



УДК 622.831.245

©Аликулов Ш.Ш., Алимов М.У. Норкулов А.Н.

ПОДЗЕМНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ УРАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРООРГАНИЗМОВ.

Аликулов Шухрат Шарофович - д.т.н., доцент Навоийского государственного горного и технологического университета, **Алимов Мехрикул Умаркулович** – докторант кафедры “Добыча и переработка руд редких и радиоактивных металлов” Навоийского государственного горного и технологического университета, **Норкулов Азиз Норпулат угли** - магистрант кафедры “Добыча и переработка руд редких и радиоактивных металлов” Навоийского государственного горного и технологического университета.

Аннотация. Таким образом, проведенные исследования показали возможность применения бактериальных растворов для доизвлечения урана из отработанных блоков ПВ. Очевидны и экономические преимущества, т.к. исключаются затраты на бурение и оснастку самих скважин и закисление рудного поля.

Ключевые слова: бактериальные растворов, подземное выщелачивание, масштаб, забалансов, месторождения кетменчи.

Abstract. Thus, the conducted studies have shown the possibility of using bacterial solutions for the additional extraction of uranium from spent in-situ leaching blocks. The economic benefits are also obvious. Expenses for drilling and equipment of the wells themselves and acidification of the ore field are excluded.

Key words: bacterial solutions, underground leaching, scale, off-balances, ketmenchi deposits.

В настоящее время в промышленных масштабах бактериальные методы выщелачивания применяются в более чем двадцати странах мира, на 40 предприятиях, при подземном и кучном выщелачивании меди и урана из бедных и забалансовых руд, при переработке отвалов обогатительных фабрик и горнорудных предприятий. На сегодняшний день бактериально-химическими методами добывается более 20% меди и значительная часть урана в

США, Канаде, Мексике, Перу, Испании, Австралии, Югославии и др. В США в 2000 году этими методами добывалось меди и урана на сумму более 5 млрд. долларов. В Узбекистане исследования по биовыщелачиванию урана проводились в рамках хозяйственных работ.

С целью изучения развития микробных сообществ на разрабатываемых месторождениях, были обследованы керны и пластовая вода из скважин месторождения Кетменчи.

Установлено, что микробные экосистемы уранового месторождения представлены большим

Рис. 1. Технологическая схема подземного выщелачивания урана.

263 разнообразием микроорганизмов, выявлены активные ассоциации железо- и сероокисляющих, бактерий, отмечено присутствие миксотрофных микроорганизмов,

способных окислять тиосульфат в присутствии органических добавок.

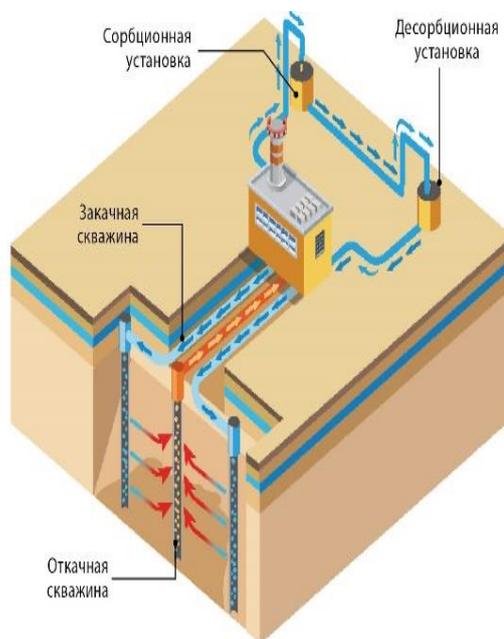


Рис. 1. Технологическая схема подземного выщелачивания урана

В незначительных количествах выделялись бактерии, отнесенные к *At.denitrificans*. В гораздо больших количествах, обнаружено наличие органотрофов, и также выявлены микроскопические грибы (табл. 1)

Как известно, подземное выщелачивание происходит с добавлением комплексообразующих реагентов (кислых или щелочных) и окисляющих компонентов (кислорода или перекиси водорода). Изучение микробиоты всех типов выщелачивания представляет значительный интерес в связи с возникающей возможностью применения микроорганизмов в ПВ урана. Проведенные исследования показали, что при подаче воздуха в откачные растворы выявилось преобладание тионовых бактерий, увеличивалось количество микроорганизмов, относящихся к олигонитрофилам, а также выделялись бактерии рода *Pseudomonas*.



