

УДК 622.271

А.Т. КАНАЕВ, Т.К. БЕКБАУОВ, С.С. НУРКЕЕВ,
З.К. КАНАЕВА, К.А. МАХАТАЕВА, М.Р. КАМАЛОВ

РОЛЬ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ОБЪЕКТАХ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ УЧАСТИЯ В ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ

(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы)

Приведены результаты изучения роли микроорганизмов на объектах кучного выщелачивания урана на РУ-1 Шантюбинского месторождения и возможности их участие в окислительных процессах.

Наибольшее распространение в месторождении Шантюбе, получило кучное выщелачивание урановых руд, как просто химическое, так и бактериально-химическое. По глубине отвалов и куч микроорганизмы распространены на 5-8 м, что объясняется наличием кислорода. В хорошо аэрируемых отвалах микроорганизмы обнаруживаются по всей высоте отвалов куч, это позволяет говорить об активном протекании в массе руд окислительно-восстановительных процессов с участием микроорганизмов, что в свою очередь значительно расширяет извлечение урана из отвалов.

Материалы и методика

Для выполнения химических анализов твердые и жидкие пробы отбирали в соответствии с руководством Романенко, Кузнецова [1]. В работе использовались ацидофильные бактерии *Thiobacillus ferrooxidans* штамм АТК, имеющиеся в коллекции лаборатории биогеотехнологии металлов НИИ проблем экологии. Количество бактерий определяли методом предельных серийных разведений с высевом на жидкие питательные среды [2]. Культивирование этих бактерий осуществлялось на жидкой питательной среде 9К Сильвермана и Лундгрена.

Адаптацию бактерий проводили на средах с добавлением растворов, полученных при промышленном выщелачивании урана, с различным содержанием ионов металла.

В опытах по выщелачиванию руд ионы железа в растворах определяли трилонометрическим методом [4]. Для измерения концентрации урана, молибдена и серной кислоты в растворах и в твердых материалах использовали общепринятые методы для уранодобывающих объектов нашей республики.

Результаты исследований

Целью работы – изучение ацидофильных железно- и сероокисляющих микроорганизмов на объектах кучного выщелачивания урана (в рудном теле, технологических растворах) и возможности их участие в окислительных процессах.

Для лабораторных геотехнологических исследований были отобраны технологические пробы месторождений РУ-1. На объектах кучного выщелачивания Шантюбе для получения урана из низко содержащих руд широко используется в качестве технологического раствора 1,5-2,0% раствор серной кислоты. Технологический раствор после орошения, содержащий в составе 0,1 г/л урана подвергается к процессу сорбции. Тем не менее, процесс считается не завершенным, так как в маточном растворе после сорбции остается до 0,01г/л урана.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что во всех вариантах бактериального выщелачивания в продуктивных растворах установок содержится от 10^2 до 10^7 кл/мл бактерий *T.ferrooxidans*, окисляющих Fe^{2+} , S^0 и сульфидные минералы. Солевой состав всех растворов, особенно наличие аммонийного азота в количестве от 10-до 30 мг/л, способствует развитию железноокисляющих бактерий до 10^7 кл/мл (табл.1). Известно, что в природе энергичный вынос урана из пород происходит в условиях окисления пирита. Не умаляя роль бактерий в этих процессах, стоит отметить, что ведущая роль принадлежит окисному железу, который окисляет четырех валентный уран до шестивалентного. А основная функция бактерий в этих процессах заключается в регенерации трехвалентного железа при окислении железа или пирита, а так-

же в каталитическом ускорении процесса. Однако сероокисляющие бактерий *T.thiooxidans* выявлены в незначительном количестве – 10^3 кл/мл, а в растворах испарительных карт – отсутствовали.

Таким образом, при обследований различных участков кучного выщелачивания были выделены железо и сероокисляющие бактерий более 10 млн. клеток в одном мл раствора. Как известно, источником питания в энергетическом обмене для этих бактерий является восстановленные формы железа и серы, которые в руде встреча-

ются в форме минерала – пирита. Эти микроорганизмы в кислой среде, где $10-20$ г/л H_2SO_4 , интенсивно окисляют пирит до трехвалентного железа и серной кислоты. Растворы трехвалентного железа взаимодействуют с различными минералами, в том числе с минералами четырехвалентного урана и восстанавливается до двухвалентной формы железа и оно снова окисляется бактериям. Известно, что в таких условиях химическое окисление железа кислородом воздуха не происходит.

