

СИНЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРООРГАНИЗМОВ УЧАСТКА КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

Канаева З.К., Канаев А.Т.

На протяжении многих лет природные комплексы Республики Казахстан активно осваиваются человеком. В результате многообразного хозяйственного воздействия структура и состояние природных комплексов подвергались существенной перестройке. Соотношение скульптурных и аккумулятивных форм рельефа в процессе техногенеза в каждом конкретном случае зависит от вещественного состава пород и региона расположения месторождений. В этой связи, мы изучали микробоценоз месторождений «Восток».

Казахстан является крупнейшей сырьевой базой по добыче урана в мире, поэтому изучение роль микроорганизмов, осуществляющих, окисление сульфидных минералов представляется, весьма актуальным.

В данной работе представлен материал о качественном и количественном составе микроорганизмов участка кучного выщелачивания забалансовых урансодержащих руд.

Цель исследований – изучение микробного населения руд и сернокислых растворов участка кучного выщелачивания отвалных руд уранового месторождения «Восток». Известно, что разработку месторождений производят различными способами, и они могут оказывать влияние на численность и состав микробных комплексов.

Материалы и методы исследований

Объекты исследования. Урановое месторождения «Восток» РУ-1 Степногорского горно-химического комбината (СГХК).

- куча забалансовых и окисленных урансодержащих руд;
- раствор из под отвалами объектов кучного выщелачивания;
- раствор испарительной карты.

Методы исследования. При подготовке к эксперименту отбирали пробы растворов (в бутылки 0,5-1 л.) с учетом лабораторного определения их щелочности-кислотности (рН), окислительно-восстановительного потенциала (Eh), а также химического состава, входящих в характеристику среды. В работе для определения содержания Me был использован атомно-сорбционный метод исследования /1/.

Изучение количественного и качественного состава микрофлоры исследуемых нами месторождений проводилось по общепринятым методикам, путем высева соответствующих проб руды или растворов на питательные среды. Пробы рудных вод при обследованиях отбирались стерильно, в соответствии с имеющимися руководствами. Подсчет количества микроорганизмов проводили методом предельных разведений испытуемых вод или болтушек на элективных средах в двух - трехкратных повторностях.

Культуру бактерий *Acid.ferrooxidans* выращивали на среде 9К Сильвермана и Лундгрена.

Для получения накопительной культуры *T.hiooxidans* в жидкую питательную среду Ваксмана с серой засеивали пробами рудничной воды или руды и инкубировали в термостате при 28-30° С. Через 3-4 дня появляется помутнение среды, а рН ее снижается.

Определение Fe^{+2} и Fe^{+3} проводилось объемным трилонометрическим методом /2/ в технических растворах, которая распределялась на измерение содержания железа в растворах в диапазоне от 0,1-10 г/л.

Опыты проводили в колбах объемом 200 мл., на качалке при обороте 180 об/мин, температура среды составлял 28-30°С.

Результаты исследований

Руды месторождения «Восток» относятся к комплексным ураномолибденовым. Кроме основного компонента урана, практическое значение имеет молибден, содержание которого связано с распределением урана корреляционной зависимостью, тенденция такова, что доля основного металла в руде уменьшается с понижением глубины отработки рудной залежей месторождения. Содержание молибдена в руде изменяется от тысячных долей процента в рядовых и бедных рудах до десятых в богатых, составляя в среднем 0,038 г/л.

Забалансовые, бедные и окисленные виды урансодержащих руд месторождения «Восток» складировать штабелями на предварительно подготовленную резиновую подложку. На поверхность созданный таким образом кучу, где проводит кислотное орошение, в качестве окислителя обычно применяет 1,5-2,0% раствора серной кислоты, как технологический раствор. Полученный после орошения технологический раствор с низким содержанием урана, как продуктивный раствор, содержащий 0,1 г/л U, поступают на сорбцию. После адсорбции урана в растворе остается в количестве до 0,01 г/л U, и его называют маточным раствором.

Как показали результаты химического анализа (табл. 8), кислотность раствора составляет в пределах рН 1,17-2,18. Высокий показатель кислотности наблюдается в отобранном растворе из под штабеля №4 (отработанный) – рН 2,18. Низкие значение (рН 1,17) приходит раствору испарительной карты №1. Содержание молибдена изучаемого нами в продуктивном растворе встречается до 0,07 г/л Мо. Во всех исследуемых растворах железо находится в трехвалентной форме, и концентрация его в продуктивном растворе доходит до 6,4 г/л Fe^{3+} . Присутствие железа в основном в трехвалентной форме не без участия *A.ferrooxidans*.

