	12,9	16,7	0,012	7,5	-	0,009	1,1	4,6
Химическое Fe^{3+} без бактерий	0,75	10,9	13,2	0,018	11,3	6,9	0,020	2,4	10,5

* – в результате переотложения в виде нерастворимых форм.

никеля – одинаковое для выщелачивания биогенным Fe^{3+} как с бактериями, так и без них. Следовательно, на данном этапе выщелачивание протекает только за счет Fe^{3+} , причем биогенное Fe^{3+} эффективнее химического в 1,5 раза. В последующих сменах во всех трех опытах извлечение никеля снижалось. В первом опыте от смены к смене количество бактерий увеличивается, и извлечение никеля стабильно выше (в 2–2,4 раза), чем при использовании окислителя без бактерий, благодаря:

1) биовыщелачиванию при помощи контактного механизма (прямое окисление минералов руды бактериями);

2) дополнительному окислению руды ионами Fe^{3+} , реокисленными бактериями в растворе.

Биогенное Fe^{3+} без бактерий эффективнее химического только в I смене, а затем не имеет никакого преимущества. В извлечении никеля биогенное Fe^{3+} с бактериями эффективнее на 47 %, чем биогенное Fe^{3+} без бактерий, и на 74 % – чем химическое Fe^{3+} . Выщелачивание руды биогенным Fe^{3+} с бактериями происходит без существенных потерь металлов в результате переотложения (табл. 1).

В целом, на стадии выщелачивания руды трехвалентным железом в раствор извлекается, преимущественно, никель и кобальт. Известно, что $Fe_2(SO_4)_3$ является

слабым окислителем халькопирита. В присутствии этого минерала динамическое равновесие между Fe^{2+} и Fe^{3+} устанавливается при относительном содержании Fe^{3+} в растворе около 90 %. То есть, очевидно, что скорость бактериального окисления Fe^{2+} превышает скорость восстановления Fe^{3+} при взаимодействии с халькопиритом [1].

Исследование процессов бактериального доокисления руды, выщелоченной ионами трехвалентного железа

Динамика процесса схожа в биокислении руды, выщелоченной биогенным Fe^{3+} с бактериями и химическим Fe^{3+} . В первые 3 суток наблюдается лаг-фаза, характеризующаяся повышением pH, снижением окислительно-восстановительного потенциала (Eh), уменьшением количества бактериальных клеток в растворе. После 3 суток начинается активный прирост биомассы, окисление бактериями руды, что отражается в снижении pH вследствие образования серной кислоты сероокисляющими бактериями и повышении Eh, свидетельствующем об интенсификации окислительно-восстановительных процессов. Железо переходит в трехвалентную форму благодаря железоокисляющей активности бактерий (рис. 2).

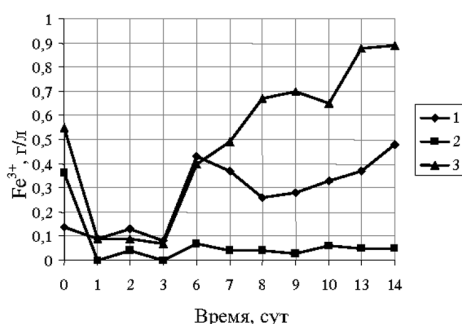


Рис. 2. Изменение концентрации трехвалентного железа в растворе в процессе биотермальной доокисления руды, выщелоченной ионами Fe^{3+} : 1 – биогенным Fe^{3+} с бактериями, 2 – биогенным Fe^{3+} без бактерий, 3 – химическим Fe^{3+}

В опыте с рудой, обработанной на II стадии раствором биогенного Fe^{3+} без бактерий, процесс протекал вяло и характеризовался низкой серо- и железокисляющей активностью микроорганизмов. Количество бактериальных клеток в растворе на протяжении всего эксперимента оставалось низким (10^7 кл/мл).

В процессе биоокисления руды, выщелоченной биогенным Fe^{3+} с бактериями, максимальное количество бактерий в растворе наблюдали в период с 6 по 10 сутки. В это же время произошло и основное извлечение никеля и кобальта. Затем количество клеток уменьшилось, а извлечение никеля и кобальта вышло «на плато». В биоокислении руды, обработанной химическим Fe^{3+} , после 3-хсуточной lag-фазы количество бактерий постепенно увеличивалось до максимума на 10-е сутки и затем оставалось практически на одном уровне, причем на порядок выше, чем в опыте с рудой, выщелоченной биогенным Fe^{3+} с бактериями. Причиной этому могло послужить дополнительное количество железа, образовавшего осадок на поверхности руды на II стадии. Это же-

лезо стало вспомогательным источником энергии для бактерий, а окисляясь ими до Fe^{3+} , послужило и дополнительным окислителем сульфидной руды, способствуя более равномерному извлечению никеля и кобальта. В опытах с рудой, обработанной биогенным Fe^{3+} без бактерий, извлечение обоих металлов в 2–2,5 раза ниже.