Таблица 1.

Микробиологическое обследование керинов и пластовой воды

	Количество микроорганизмов в различных питательных средах, кл/мл.г							
	Баалсруда	9К	Маннинга	Летена	Лондона	Постгейта	Гильтая	РПА
Керн	$2.5 \cdot 10^2$	-	-	-	$7 \cdot 10^3$	$2.5 \cdot 10^3$	$2.5 \cdot 10$	-
Керн	$2.5 \cdot 10^2$	-	-	$2.5 \cdot 10^2$	$2.5 \cdot 10^3$	-	$2.5 \cdot 10^2$	$3.7 \cdot 10^4$
Керн	-	$2.5 \cdot 10^3$	-	$2.5 \cdot 10^3$	$2.5 \cdot 10^2$	-	-	$4.6 \cdot 10^3$
Керн	-	$2.5 \cdot 10^3$	$2.5 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$2.5 \cdot 10^2$	-	-	$7.9 \cdot 10^3$
Керн	$2 \cdot 10^2$	-	$2.5 \cdot 10^2$	-	$7 \cdot 10^3$	-	$2.5 \cdot 10^3$	$7.8 \cdot 10^3$

При этом происходила стимуляция развития миксотрофных тионовых бактерий и гетеротрофных микроорганизмов, а также микромицетов, среди которых преобладали представители родов *Aspergillus*, *Penicillium*. В этих растворах характерным было наличие микроорганизмов, относящихся к *At. denitrificans*. Анализ развития микробной биоты в откачных растворах, без подачи воздуха, показал, что число микроорганизмов заметно снижалось и их количество не являлось экологически значимым. Исследованиями на откачных растворах безреагентного выщелачивания было установлено, что при подаче кислорода воздуха в закачные скважины отмечается интенсификация выноса урана, которая сопровождается

значительным увеличением роста микроорганизмов, относящихся к группе тионовых нейтрофилов и бактерий рода *Pseudomonas* (рис.2). Известно, что многие микроорганизмы продуцируют короткоцепочные органические кислоты и элемент-специфические лиганды, которые могут изменять pH и способствовать синтезу хелатов, что может привести к увеличению выщелачивания многих элементов, содержащихся в следовых количествах в рудах. Высвобождение урана, очевидно, объясняется продукцией пиовердиновых хелатов, которые являются типичными лигандами, продуцируемыми псевдомонадами. Интенсификация деятельности этих групп микроорганизмов может способствовать увеличению концентрации урана в растворе (рис.

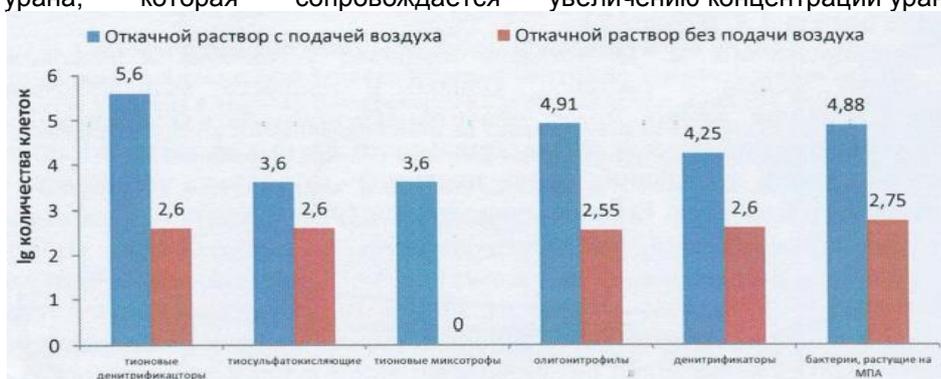


Рис. 2. Микроорганизмы откачных растворов безреагентного выщелачивания.