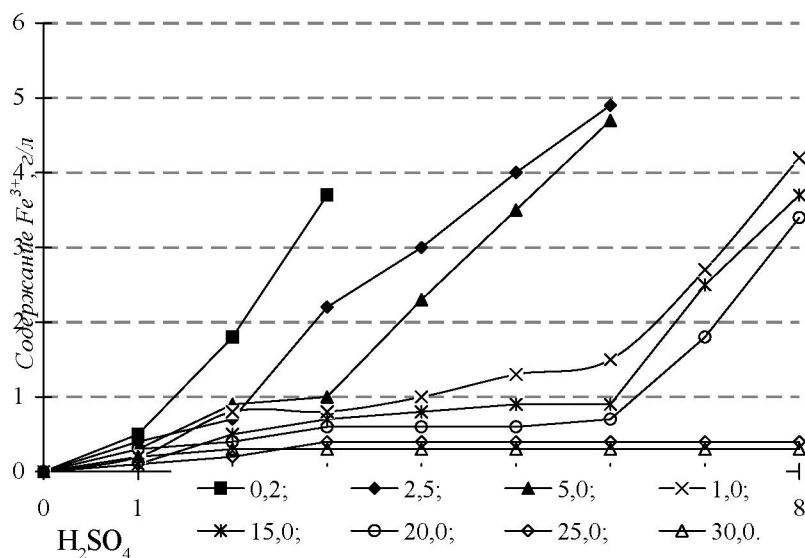
Таблица 1. Химический состав растворов различных участков кучного выщелачивания урана

№ п/п	Место отбора проб	Содержание в растворах, г/л									
		ph	H ₂ SO ₄	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Fe ^{общ}	уран	Mo	NH ₄ ⁺	<i>T.ferrooxidans</i> , кл/мл	<i>T. thiooxidans</i> , кл/мл
1	Раствор под штабелем 4 (отработанный)	2,18	0,48	2,58	0	2,52	0,067	0,033	0,28	10^7	10^3
2	Раствор под штабелем 6	1,56	2,9	6,3	0	6,3	0,042	0,073	0,20	10^7	10^3
3	Раствор под штабелем 5	1,63	2,4	6,3	0,1	6,4	0,086	0,072	0,26	10^7	10^3
4	Магочный раствор	1,77	1,3	4,48	0,35	4,83	0,017	0,016	-	10^5	0
5	Карта №1 (раствор)	1,17	5,8	9,38	0	9,38	0,042	0,033	0,30	10^2	0
6	Карта №2 (раствор)	1,96	0,92	2,52	0	2,52	0,11	0,008	0,24	10^3	0
7	Карта №3 (раствор)	1,42	3,9	5,25	0	5,25	0,011	0,043	0,24	10^3	0
8	Карта №2\4 (раствор)	1,60	2,4	1,3	0	1,3	0,016	0,028	0,20	10^2	-
9	Карта №5(раствор)	1,74	1,5	5,6	0	5,6	0,028	0,025	0,21	10^3	-

Как показали результаты анализов, содержание молибдена в продуктивных растворах доходит до 0,07 г/л, и после сорбции снижается до 16 мг/л. Благодаря окислительной деятельности бактерий *T.ferrooxidans*, во всех растворах железо находится в трехвалентной форме, и концентрация его в продуктивном растворе доходит до 6,4 г/л.

Влияние концентрации различных ионов на скорость окисления железа. При многократном использовании оборотных растворов постепенно накапливаются различные ионы, такие как молибден, уран, железо, марганец в кислой среде содержащие от 5 до-20 г/л серной кислоты.

Одним из ценных компонентов урановых руд Шантубе является молибден. Перевод в серноокислотный раствор молибдена, присутствующего в виде молибденита, связан с трудностями, так как обычно применяемые при выщелачивании урановых руд окислители (пирролюзит, ионы трехвалентного железа) неэффективны по отношению к молибдениту. Если учесть ацидофильные бактерий *T.ferrooxidans* способны окислять молибденит в кислой среде тогда бактериальные растворы могут ускорить извлечение молибдена из урановых руд при обычных условиях.

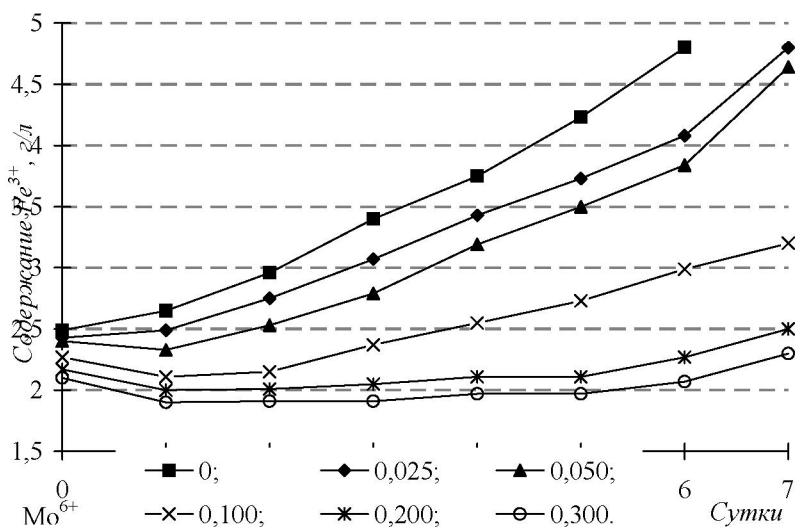
Рис. 1. Влияние концентрации H₂SO₄ на активность *T. ferrooxidans*.