Содержания окиси кремния (SiO_2) наблюдается в растворе штабеля №5 в количестве 0,47 г/л и в небольшом количестве (0,062 г/л) встречается в маточном растворе.

С накоплением углерода в руде связано накопление и многих других элементов, сорбируемых органическим веществом и осаждающихся в

виде нерастворимых карбонатов. Количество углерода в растворах штабеля №5 и маточных растворах составляет 0,095 г/л.

Таблица 1 - Химический состав растворов на участках КВ урана РУ-1

Место отбора раствора	Содержание в растворах, г/л									NH ₄ ⁺ мг/л
	H ₂ SO ₄	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Fe _{общ}	U	Mo	SiO ₂	SO ₄ ²⁻	C _{орг}	
Штаб. № 4 (отр.)	0,48	2,58	0	2,58	0,067	0,033	-	31,92	-	28
Штаб. № 5	2,4	6,3	0,1	6,4	0,086	0,072	0,47	62,4	0,095	26
Штаб. № 6	2,9	6,3	0	6,3	0,042	0,073	-	57,6	-	20
Маточ. раств.	1,3	4,48	0,35	4,83	0,017	0,016	0,062	43,6	0,095	-
Карта №1	5,8	9,38	0	9,38	0,042	0,033	-	110,4	-	30
Карта №2	0,92	2,52	0	2,52	0,011	0,008	-	50,4	-	24
Карта №3	3,9	5,25	0	5,25	0,011	0,043	-	50,4	-	24
Карта № 4	2,4	1,3	0	1,3	0,016	0,028	-	55,2	-	20
Карта №5	1,5	5,6	0	5,6	0,028	0,025	-	122,4	-	21

Сульфаты — минералы, соли серной кислоты H₂SO₄. В их кристаллической структуре обособляются комплексные анионы SO₄²⁻. Наиболее характерны сульфаты сильных двухвалентных оснований, особенно Ba²⁺, а также Sr²⁺ и Ca²⁺. Более слабые основания образуют основные соли, часто весьма неустойчивые (например сульфаты окисленного железа), более сильные основания — двойные соли и кристаллогидраты. Как наблюдаем из табл.1, количество сульфата в исследуемых растворах преобладает. Диапазон их количества разные, минимальное количество содержится в растворе под штабелями №4 (отработанный раствор)-31,92 г/л. Максимальное содержание встречается в растворе карты №5 - 122,4 г/л.

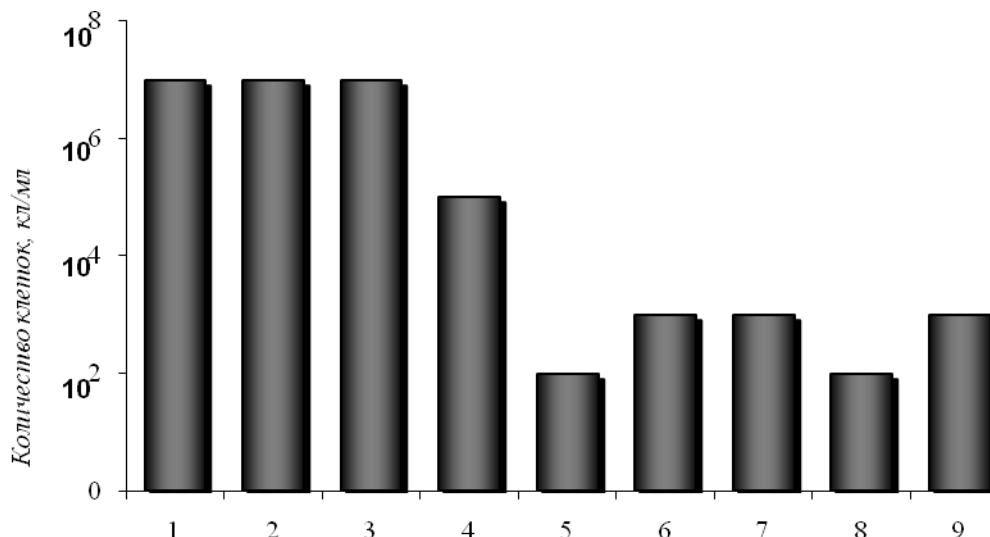
Аммоний - комплексный неорганический катион, в соединениях играет роль одновалентного металла. Соли аммония содержатся во всех исследуемых растворах в количестве от 20,0 мг/л до 30,0 мг/л, кроме маточного раствора.