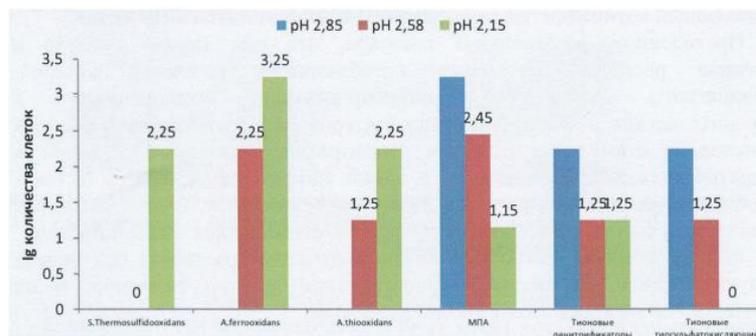


Рис. 3. Микроорганизмы откачных растворов кислотного выщелачивания

3) В откачных растворах кислотного подземного выщелачивания наблюдалось доминирование во всех исследуемых пробах *At. Ferrooxidans*, *At. Thiooxidans* и их коли-

265 чественное увеличение по мере повышения кислотности растворов. Следует отметить, что в хвостовых растворах выявлялись также



микроскопические грибы, отнесенные нами к родам *Aspergillus*, *Fusarium* и *Penicillium*.

Таким образом, анализ развития в скважину, позволило продвинуть микроорганизмов в отканных растворах подземной технической воду в пласт на расстояние 0,7 м, в том выщелачивания как безреагентного, так и бактериальных растворов (0,4 м³) на кислотного, установил наличие различных расстояния 0,3 м. После двухнедельного микроорганизмов.

В лабораторных опытах была показана возможность разбавленного пластового и пригодность урановых руд, содержащих сульфидную бактериальных растворов в течение часа. Дебит 267 серу, к выщелачиванию с использованием откачки в начале опробования составил 0,5-0,7 м³ микроорганизмов. /час, затем 1 м³ /час.

Полученные результаты предварительных исследований показали целесообразность проведения исследований в модельных колонках режим и при наличии 0,4 м³ культуральной жидкости. Анализ результатов выщелачивания показал, что *Acidithiobacillus ferrooxidans*, он полностью попал в извлечение урана из руды достигает 96-98% при пласт и позволил из отработанной откачной различных временных показателях. Применение скважины извлечь остаточные количества урана, бактериальных растворов сократило период выщелачивания в разных вариантах опыта от 40 до 77 часов.

Полученные данные свидетельствуют о том, что удалось создать в пласте требуемый кислотный режим. Сравнительный анализ технологических показателей процесса биовыщелачивания урана из бедных руд показывает очевидные преимущества метода бактериального выщелачивания в сравнении с отработанной, на 80% залежи. Были проведены со слабокислотным выщелачиванием опытные работы в варианте «пуш-пул», Положительные результаты лабораторных исследований позволили нам перейти к опытно-крупномасштабным экспериментам. Опытные работы по бактериальному выщелачиванию и начато работы по бактериальному выщелачиванию урана в крупномасштабном режиме «пуш-пул» были проведены на промышленном участке подземного выщелачивания, где в качестве опытного участка была использована откачная скважина, выведенная из эксплуатации *Ferrooxidans K-1* в количестве 550 литров. Скважина была опробована, установлена кислотность пластового раствора 4,9 г/л, содержание урана 25 мг/л. Было проведено двукратное

Для проведения работ подготовлен маточный раствор исходной ассоциации микроорганизмов *At. Ferrooxidans K-1* в количестве 550 литров. Дальнейшее приготовление бактериального раствора осуществлялось на опытной стационарной установке, изготовленный рудником «К» (рис. 7.5.5).



