



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БАКТЕРИАЛЬНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТО-МЫШЬЯКОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

¹Абдурахманов Сайиб

Д.т.н., профессор,

²Расулова Шахноза Шавкатовна,

Маг. каф. Горное дело.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7355323>

ARTICLE INFO

Received: 14th November 2022

Accepted: 20th November 2022

Online: 24th November 2022

KEY WORDS

Концентрат, минерал,
золото, мышьяк,
кислотность, бактерия,
штамм, упорность,
потенциал, температура,
выщелачивание.

ABSTRACT

Контроль за процессом бактериально-химического выщелачивания концентрата осуществлялся измерениями в жидкой фазе кислотности (pH), окислительно-восстановительного потенциала, физиологического состояния бактерий по потенциальной активности потребления кислорода биомассой и скорости окисления сернокислого закисного железа. Определение скорости окисления упорного сульфидного золото-мышьяковистого концентрата бактериями проводилось при разных температурах.

Введение. На сегодняшний день стоит проблема интенсификации бактериального метода выщелачивания [1-3].

По сравнению с обычными гидрометаллургическими процессами скорость бактериального выщелачивания пока недостаточна для того, чтобы этот процесс можно было широко использовать для переработки сложных продуктов и концентратов, в частности, таких как золотомышьяковистые упорные концентраты Даугызтауского месторождения.

Целью данного опыта являлось определение скорости окисления упорного сульфидного золото-мышьяковистого концентрата бактериями при разных температурах.

Методология. В качестве объекта исследования использована смесь золотомышьяковистых концентратов флотационного и гравитационного обогащения руды месторождения Даугызтау. Для выделения бактерий характерных для концентрата месторождения Даугызтауского рудного поля навески руды 10 г помещали в стерильные колбы со 100 мл элективной среды и помещали для перемешивания и аэрации на роторные качалки со скоростью вращения 300 об/мин.

Для выделения *A. ferrooxidans* к 10 г руды добавляют среду Сильвермана и Люндгрена 9К без железа (pH=2,2). Инкубирование проводят на роторной качалке при температуре 28 °C. Через 4 недели получали накопительную культуру *A. ferrooxidans*. Поскольку



накопительная культура обычно представляет собой смесь штаммов, для выделения культуры преобладающего штамма проводили рассев культуры методом десятикратных предельных разведений. Через две недели культура из пробирки с наиболее глубоким разведением подвергалась окончательной очистке на твердой среде по методу, разработанному в лаборатории хемолитотрофных микроорганизмов ИНМИ РАН. Чашки с твердой средой инкубировали в течение 2-х недель при температуре 28°C и наиболее типичные колонии отсеивали на косяки с твердой средой для поддержания чистой линии и на жидкую среду 9К для экспериментальных целей.

Результаты. Золото и серебро до 60% в концентратах флотационного и гравитационного обогащения находится в виде тонковкрапленного в пирите и арсенопирите. Для извлечения этого золота необходимо максимально разрушить сульфидные минералы и вскрыть его.

Исследование бактериального выщелачивания проводилось в реакторах рабочим объемом 1 дм³, с перемешиванием и подачей воздуха в количестве 2 дм³/мин, при плотности пульпы 9,1 % твердого (Т:Ж = 1:10).

Контроль за процессом бактериально-химического выщелачивания концентрата осуществлялся измерениями в жидкой фазе кислотности (рН), окислительно-восстановительного потенциала,

концентраций двухвалентного и трехвалентного железа, мышьяка, методом предельных десятикратных разведений концентрации клеток бактерий, физиологического состояния бактерий по потенциальной активности потребления кислорода биомассой и скорости окисления сернокислого закисного железа. Содержание химических элементов в твердой фазе определялось в конце выщелачивания [4-5].

В качестве активной биомассы использовались бактерии: Acidithiobacillus ferrooxidans, Sulfolobus, Acidithiobacillus thiooxidans.

Исследование проводилось при температурах 30 °C, 39,3 °C и 49 °C.

Перед исследованиями бактериального выщелачивания проведена адаптация ассоциаций бактерий при постепенном увеличении плотности пульпы. Следует отметить, что, несмотря на высокое содержание мышьяка в концентратах, адаптация происходила в короткие сроки.

Основные параметры процесса бактериально-химического выщелачивания продуктов обогащения руды представлены в табл.1.

Таблица 1

Технологические показатели и параметры бактериально-химического выщелачивания продуктов обогащения руды месторождения Даугызтау

Технологические показатели и параметры процесса	30 °C	39,3 °C	49 °C
1. Содержание мышьяка в исходном	10,0	10,0	10,0



продукте, %			
2. Плотность пульпы, содержание твердого, %	20-16,7 1:4 - 1:5	9,1 1:10	9,1 1:10
Отношение Т:Ж	4,8-10,4	5,2-17,5	4,4-6,2
4. Концентрация железа, суммарная, г/л	5,2-10,4	5,2-17,5	2,3-6,2
5. Концентрация трехвалентного железа, г/л	0,0-0,9 1,3-1,6	0,0-2,85 1,53-2,12	0,0-2,1 1,87-1,95
6. Концентрация двухвалентного железа, г/л	680-720	472-568	400-500
6. Кислотность среды, ед.рН	$1,3 \cdot 10^7 - 6 \cdot 10^9$	$4,5 \cdot 10^7 - 1,5 \cdot 10^8$	
7. Окислительно-восстановительный потенциал (н.в.э.) мВ	8,6-21,1 96	19,62 70	12,7 60
9. Концентрация бактерий в растворе, кл/мл	55	65	64
10. Концентрация мышьяка в растворе, г/л	2,95 83,8	1,3 91,55	3,1 81,48
11. Время выщелачивания, ч			

