

УЧАСТИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРОЦЕССАХ
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕТАЛЛОВ НА КАФАНСКОМ
И КАДЖАРАНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

С. Т. ШАХНУБАРЯН. С. Г. САРУХАНИЯН

Установлено, что на Кафанском медно-колчеданном месторождении железокисляющие тионовые бактерии группы *Thiobacillus ferrooxidans* активно выщелачивают медь и железо. На Каджаранском медно-молибденовом месторождении выявлено медленное, но постоянное биогенно-химическое выщелачивание молибдена. Повсеместное и преобладающее присутствие здесь серуокисляющих бактерий группы *Thiobacillus thio-parus* дает основание предполагать участие этих бактерий в выщелачивании молибдена.

Ключевые слова: выщелачивание молибдена, меди, тионовые бактерии.

Тионовая бактерия *Th. ferrooxidans* окисляет практически все известные сульфидные минералы, способствуя выщелачиванию металлов в природе [5, 7, 10, 11]. Однако микрофлора различных рудных месторождений, в том числе и многие другие тионовые бактерии, изучена слабо.

С целью выделения культур, активно выщелачивающих медь и молибден, нами в 1977—1978 гг. обследовались Кафанское и Каджаранское рудные месторождения Армении. По некоторым рудным месторождениям Армянской ССР ранее уже были проведены микробиологические исследования [2, 3, 8]. Каджаранское медно-молибденовое месторождение в микробиологическом аспекте изучается впервые.

Материал и методика. Кафанское и Каджаранское рудные месторождения расположены недалеко друг от друга в юго-восточной части Армянской ССР, в гористой местности и имеют почти одинаковые климатические условия: для них характерен сухой, жаркий климат и слабая обводненность. Тем не менее геологически Каджаранское медно-молибденовое месторождение отличается от Кафанского медно-колчеданного, особенно присутствием значительного количества глинистых шламов и карбонатов, которые обуславливают слабощелочную кислотность (рН 7,4—7,9). Кафанское месторождение разрабатывается шахтным способом, Каджаранское—открытым.

При микробиологических анализах руд и рудничных вод Кафанского и Каджаранского месторождений основывались на методах выделения и учета микроорганизмов, приведенных в руководствах [4, 6, 9]. Для учета микроорганизмов, главным образом тионовых бактерий, применяли метод предельных десятикратных разведений на жидких питательных средах Сильвермана и Люндгрена, Ваксмана и Бейеринка. Кроме того, на указанных агаризованных средах, а также на полноценных средах агара из каждой анализируемой пробы производили высевы, что подтверждало присутствие микроорганизмов и служило способом получения культур для дальнейших исследований.

Содержание металлов в рудничных водах определялось в центральной аналитической лаборатории Армнипроцветмета: медь—объемным методом или полярографически, молибден—фотокolorиметрически, железо—объемным или фотокolorиметрическим методом.

Реакцию анализируемых проб измеряли прецизионным рН-метром типа ОР-205.

Результаты и обсуждение. В табл. 1 и 2 приводятся выборочные результаты микробиологических анализов некоторых проб из указанных месторождений.

Таблица 1

Микрофлора образцов руды и рудничной воды Кафанского месторождения, число микробов на г и мл (время обследования—март 1977 г.)

№№ проб	Происхождение и характеристика образцов	рН	Бактерии группы		Грибы микроскопические—пенициллы, аспергиллы и др.
			<i>Th. ferrooxidans</i>	<i>Th. thio-parus</i>	
1	Образец руды отвала Шаумяна (нижний гор., глубина: по вертикали—60, по горизонтали—30 см)	2,6	10 ⁶	0	1—10
4	Образец руды отвала Старый (у бывш. кап. штольни, средн. гор., глубина та же)	3,1	10 ⁴	0	0
5	Образец руды рудника (юж. участок, гор. 805, жила 52, внизу рудоспуска)	2,0	10 ⁶	0	0
6	Рудничная вода рудника (рядом с пробой 5, капез)	2,4	10 ⁵	0	1—10
7	Образец руды и воды рудника (юж. участок, гор. 805, жила 1, место старых работ; сильно-окисленная влажная руда)	2,5	10 ⁷	0	1—10
10	Рудничная вода рудника (на выходе старой кап. штольни, сильный родник)	2,8	10 ³	0	0
11	Образец руды рудника (юж. участок, гор 862, жила 1—11, свежееотбитая руда)	7,1	10	10 ³	0

Как показали результаты анализов, Кафанское месторождение в достаточно большом количестве обсеменено основной культурой, участвующей в окислении сульфидных минералов—*Th. ferrooxidans*. В отвалах и в самом руднике имеются участки, где плотность бактерий группы *Th. ferrooxidans* достигает 1—10 млн клеток в 1г руды. В рудничных водах они присутствуют в сравнительно меньшем количестве, до 100 тыс. клеток в 1 мл. Это во многом зависит от характера рудного тела, через которое просачиваются воды, обводненности участка, скорости течения и т. д.