Для оценки эффективности бактериального выщелачивания, необходимо знать, какие микроорганизмы присутствуют в изучаемой дробленой руде, подвергшейся выщелачиванию. Прогноз и контроль микрофлоры затруднены там, где нет достаточных экспериментальных данных. Однако, существует несколько путей модификации состава микрофлоры во время промышленных операций, например, регулирование величины рН и Eh выщелачивающего раствора, изменение его состава. Иногда на концентрацию некоторых солей в выщелачивающем растворе воздействуют химические вещества, имеющиеся на месторождении.

Нами были проведены микробиологическое исследование растворов, вытекающих под штабеля и испарительных карт с целью лучше представить микробиологическую обстановку, в которой происходят процессы окисления урансодержащих руд.

Было предположение, что урансодержащим рудам на объектах КВ более свойственны микроорганизмы семейства серобактерий, то есть тионовых бактерий, окисляющих серу и соединения серы (сульфиды). Поэтому, больше внимание обращали на изучения видового и количественного состава представителей следующих видов хемолитоавтотрофных бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Sulfobacillus acidocaldarius* в условиях КВ урана. Пробы для исследования отбирали из растворов под штабелями № 4, № 5, № 6 и из испарительных карт №№ 1 - 5 участка кучного выщелачивания урана месторождения «Восток» РУ-1 Степногорского горно-химического комбината.

Важной характеристикой руды, подвергаемой кучному выщелачиванию, является проницаемость ее в штабеле. Наличие в руде большого количества тонких фракций (глины, шламы) ухудшает фильтрацию, приводит к образованию закупоренных зон внутри штабеля и каналов, что снижает извлечение ценного компонента и увеличивает продолжительность выщелачивания. Как видно из рис. 1, температура раствора под штабелем составлял 17,0°C, это является температурой ниже оптимального роста для культуры, но тем не менее количество клеток *Acid.ferrooxidans* составляет 10⁷ кл/мл, кислотность среды – рН 2,18.

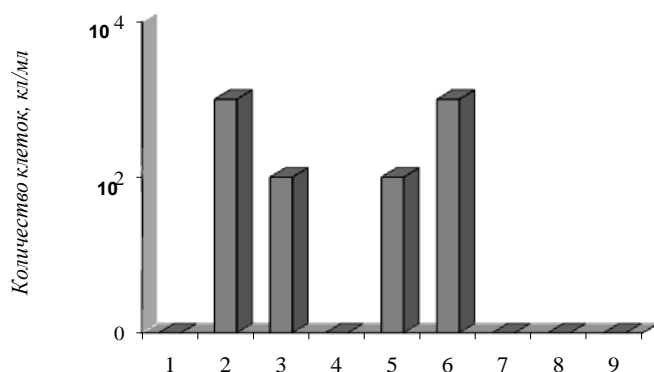


Примечание: 1- раствор под штабелем №4 (рН 2,18; t-17,0°C); 2- раствор под штабелем №5 (рН 1,63; t-18,0°C); 3- раствор под штабелем №6 (рН 1,56; t-18,5°C); 4- маточный раствор (рН 1,77; t-20,0°C); 5- раствор испарительной карты №1 (рН 1,17; t-19,5°C); 6- раствор испарительной карты №2 (рН 1,17; t-19,0°C); 7- раствор испарительной карты №3 (рН 1,42; t-21,0°C); 8- раствор испарительной карты №4 (рН 1,60; t-20,0°C); 9- раствор испарительной карты №5 (рН 1,74; t-21,0°C).

Рисунок 1 - Численность *Acid.ferrooxidans* в растворах на участке кучного выщелачивания урана РУ-1

Анализируя данные о численности *Acid.ferrooxidans*, основных показателей степени окислительно-восстановительных процессов в испарительных картах, необходимо отметить, что они встречались в растворах в незначительных количествах - от 10^2 до 10^3 кл/мл. Такая малая численность, по-видимому, была связана с низкой аэрацией раствора испарительной карты. Возможно, что в застойных кислых растворах, скопившихся на испарительных картах, солнечные лучи оказывают ингибирующее или даже стерилизующее действие на клетки бактерий *Acid.ferrooxidans*. В растворах под штабелем №5 (pH 1,63; t-18,0°C), №6 (pH 1,56; t-18,5°C) их количество достигает 10^7 кл/мл, тогда как в маточном растворе составляет – 10^5 кл/мл.

Анализируя данные о численности бактерий *Leptospirillum ferrooxidans* (рис. 2) – одним из основных показателей степени окислительно-восстановительных процессов, необходимо отметить, что они встречались в растворах редко и в незначительных количествах.