В целом, трехстадийное биовыщелачивание эффективнее при использовании на II стадии биогенного Fe^{3+} с бактериями (табл. 2): по извлечению никеля – на 76 %, чем биогенное Fe^{3+} без бактерий, и на 33 %, чем химическое Fe^{3+} ; по извлечению меди – в 7 раз, чем биогенное Fe^{3+} без бактерий, и на 32 %, чем химическое Fe^{3+} ; по извлечению кобальта – в 2 раза, чем биогенное Fe^{3+} без бактерий, и на 20%, чем химическое Fe^{3+} .

Схема трехстадийного биовыщелачивания

На основании полученных экспериментальных данных разработана технологическая схема переработки сульфидной кобальт-медно-никелевой руды в трехстадийном режиме биовыщелачивания, изображенная на рис. 3.

Рабочий раствор трехвалентного железа можно получать путем окисления бактериями соли $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, при этом для получения 1 т рабочего раствора с концентрацией Fe^{3+} 10–11 г/л необходимо 54 кг $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. С целью сокращения затрат на химические реагенты в качестве источника железа предлагается использовать сульфидную кобальт-медно-никелевую руду, богатую минералами, содержащими значительные количества железа. После цикла бактериального окисления при помощи аборигенной ассоциации ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов раствор, содержащий биогенное Fe^{3+} и активную бактериальную

Таблица 2
Извлечение металлов в процессе выщелачивания сульфидной медно-никелевой руды в трехстадийном режиме

Выщелачивающий раствор, используемый на II стадии	Ni			Co			Cu		
	извлечение		потери*, %	извлечение		потери*, %	извлечение		потери*, %
	г/л	%		г/л	%		г/л	%	
Биогенное Fe ³⁺ с бактериями	2,47	73,3	-	0,054	67,5	4,6	0,065	15,6	9,2
Биогенное Fe ³⁺ без бактерий	1,40	41,6	-	0,024	30,0	-	0,009	2,2	0,4
Химическое Fe ³⁺ без бактерий	1,86	55,2	17,5	0,045	56,3	12,9	0,049	11,8	35,4

* – в результате переотложения в виде нерастворимых форм

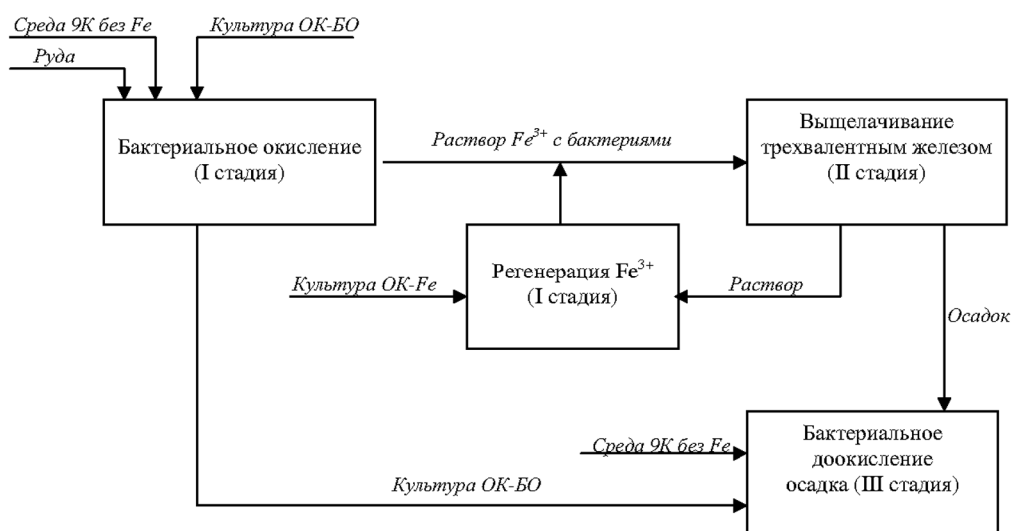


Рис. 3. Технологическая схема переработки сульфидной кобальт-медно-никелевой руды путем трехстадийного биовыщелачивания

биомассу, направляется на вторую стадию – выщелачивание руды. Обработку руды раствором трехвалентного железа следует проводить в несколько смен раствора (3–4).

Затем раствор с восстановленным в результате окислительно-восстановительных реакций двухвалентным железом направляется на первую стадию, где железобактериями регенерируется Fe³⁺. Осадок

после второй стадии направляется на третью – бактериальное доокисление.

Заключение

Раствор в процессе выщелачивания руды трехвалентным железом обогащается, в основном, ионами никеля и кобальта. Это объясняется тем, что при совместном нахождении в растворе пентландита, пирротина и халькопирита ускоряется растворение более электроотрицательных сульфидов

никеля и замедляется растворение более электроположительного сульфида меди. Таким образом, несмотря на действие буферной окислительно-восстановительной системы Fe^{3+}/Fe^{2+} , окисление полиминеральной руды идет по электрохимическому принципу.