Эти микроорганизмы выявляются и достаточно активны даже в старом отвале—50—70-летней давности; лишь в поверхностном слое его, на глубине 20—30 см, превратившемся в каолинизированную массу, они встречаются единично, либо вовсе отсутствуют. В пробах с низкими значениями рН бактерии из группы *Th. thio-parus* отсутствовали, но в свежееотбитой руде и в самом рудном теле со слабощелочным рН

Микрофлора образцов руды и рудничной воды Каджаранского месторождения,
число микробов на г и мл (анализы в течение 1977—1978 гг.)

№ № проб	Происхождение и характеристика образцов	рН	Температура воздуха	Бактерии группы		Грибы микроскопические — пенициллы, аспергиллы и др.
				<i>Th. ferrooxidans</i>	<i>Th. thloparus</i>	
1	Рудничная вода карьера (сев. рудоспуск, гор. 2070, очень слабый родник)	7,7	0—5	10	5×10^4	0
7	Рудничная вода карьера (сев. рудоспуск, гор. 2070, слабый родник)	7,5	20—25	0	10^5	0
8	Образец руды карьера (сев. рудоспуск, гор. 2070, из поверх. окисл. влажной рудной массы)	7,4—7,9	20—25	10^2	10^6	10—100
6	Образец руды карьера (свежеотбитая руда попутной добычи)	7,4—7,9	0—5	0	10^6	1—10
15	Образец руды карьера (свежеотбитая руда попутной добычи)	7,4—7,9	—4+3	0	10^5	1—10
11	Рудничная вода карьера (транс. штольня 36, капек)	7,2	12—15	0	5×10^6	10—100
12	Рудничная вода карьера (выход старой кап. штольни, сильный сток)	6,8	—4+3	0	10^4	10—100
5	Образец руды отвала (№ 2, средний гор., глубина: по вертикали—40, по горизонтали—20 см)	7,4—7,9	0—5	5×10^4	10^5	10—100
13	Образец руды отвала (сев.-запад., гор. 2100, глубина: по вертикали—3 м, по горизонтали—30 см)	7,4—7,9	—4+3	0	10^3	1—10

они обнаруживаются в количестве до 1000 клеток в 1 г руды. Хотя, по имеющимся литературным данным, роль серуоокисляющих тионовых бактерий, развивающихся при высоких значениях рН, в окислении сульфидных месторождений незначительна, тем не менее наличие их в рудном теле дает основание предполагать участие в начальных процессах окисления сульфидных руд.

При микробиологических анализах редко выявлялись пенициллы, аспергиллы и другие микроскопические грибы, которые, вероятно, в рудных месторождениях играют общегеохимическую роль.

Следует отметить также, что при выделении *Th. ferrooxidans* на твердой среде 9К (Сильвермана и Лjungрена) иногда встречали его гетеротрофного спутника—культуру бактерий, хорошо растущую в подкисленной полноценной агаризованной среде (с образованием красноватого пигмента), которая не утрачивала жизнеспособности при начальных пересевах на агаре 9К. О подобных бактериях имеются сведения в работе Заварзина [1].

Нам не удалось установить присутствие *Thiobacillus thiooxidans* в анализируемых пробах: в среде Ваксмана бактерии *Th. ferrooxidans* росли нормально, что и затрудняло учет и выделение *Th. thiooxidans*.

При химических анализах рудничных вод (табл. 3) было обнаружено немалое количество меди (0,055—1,75 г/л) и железа (0,01—6,36 г/л), тогда как молибдена почти не было, что и следовало ожидать.

Таблица 3

Содержание металлов в обследованных рудничных водах, мг/л

Кафанское месторождение				Каджаранское месторождение			
№№ проб	медь	молибден	железо	№№ проб	медь	молибден	железо
6	1750	<0,6	6360	1	<2	13	<1
7	480	<0,6	10	3	<2	8	<1
9	1150	<0,6	1280	4	<2	<0,6	<1
10	55	<0,6	490	7	<2	8	<1
12	630	<0,6	900	9	<2	7	<1
				11	<2	2,2	<1
				12	<2	<0,6	<1
				16	<2	5,5	<1
				19	<2	1,6	<1

Таким образом, присутствие большого количества железоокисляющих тионовых бактерий и высокая активная кислотность (рН достигает 2,0) подавляющего большинства проанализированных проб, а также обогащенность рудничных вод медью и железом указывают на наличие активных окислительных биогенно-химических процессов на Кафанском месторождении.

Результаты микробиологических исследований образцов Каджаранского месторождения, характеризующихся слабощелочной реакцией (табл. 2), показали, что как на карьере, так и в отвалах основными микроорганизмами являются серуоокисляющие группы *Th. thioparvus* в количестве, чаще всего, 0,1—1 млн. клеток в 1 г руды или 1 мл руднич-

ной воды. На Каджаранском месторождении серуоокисляющие бактерии группы Th. thioparus жизнедеятельны в течение всего года, хотя интенсивное развитие их наблюдается в летний период, когда температурные условия более благоприятны.