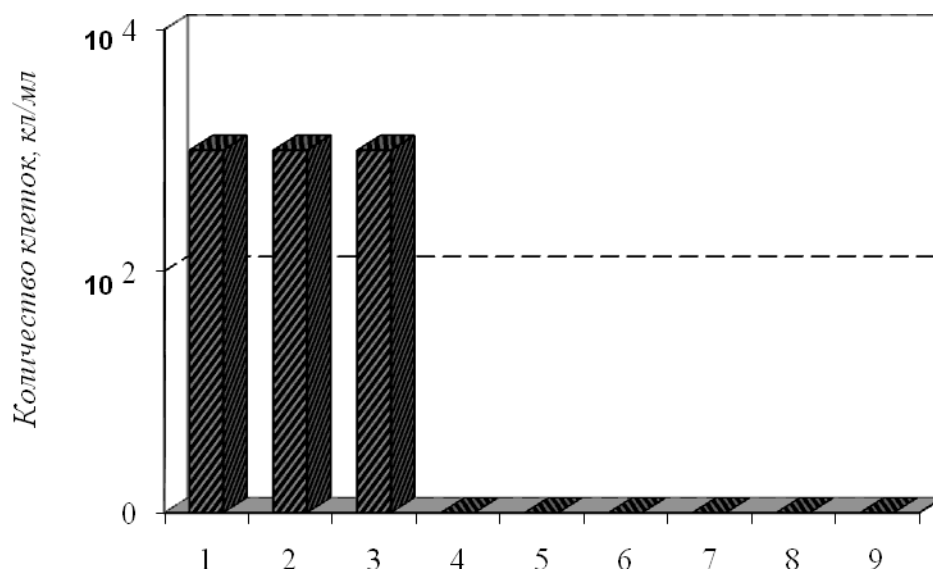
Примечание: 1- раствор под штабелем №4 (pH 2,18; t-17,0°C); 2- раствор под штабелем №5 (pH 1,63; t-18,0°C); 3- раствор под штабелем №6 (pH 1,56; t-18,5°C); 4- маточный раствор (pH 1,77; t-20,0°C); 5- раствор испарительной карты №1 (pH 1,17; t-19,5°C); 6- раствор испарительной карты №2 (pH 1,17; t-19,0°C); 7- раствор испарительной карты №3 (pH 1,42; t-21,0°C); 8- раствор испарительной карты №4 (pH 1,60; t-20,0°C); 9- раствор испарительной карты №5 (pH 1,74; t-21,0°C).

Рисунок 2 - Численность *Leptospirillum ferrooxidans* в растворах на участке кучного выщелачивания урана РУ-1

Результаты подсчета *L.ferrooxidans* в растворах под штабелем №4 (pH 2,18; t-17,0°C), в маточном растворе (pH 1,77; t-20,0°C), а также в растворах испарительных карт - №3 (pH 1,42; t-21,0°C), №4 (pH 1,60; t-20,0°C), №5 (pH 1,74; t-21,0°C) не дали положительных результатов, т.е. *L.ferrooxidans* отсутствовали. Содержание *L.ferrooxidans* в количестве 10^2 кл/мл был отмечен в пробах раствора под штабелем №6 (pH 1,56; t-18,5°C) и испарительной карты №1 (pH 1,17; t-19,5°C). Относительно наибольшее количество *L.ferrooxidans* представлено в пробах растворов под штабелем

№5 (pH 1,74; t-21,0°C) и в растворах испарительной карты №2 (pH 1,17; t-19,0°C), их численность не превышала 10^3 кл/мл.