В начале выщелачивания значение рН среды составляло 1,6-2,12. При выщелачивании некоторых сульфидов металлов происходит образование серы и ее окисление бактериями до серной кислоты. В результате значение рН снижается до 1,3-1,5 в зависимости от содержания сульфидов и плотности пульпы. При снижении рН ниже 1,5 условия для жизнедеятельности бактерий ухудшаются и скорость регенерации трехвалентного железа бактериями снижается. Регулирование значения рН осуществлялось за счет доливаемой кислоты.

Окислительно-восстановительный потенциал среды по нормальному водородному электроду (н.в.э.) выщелачивания выше при 30 °С из-за большего содержания мышьяка в концентрате вследствие большей плотности пульпы, концентрации ионов мышьяка в растворе, ингибирования окислительной

активности бактерий и соответственно большего времени окисления двухвалентного железа в трехвалентное [6-7].

Концентрация бактериальных клеток *A. ferrooxidans* в процессе выщелачивания, концентратов определенная методом предельных разведений на среде 9К, составляет $1,3 \cdot 10^7 - 6 \cdot 10^9$ клеток в мл.

Максимальное извлечение мышьяка достигается при выщелачивании при 30 °С с повышением температуры через 40 часов до 39,3 °С – 91,5 % мышьяка. В присутствии мезофильных штаммов извлечение мышьяка достигается 83,8 % за время 96 часов. В условиях умеренно-термофильных выщелачивание 81,5 % мышьяка достигается за 60 часов.

Полученные данные показывают, что окисление железа идет хорошо при использовании термофильных штаммов бактерий при 49°С. Содержание общего



железа увеличилось за счет функционирования бактерий за 50 часов на 43 % по сравнению с начальным уровнем, в абсолютной величине это составило 0,19 г железа, концентрация железа в растворе стала 6,3 г/л.

Проведение выщелачивания мезофильными бактериями показали, что двухвалентное железо за 40 часов полностью окислилось до трехвалентного, поэтому температура была увеличена до 39,3 °C. Увеличение температуры привело к увеличению кинетики процесса выщелачивания, содержание железа в растворе

увеличилось почти в 3 раза и составило 17,5 г/л (выщелачилось 0,19 г железа). С помощью мезофильных бактерий достигнут такой же результат, но за 96 часов выщелачивания [8-10].

Заключение. Таким образом, наиболее эффективными способами выщелачивания являются выщелачивание при 49 °C в течение 50 часов или выщелачивание в течении 40 часов (за это время практически все двухвалентное железо переходит в трехвалентное) мезофильными бактериями, а остальные 30 часов в присутствии термофильных бактерий.

References:

1. Коваленко Э.В., Малахова П.Т. Спорообразующая железоокисляющая бактерия *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*. // Микробиология. 2014, Т.52 Вып. 6. С. 962-967.
2. Ковров Б.Г., Денисов Г.В., Седельников С.Н. Получение биомассы *T.ferrooxidans*.// В сб.: Биогeотехнология металлов. Практическое руководство. Редакторы: Каравайко Г.И., Росси Д., Агате А., Груднев С., Авакян З.А.. М: Центр международных проектов.2019, С.124-139.
3. Корешков Н.Г. Чановое бактериальное выщелачивание сульфидных минералов. Подготовка проб.// В сб.: Биогeотехнология металлов. Практическое руководство. Редакторы: Каравайко Г.И., Росси Д., Агате А., Груднев С., Авакян З.А.. М: Центр международных проектов ГКНТ. 2015, С.178-184.
4. Ланцев И.П., Фалькова О.Б., Денисова Л.К. Количественное спектральное определение мышьяка, теллурита, сурьмы, свинца в природном золоте. // Труды ЦНИГРИ. Москва.2020, Вып. 97. С. 182-187.
5. Логинова Л.Г., Головачева Р.С., Егорова Л.А.. Жизнь микроорганизмов при высоких температурах. М.: Наука. 2019. 38 с.
6. Ляликова Н.Н.. 1968. Особенности физиологии микроорганизмов, окисляющих сульфиды металлов.// Применение бактериального метода выщелачивания цветных металлов из забалансовых руд. Материалы Всесоюзной Конференции. М.: Цветметинформация. 2018, С.5
7. Маркосян Г.Е. Новая железоокисляющая бактерия- *Leptospirillum ferrooxidans*. nov. gen. nov. sp..// Миологический журнал Армении 2017, Т.35. №2. С.26-29.
8. Пивоварова Т.А., Маркосян Г.Е., Каравайко Г.И.. Морфогенез и строение *L.ferrooxidans*. //Микробиология, 2010, С.482-487.
9. Пивоварова Т.А., Головачева Р.С. Цитология, физиология и биохимия микроорганизмов, важных для гидрометаллургии. //Биогeотехнология металлов.



Труды Международного семинара и Международных учебных курсов. М., Центр Международных Проектов ГК, 2012, С. 29-58.

10. Михайлов С.И., Адамов Э.В., Панин В.В. Технология бактериального выщелачивания цветных и редких, 2019, М., 288 с.