

А. И. ГОЛЬБРАИХТ

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И АЭРАЦИИ НА ЖЕЛЕЗООКИСЛЯЮЩУЮ АКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ КУЛЬТУР THIOBACILLUS FERROOXIDANS

В связи с использованием тионовых бактерий в процессах подземного, кучного и чанового выщелачивания большую важность приобретают такие параметры культивирования, как температура и аэрация, которые изучены пока недостаточно полно [1, 2]. В задачу нашей работы входило изучение железooksисляющей активности различных культур *Th. ferrooxidans* и отбор наиболее активных среди них для выщелачивания.

Материал и методика. Объектом исследования служили накопительные культуры *Thiobacillus (Th.) ferrooxidans*, выделенные из различных месторождений. Железooksисляющую активность определяли по скорости бактериального окисления Fe^{2+} на среде 9К [3] в стационарных условиях при 15 и 25° и на качалке при 25°. В опытах использовали 4 накопительные культуры бактерий *Th. ferrooxidans*: выделенные нами из Кафанского медного месторождения культуры КК-6 и КК-16, Коунрадскую, выращенную на халькопирите (КХ), и Коундарскую, адаптированную к мышьяку (КАМ). Закисное железо определяли перманганатометрически [4], количество клеток—методом предельных 10-кратных разведений на среде 9К. Прибор рН-340 был использован для определения рН (со стеклянным электродом) и Eh (с платиновым электродом).

Результаты и обсуждение. По активности в окислительном процессе железа изученные культуры можно расположить в следующем убывающем порядке: КК-6 — КАМ — КХ — КК-16 (табл.). Среднесуточная скорость окисления Fe^{2+} в наиболее благоприятных условиях (аэрация, 25°) составила соответственно 2400, 2295, 1800 и 805 мг/л. Повышение температуры на 10° в стационарных условиях приводило к ускорению темпа регенерации железа за первые 3 дня для культуры КХ с 7 до 25%, для культуры КАМ—с 7 до 33%, для культур из Кафана КК-6 и КК-16 — с 9 до 55% и с 3 до 18% железа от исходного показателя. Коэффициент Q_{10} варьировал в пределах 1,33 (КК-16) — 1,94 (КАМ), а энергия активации E_a , рассчитанная аналитически, — 2,0 — 3,8 ккал/моль, что свидетельствует о диффузионном характере процесса окисления и растворенном кислороде как лимитирующем факторе.

Аэрация регенерируемых растворов путем встряхивания на качалке (210 об/мин) также значительно ускоряла процесс бактериального окисления железа. Так, если через 3 дня инкубации при 25° в стационарных условиях было окислено от 18 до 55% железа, то при аэрации за тот же срок наименее активной культурой, КК-16, регенерировалось 38% железа, а культурами КК-6 и КАМ оно было окислено полностью.

Таблица

Изменение кислотности, окислительно-восстановительного потенциала и числа клеток *Th. ferrooxidans* при окислении железа

Культура и условия, опыта	Исходные показатели			Показатели на 3-й день				Количество дней, необходимых для полного окисления железа
	кл/мл	pH	Eh, мв	кл/мл	pH	Eh, мв	окислено Eh ⁺ , %	
КХ, без аэрации, 15°	10 ⁴	2,47	535	10 ⁶	2,45	574	7	10
КХ, без аэрации, 25°	10 ⁴	2,48	558	10 ⁷	2,43	595	25	6
КХ, аэрация, 25°	10 ⁴	2,49	538	10 ⁷	2,24	671	84	4
КАМ, без аэрации, 15°	10 ⁴	2,51	545	10 ⁵	2,55	577	7	10
КАМ, без аэрации, 25°	10 ⁴	2,48	544	10 ⁵	2,46	604	33	5
КАМ, аэрация, 25°	10 ⁴	2,50	560	10 ⁷	2,21	740	100	3
КК-6, без аэрации, 15°	10 ⁷	2,40	564	10 ⁵	2,50	575	9	9
КК-6, без аэрации, 25°	10 ⁷	2,48	566	10 ⁸	2,48	627	55	5
КК-6, аэрация 25°	10 ⁷	2,45	561	10 ⁸	2,21	753	100	3
КК-16, без аэрации, 15°	10 ⁶	2,48	577	10 ⁵	2,34	572	3	10
КК-16, без аэрации, 25°	10 ⁶	2,43	578	10 ⁵	2,34	593	18	8
КК-16, аэрация, 25°	10 ⁶	2,45	578	10 ⁵	2,48	609	38	5