Обсемененность железоокисляющими бактериями группы Th. ferrooxidans довольно низкая—0—100 клеток на 1 г руды или 1 мл воды. Это говорит о том, что на Каджаранском месторождении эта культура не играет существенной роли; в подобных случаях, как известно, предполагается, что она жизнедеятельна в микрizonaх рудного тела.

В анализированных пробах Каджаранского месторождения часто встречались также микроскопические грибы—пенициллы, аспергиллы и другие. Однако число всех жизнеспособных грибов (при высевах) на 1 г руды или 1 мл воды не превышало 100, что свидетельствует о второстепенной роли их в процессе окисления сульфидных минералов.

Химический анализ рудничных вод показал, что в зависимости от происхождения, характеристики самих вод (табл. 2) в них содержится молибден от <0,6 до 13 мг/л, тогда как медь и железо почти отсутствуют, составляя <2 мг/л и <1 мг/л соответственно (табл. 3).

Таким образом, повсеместное и преобладающее присутствие серуоокисляющих бактерий группы Th. thioparus (число клеток в 1 г руды или 1 мл воды составляет 0,1—1 млн), а также наличие молибдена в рудничных водах дает основание считать, что на Каджаранском медно-молибденовом месторождении происходит, хотя и медленный, но постоянный процесс бактериально-химического выщелачивания молибдена.

Армянский НИИпроцветмет

Поступило 26.V 1980 г.

ՂԱՓԱՆԻ ԵՎ ՔԱԶԱՐԱՆԻ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԵՐՈՒՄ
ՄԻԿՐՈՐԳԱՆԵՉՄԱՆԻ ՄԱՍՆԱԿՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ
ԼՎԱՑԱԶԵՐԾՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐՈՒՄ

Ս. Տ. ՇԱՀՆՈՒԹԱՐՅԱՆ, Ս. Գ. ՍԱՐԻԿԱՆՅԱՆ

Ուսումնասիրություններից պարզվել է, որ Ղափանի պղինձ-կոլչեղտնային հանքավայրում երկաթօքսիդացնող թիոնային Thiobacillus ferrooxidans բակտերիաները կենսագործում են պղինձի և երկաթի լվացադերծման ակտիվ պրոցեսներ: Քաջարանի պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրում բացահայտված է մոլիբդենի դանդաղ, բայց մշտապես ընթացող բիոգենաքիմիական լվացադերծում: Ծծումբ օքսիդացնող Th. thioparus խմբի բակտերիաների ամենուր ու գերակշռող ձևով հանդես դալն այստեղ (1 գր հանքաքարում կամ 1 մլ հանքաջրում բջիջների թիվը կազմում է 0,1—1 մլն) հիմք է տալիս ենթադրելու, որ հենց այդ բակտերիաներն են մասնակցում մոլիբդենի լվացադերծմանը:

PARTICIPATION OF MICROORGANISMS IN METAL LEACHING PROCESSES AT KAPHAN AND KADJARAN DEPOSITS

S. T. SHAKHNUBARIAN, S. G. SARUKHANIAN

It has been established that active leaching of copper and iron at Kaphan chalcopyrite deposit is realized mainly by iron-oxidizing bacteria *Thiobacillus ferrooxidans*. Slow, but constant biogenous and chemical leaching of molybdenum at Kadjaran copper-molybdenum deposit has been revealed. General and prevalent presence of sulphur-oxidizing bacteria of *Thiobacillus thioparus* group (number of cells in 1 g of ore and 1 ml of water is equal to 0,1—1 million) allows to suppose the participation of these bacteria in molybdenum leaching process.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Заварзин Г. А. Литотрофные микроорганизмы. М., 1972.
2. Иванов М. В., Ляликова Н. Н., Кузнецов С. И. Изв. АН СССР, сер. биол., 2, 1958.
3. Каравайко Г. И. Микробиология, 35, 1004, 1966.
4. Каравайко Г. И., Кузнецов С. И., Голожик А. И. Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд. М., 1972.
5. Каравайко Г. И. Автореф. докт. дисс., М., 1973.
6. Кузнецов С. И., Романенко В. И. Микробиологическое изучение внутренних водоемов (лабораторное руководство). М.—Л., 1963.
7. Ляликова Н. И. Микробиология, 29, 382, 1960.
8. Маркосян Г. Е. Биол. ж. Армении, 25, 26, 1972.
9. Мейнелл Дж., Мейнелл Э. Экспериментальная микробиология. М., 1967.
10. Bryner I. C., Beck J. V., Davis D. B., Wilson D. G. Ind. Eng. Chem., 46, 2587, 1954.
11. Razzell W. E. and Trussell P. C. Appl. Microbiol., 11, 105, 1963.