Рис. 5. Технологическая схема подготовки маточного раствора на опытной стационарной установке.

Питательные растворы для культивирования бактерий готовились на основе хвостовых растворов (поз.1). Нарботанные бактериальные растворы и с применением соли двухвалентного железа, а также с добавками минеральных солей $K_2 HPO_4$ и $(NH_4)_2 SO_4$, необходимых для роста микроорганизмов. После закачки и выстаивания была начата откачка бактериальных растворов в режиме «пуш-пул» с одномоментной подачей 42 м³ бактериальных растворов в четыре закачные скважины ячейки. Дебит откачной скважины (в среднем) составлял 1,5 м³/ч.

Питательные растворы для культивирования бактерий готовились на основе хвостовых растворов (поз.1). Нарботанные бактериальные растворы и с применением соли двухвалентного железа, а также с добавками минеральных солей $K_2 HPO_4$ и $(NH_4)_2 SO_4$, необходимых для роста микроорганизмов. После закачки и выстаивания была начата откачка бактериальных растворов в режиме «пуш-пул» с одномоментной подачей 42 м³ бактериальных растворов в четыре закачные скважины ячейки. Дебит откачной скважины (в среднем) составлял 1,5 м³/ч.



Анализ полученных результатов по продуктивности растворов и выносу урана в раствор показывает, что максимальные концентрации урана наблюдаются на 3-10 сутки откачки (до 88 мг/л), что коррелирует по времени не только с откачкой 20 м³ бактериальных растворов, но и свидетельствует о повышении отдачи пласта в присутствии биоокислителя [3].

Одним из доказательств участия бактерий в повышении продуктивности растворов является рост концентрации сульфат-иона с 8,6 г/л в исходном растворе кислотного выщелачивания до 10,8 г/л в продуктивных растворах, содержащих биоокислитель. Не вызывает сомнения, что повышенные концентрации сульфат-иона образуются в процессах бактериального окисления пирита, обнаруженного в рудовмещающей зоне пластового окисления верхнесеноманских отложений.

Анализ полученных результатов исследований и опытных работ по скважине показывает, что бактериальные 270 растворов являются интенсификаторами процесса извлечения урана из пласта. Так, при работе скважины в режиме «пуш-пул» извлечено за 17 суток 31,9 кг урана при дебите 1,5 м³/час. В кислотном варианте при исходной концентрации урана 13 мг/л и дебите 2,5 м³/час было бы извлечено 13,2 кг, а при дебите 1,5 м³/час всего 7,95 кг урана. Следовательно, бактерий увеличивают вынос металла в 2,4 раза, а при равных дебитах в – 4 раза.

В динамическом режиме выщелачивания при внесении бактериальной культуры в закачные растворы отмечен пик выноса урана (158 мг/л) с последующей стабилизацией продуктивности растворов на уровне 40-50 мг/л, что в 3,8 раза превышает аналогичные показатели сернокислотного выщелачивания. Следует отметить, что микробиологический анализ на всех этапах опыта выявил наличие *At. ferrooxidans* в экологически значимых объемах.

Список использованных литературы:

- [1]. Fischer J.R. The role of bacteria in the uranium leaching. // Canad Mining . Metallurgical Bull. - 1966. - № 649(59). - P. 588-592.
- [2]. Harrison V., Gou W., Ivarson K. The influence of thione bacteria on the process of uranium leaching. //Canad. Mining J. -1966. -К«5(87). - P. 64-67.
- [3]. Аликулов Ш.Ш. Халимов И.У. Хамидов С.Б.Алимов М.У. Интенсификация параметров подземного выщелачивания урана из слабопроницаемых руд на примере урановых месторождений Universum: технические науки, Выпуск: 6(75), Июнь 2020, 57 стр.