Для изучения влияний этих ионов в опыте использовали чистые соли молибдата аммония ((NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O), сернокислого марганца. В начале опыта приготовили среду 5К содержащий до 5 г/л железа, 2 г/л серной кислоты и 10⁸ кл/мл бактерии *T. ferrooxidans*. Для определения влияния серной кислоты на железоокисляющую активность бактерий приготовили растворы с различной концентрацией серной кислоты от 0,2 г/л - по 30 г/л (рис.1).

В 90 мл среды содержащей определенную концентрацию кислоты добавляли 10 мл инокулята и агитировали на качалке в течение 8 суток. Как видно из данных рис. 1, испытуемый штамм бактерий более активно окислял железо

до концентрации кислоты до 5 г/л. Дальнейшее повышение концентрации кислоты заметно снижало окислительную активность бактерий и при концентрации 15-20 г/л серной кислоты окислялись до 75% железа.

Также изучали влияние различной концентрации молибдена на скорость окисления железа штаммом бактерий *T. ferrooxidans*. Для этого использовали среду Сильвермана и Лундгрена с содержанием 25-300 мг/л Мо. Как видно из рис.2, испытуемый местный штамм *T. ferrooxidans* не теряет свою активность при концентрации 50 мг/л Мо. Дальнейшее повышение концентрации молибдена (100-300 мг/л) заметно снижает активность *T. ferrooxidans*.

Рис. 2. Влияние концентрации молибдена на активность *T. ferrooxidans*

Таким образом, местный штамм *T.ferrooxidans* был адаптирован к условиям кучного выщелачивания, т.к. в технологических растворах содержание молибдена было в количестве 25-30 мг/л. Как известно из литературных

данных бактерий *T.ferrooxidans* инактивировались при концентрации молибдена 10-12 мг/л.

В промышленных испытаниях на отвал урансодержащих забалансовых руд Шантюбе с целью окисления Fe^{2+} и U^{4+} в сернокислотный раствор добавляют пиролюзит (MnO_2).

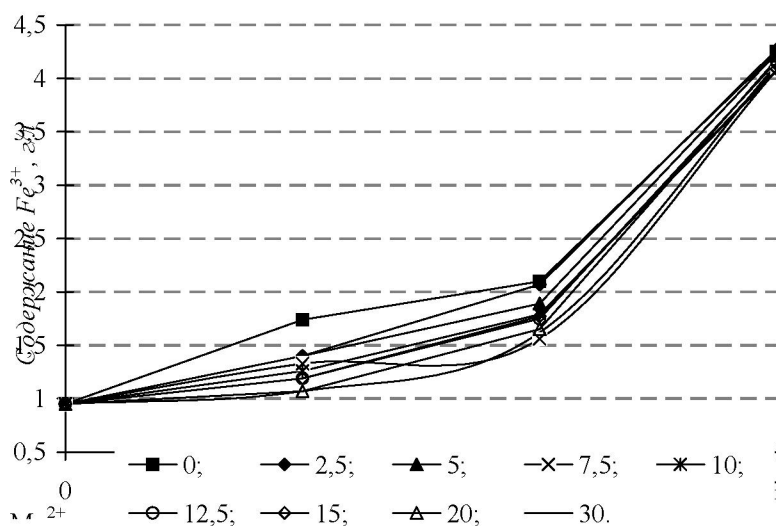


Рис. 3. Влияние ионов марганца (Mn^{2+}) на активность штамма *T.ferrooxidans*

В связи с этим нами были изучены влияние различных концентрации (0,025-0,300 мг/л) Mn^{2+} на активность штамма *T.ferrooxidans* (рис.3). Результаты опытов показали, что выше указанный интервал концентрации Mn^{2+} особо не влияет на активность *T.ferrooxidans*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романенко В.Н., Кузнецов С.Н. Экология микроорганизмов пресных водоемов //Л.,1974.С. 194
2. Каравайко Г.И., Росси Д.Ж., Агате А. и др. Биогеотехнология металлов. Практическое руководство. М.1989. 374 с.
3. Родина А.Г. Методы водной микробиологии // М., Л., 1965. С.363.

4. Каравайко Г.И., Кузнецов С.И., Голомзик А.И. Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд //М., 1972. С. 248.

Резюме

Шантюбе уран кенорнында үйінді тәсілі бойынша өндірілетін кеннің құрамынан бөліп алынған *T.ferrooxidans* штамм АТК-ның белсенділігіне сол ортадағы металдардың әртүрлі концентрациясының әсері қарастырылған.

Summary

This article presents investigation about influence of different metal concentrations in medium on activity of *T.ferrooxidans shtamm-ATK* strain which was secured from uranium ore in Shantobe uranium mine by heap leaching method.