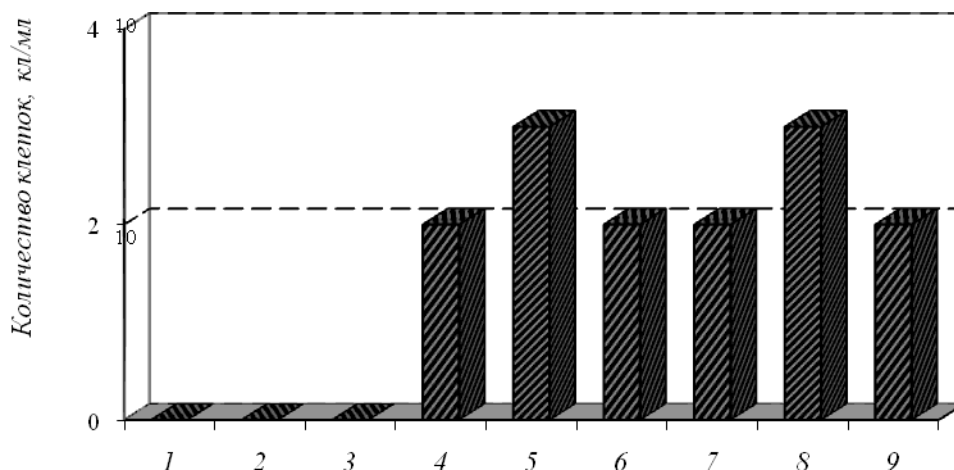
Для определения численности *Acid.thiooxidans* (рис. 3) в жидкую питательную среду Ваксмана с серой засекали исследуемый раствор после выщелачивания. После инкубирования в термостате при 28-30°C, через 3-4 дня появилось помутнение среды, а pH ее снижался. Присутствие в растворах под штабелями №4 (pH 2,18; t-17,0°C), №5 (pH 1,63; t-18,0°C), №6 (pH 1,56; t-18,5°C) незначительного количества (10^3 кл/мл) *Acid.thiooxidans* позволяет предположить об их участии в процессах бактериального выщелачивания урана. В маточном растворе и в кислых растворах испарительных карт *Acid.thiooxidans* не были обнаружены.



Примечание: 1- раствор под штабелем №4 (pH 2,18; t-17,0°C); 2- раствор под штабелем №5 (pH 1,63; t-18,0°C); 3- раствор под штабелем №6 (pH 1,56; t-18,5°C); 4- маточный раствор (pH 1,77; t-20,0°C); 5- раствор испарительной карты №1 (pH 1,17; t-19,5°C); 6- раствор испарительной карты №2 (pH 1,17; t-19,0°C); 7- раствор испарительной карты №3 (pH 1,42; t-21,0°C); 8- раствор испарительной карты №4 (pH 1,60; t-20,0°C); 9- раствор испарительной карты №5 (pH 1,74; t-21,0°C).

Рисунок 3 - Численность *Acid.thiooxidans* в растворах на участке кучного выщелачивания урана РУ-1

Для получения накопительной культуры *Sulfolobus acidocaldarius* к среде добавляли около 1,0% элементной серы, и устанавливали pH 3,0. После инкубирования при 70°C, через 3-7 дней появилось обильное помутнение, на поверхности среды образовалась пленка (рис.4). Анализируя данные о численности бактерий *S.acidocaldarius* – необходимо отметить, что они встречались в растворах редко и в незначительных количествах.



Примечание: 1- раствор под штабелем №4 (pH 2,18; t-17,0°C); 2- раствор под штабелем №5 (pH 1,63; t-18,0°C); 3- раствор под штабелем №6 (pH 1,56; t-18,5°C); 4- маточный раствор (pH 1,77; t-20,0 °C); 5- раствор испарительной карты №1 (pH 1,17; t-19,5°C); 6- раствор испарительной карты №2 (pH 1,17; t-19,0°C); 7- раствор испарительной карты №3 (pH 1,42; t-21,0°C); 8- раствор испарительной карты №4 (pH 1,60; t-20,0°C); 9- раствор испарительной карты №5 (pH 1,74; t-21,0°C).

Рисунок 4 - Численность *Sulfobacillus acidocaldarius* в растворах на участке кучного выщелачивания урана РУ-1

Содержание *S.acidocaldarius* был отмечен только в растворах испарительной карты и в маточном растворе, где их численность клеток достигала от 10 до 10^3 кл/мл. Как видно из рисунка, в растворах под штабелями №4 (pH 2,18; t-17,0°C), №5(pH 1,63; t-18,0°C), №6 (pH 1,56; t-18,5°C) *S.acidocaldarius* не были обнаружены.

Таким образом, при обследовании различных участков КВ были выделены железо и серо-окисляющие бактерий более 10 млн.клеток в одном мл раствора. Как известно источником питания в энергетическом обмене для этих бактерий являются восстановленные формы железа и серы, которые в руде встречаются 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.

Итак, основная роль в окислении урана на кучном выщелачивании принадлежит тионовым бактериям, и главным образом *Acid.ferrooxidans*. Тот факт, что присутствие железа в кислых выщелачивающих производственных растворах преимущественно в трехвалентной форме, еще раз подтверждает высокую активность *Acid.ferrooxidans*, стерильные растворы в подобных условиях содержали бы только железо закисной форме, образующееся при окислении сульфидов.

Литература

- 1 Каравайко Г.И., Кузнецов С.И. «Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд, М. 1972, с.19-21.
- 2 Каравайко Г.И. Микробиологические процессы выщелачивания металлов из руд. (Обзор проблемы). Центр международных проектов, ГКНТ. М.1984. С.88