В извлечении никеля биогенное Fe^{3+} эффективнее химического на 18 %, наличие в нем активных железокисляющих бактерий повышает его эффективность еще на 56 %. Ранее считалось, что преимущество биогенного Fe^{3+} над химическим заключается в том, что оно способствует уменьшению вновь образуемых осадков железа и, следовательно, потерь извлекаемых металлов в результате переотложения [4]. Результаты наших исследований указывают на то, что в мезофильных условиях подобного эффекта можно добиться лишь при условии наличия железокисляющих бактерий в растворе биогенного Fe^{3+} . По окислительной

активности в отношении сульфидных минералов биогенное Fe^{3+} не превосходит химическое, а в случае с минералами меди и кобальта даже уступает ему. Повышение извлечения металлов при использовании биогенного Fe^{3+} достигается благодаря окислительной активности присутствующих в нем железо- и сульфидокисляющих бактерий. Биогенное Fe^{3+} способствует переходу железа, выделяющегося из руды, в форму сульфатов $FeSO_4$ и $Fe_2(SO)_3$, которые могут также участвовать в окислении минералов, в то время как при выщелачивании руды химическим Fe^{3+} выделяющееся железо образует гидроксиды и выпадает в осадок.

Предлагаемая трехстадийная технология биовыщелачивания сульфидной кобальт-медно-никелевой руды позволяет извлекать до 73 % никеля, 68 % кобальта и 16 % меди.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каравайко Г.И., Кузнецов С.И., Голомзик А.И. Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд. М.: Наука, 1972. 248 с.
2. Palencia I., Romero R., Mazuelos A., Carranza F. Treatment of secondary copper sulphides (chalcocite and covellite) by the BRTSA process // Hydrometallurgy. 2002. V. 66. P. 85–93.
3. Славкина О.В., Фомченко Н.В., Бирюков В.В., Архипов М.Ю. Исследование технологии бактериального выщелачивания медно-цинкового рудного концентрата. 3. Экспериментальная проверка двухстадийной рециркуляционной технологии выщелачивания медно-цинкового концентрата // Биотехнология. 2005. № 3. С. 48–54.
4. Фомченко Н.В., Муравьев М.И., Кондратьева Т.Ф., Бирюков В.В. Роль первой стадии в двухстадийном процессе бактериально-химического окисления золотомышьяковых концентратов с использованием умеренно термофильных микроорганизмов // Биотехнология. 2009. № 2. С. 60–68.
5. Суханова М.А., Пивоварова Т.А., Меламуд В.И. Способ переработки сульфидных руд и пирротинового концентрата // Патент на изобретение RU 2367691 C1.
6. Konishi Y., Nishimura H., Asai S. Bioleaching of sphalerite by the acidophilic thermophile *Acidianus brierleyi* // Hydrometallurgy. 1998. V. 47. P. 339–352.
7. Адамов Э.В., Панин В.В. Биотехнология металлов: Курс лекций. М.: МИСиС, 2003. 147 с.
8. Каравайко Г.И., Росс Дж., Агапе А., Грудев С., Авакян З.А. Биоготехнология металлов. Практическое руководство. М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1989. 375 с.
9. Rodriguez Y., Ballester A., Blazquez M.L., Gonzales F., Munoz J.A. New information on the pyrite bioleaching mechanism at low and

high temperature // Hydrometallurgy. 2003. V. 71. P. 37–46.

10. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод. М.: Недра, 1970. 140 с.

11. Свешников Г.Б. Электрохимические процессы на сульфидных месторождениях. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1967. 160 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Трухин Юрий Петрович – доктор геолого-минералогических наук, директор, Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН, nigtsc@kscnet.ru

Левенец Ольга Олеговна – младший научный сотрудник, Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН, leveolga@yandex.ru



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА АЛМАЗНОГО ДИСКОВОГО ИНСТРУМЕНТА, ОРГАНИЗАЦИЯ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА

Ершов Александр Сергеевич — аспирант МГГУ,

Ершов Сергей Константинович — кандидат технических наук, генеральный директор МКК-Диамант,

Павлов Юрий Александрович — доктор технических наук, профессор МГГУ,

Субботин Евгений Константинович — кандидат технических наук, МКК-Диамант.

Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). — 2011. — № 7. — 22 с.— М.: Издательство «Горная книга»

Исследованы способы повышения качества алмазных сегментов и алмазного дискового инструмента в России, организации и развития производства алмазного гранулята, организации распиловки радунита Якутского месторождения.

Ключевые слова: инструмент алмазный дисковый, сегменты алмазные, алмазы гранулированные, производство, распиловка радунита, радунит.

Ershov A.S., Ershov S.K., Pavlov U.A., Subbotin E.K. QUALITY STUDY OF THE DIAMOND DISK TOOLS AND ORGANIZATION OF THE PRODUCTION

Collection of articles includes articles about the organization of production of diamond granules to improve the quality of diamond segments and diamond disk tool, the status and problems of development of production of diamond disk tool in Russia, the organization of cutting Yakut deposits radun.

Key words: diamond tool disc, diamond segments, diamond pellets, production, cutting radun, radon.