Время, необходимое для полного окисления 7,5 г/л железа, благодаря аэрации сокращалось с 5—8 до 3—5 суток. Стерилизация раствора сулемой приводила к полной остановке этого процесса. Таким образом, бактериальная регенерация растворов для выщелачивания в случае применения обоих изученных факторов интенсифицировалась в 1,4—3,5 раза. Учет указанных факторов при отработке технологии бактериального выщелачивания металлов в условиях пониженных температур и гипоксии высокогорного Зангезурского комбината приобретает важное значение.

По мере окисления железа pH растворов снижается на 0,2—0,3 единицы pH (за исключением Кафанской культуры КК-16, проявившей слабую железooksисляющую активность), по-видимому, за счет гидролиза образующегося сульфата окиси железа. Поскольку последний обладает более высоким окислительно-восстановительным потенциалом в сравнении с закисным железом, возрастание соотношения Fe³⁺ : Fe²⁺ приводит к увеличению Eh до значений, характерных для ОВП окисного железа (+ 777 мв).

Различия в железooksисляющей активности культур *Th. ferrooxidans* не связаны с исходной численностью клеток, но определяются, по-видимому, условиями их природного существования или культивирования в лаборатории. Так, активная культура КК-6 выделена нами из

сбрасываемых вод штольни № 1 Кафанского медного комбината, где окислительные процессы идут давно и широко развиты [2, 5, 6]. Достаточно высокой окислительной активностью обладали культуры КХ и КАМ, длительное время культивируемые в лабораторных условиях и адаптированные к окислению железа в присутствии высоких концентраций других ионов [7]. Наименее активная из изученных, культура КК-16 была выделена нами из кислой воды у нижней дамбы Кафанского хвостохранилища (рН 3,7), где окислительные процессы еще слабо развиты, и использована в данной работе после трех пассажей в лаборатории.

Таким образом, перспективными для дальнейших работ по бактериальному выщелачиванию являются культуры КК-6, КАМ и КХ тионовых железooksисляющих бактерий.

Институт микробиологии АН АрмССР

Поступило 4.VII 1977 г

Ա. Բ. ԳՈՂՐՈՅԻՑ

ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ԵՎ ԱԵՐԱՑԻԱՅԻ ԱՁԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
T. FERROOXIDANS-Ի ՏԱՐՔԵՐ ԿՈՒՆՏՈՒՐԱՆԵՐԻ
ԵՐԿԱԹՕՔՍԻԴԱՑՆՈՂ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Կոպտորանների ակտիվությունից կախված, աերոբ պայմաններում երկաթի օքսիդացումը բակտերիաների կողմից արագանում է 1,4—3,5 անգամ, երբ ջերմաստիճանը բարձրացվում է 15-ից մինչև 25°:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Чепик М. Н., Христофоров Б. С. Лаборант-аналитик свинцово-цинковых заводов, М., 1965.
2. Абрамян А. В. Промышленность Армении, 6, 11, 1972.
3. Камалов М. Р., Джусупова А. Б., Стуканов В. А. Рукоп. деп. в ВИНТИ, № 2361—77, 14.6.1977.
4. Каравайко Г. И. Микробиология, 35, 6, 1004, 1966.
5. Каравайко Г. И., Мошнякова С. А. Микробиология, 40, 3, 551, 1971.
6. Silverman M. P., Lundgren D. G. J. Bacteriol., 77, 642, 1959.
7. Товмасян К. Н., Катарьян Б. Т. Инф. листок АрмНИИНТИ. Цв. металлургия, сер. 09Б-07, 3, 1977.