

УДК 574; 579.84

МИКРОБИОЦЕНОЗЫ ХЕМОЛИТОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ РАСТВОРОВ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАМУРУН»

¹Канаева З.К., ²Канаев А.Т.

¹*«Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева
Министерство образования и науки Республики Казахстан»;*

²*«Казахский национальный педагогический университет им. Абая,
Алматы, e-mail: kanaeva1992@mail.ru*

Изучение экологии микроорганизмов в месторождениях полезных ископаемых и оценка интенсивности вызываемых ими процессов показывает, что в определенных условиях, особенно при разработке рудных тел, микробиологические процессы, протекающие с огромной скоростью, вызывают значительное выщелачивание металлов из руд. В основе этого лежат процессы вскрытия и перевода металлов в раствор, которые осуществляются либо бактериями, либо химическим окислением сульфидных минералов. В нашей республике имеется ряд месторождений, где целесообразно получение металлов способом бактериально-химического выщелачивания. При этом большое значение имеют изучение экологии микроорганизмов и влияние различных факторов на скорость биоокислений субстратов для создания биотехнологии извлечения цветных и благородных металлов из руд и продуктов их флотации. Казахстан является крупнейшей сырьевой базой цветной металлургии, поэтому изучение экологии микроорганизмов, осуществляющих окисление сульфидных минералов в экосистемах, представляется весьма актуальным. В данной работе представлен материал о качественном и количественном составе микроорганизмов выщелачивающего сернокислотного раствора, отобранных из УГП-1, состоящего из эксплуатационных блоков залежи № 8 и № 25 месторождения «Южный Карамурун». В результате эксперимента была выявлена основная роль *A. ferrooxidans* в окислении закисного железа до окисного. Была доказана роль *A. ferrooxidans* и *A. thiooxidans* в создании агрессивной среды на глубине подземного выщелачивания урана. Исходя из предположения, что основным фактором, способствующим активному размножению тионовых бактерий в геологических отложениях, является повышенная аэрация.

Ключевые слова: окисление сульфидных минералов, микробиоценозы, подземное выщелачивание урана

MICROBIOCENOSIS OF CHEMOLITHOTROPHIC MICROBIAL BACTERIA OF IN SITU LEACHING SOLUTIONS OF «KARAMURAN» URANIUM DEPOSITS

¹Kanayeva Z.K., ²Kanayev A.T.

¹*K.I. Satpayev Kazakh National Technical University;*

²*Abai Kazakh National Pedagogical University (Abai KazNPU), Almaty, e-mail: kanaeva1992@mail.ru*

The study of ecology of microorganisms in mineral deposits and evaluation of the intensity caused by the processes shows that in certain conditions, particularly in the development of ore bodies, microbiological processes occurring with high speed, causing significant leaching of metals from ores. Subsequent of this are the processes of opening and transfer of metals into solution which are carried out either by bacteria or chemical oxidation of sulfide minerals. In our republic there are a number of deposits where are rational obtaining metals by bacterial chemical leaching method. At the same time is very important to study microbial ecology and the influence of various factors on the rate of biooxidation of substrates for creation a biotechnology extraction of non-ferrous and precious metals from ores and products of their flotation. Kazakhstan is the largest non-ferrous raw material base that is why the study of microorganism ecology which is carrying out the oxidation of sulfide minerals in ecosystems is very important. This work presents material on qualitative and quantitative composition of microorganisms of leaching sulfuric acid solution, selected from the UGP-1 consists of operational deposits units № 8 and № 25 deposit «South Karamurun». As a result of experiment has been found the main role of *A. ferrooxidans* in oxidation of ferrous iron to ferric. The role of *A. ferrooxidans* and *A. thiooxidans* was proved in creating hostile environment at a depth of underground leaching of uranium. Based on statement that the main factor contributing to the active reproduction of thiobacillus in geological deposits is the increased aeration.

Keywords: oxidation of sulfide minerals, microbiocenosis, leaching solutions of uranium

На территории Кызылординской области уран добывается в Шиелийском и Жанакорганском районах. В Шиелийском это месторождения Южный Карамурун, Северный Карамурун и Ирколь, а в Жанакорганском – Хорасан-1 и Хорасан-2. Здесь свою производственную деятельность ведут предприятия «РУ-6», «Семизбай-У», «Кызылжум» и «Байкен-У». Добыча ведется методом подземного выщелачивания, где по технологии применяется серная кислота. Логистический центр имеет возможность за год принимать

и отправлять 150 тыс. т серной кислоты, 20 тыс. т аммиачной селитры и 10 тыс. т других грузов. Общая площадь терминала составляет 7 га.

Нами был изучен микробиоценоз сернокислотного раствора после подземного выщелачивания урана месторождения «Карамурун».

Изучение экологии микроорганизмов в месторождениях полезных ископаемых и оценка интенсивности вызываемых ими процессов показывает, что в определенных

условиях, особенно при разработке рудных тел, микробиологические процессы, протекающие с огромной скоростью, вызывают значительное выщелачивание металлов из руд. В основе этого лежат процессы вскрытия и перевода металлов в раствор, которые осуществляются либо бактериями, либо химическим окислением сульфидных минералов. В нашей республике имеется ряд месторождений, где целесообразно получение металлов способом бактериально-химического выщелачивания. При этом большое значение имеют изучения экологии микроорганизмов и влияние различных факторов на скорость биоокислений субстратов для создания биотехнологии извлечения цветных и благородных металлов из руд [1].

Казахстан является крупнейшей сырьевой базой цветной металлургии, поэтому изучение экологии микроорганизмов, осуществляющих окисление сульфидных минералов в экосистемах, представляется весьма актуальным. В данной работе представлен материал о качественном и количественном составе бактерий уранового месторождения Карамурун [2].

Материалы и методы исследований

Объектом исследования служили микробные сообщества сернокислотного раствора после подземного выщелачивания урана на месторождении «Карамурун» рудоуправления №6. В структуре ТОО «РУ-6» функционирует объединенный цех «Карамурун». Объединенный цех «Карамурун» осуществляет добычу природного урана на месторождениях «Северный Карамурун» и «Южный Карамурун», расположенных в Шиелийском и Жанакорганском районах Кызылординской области.

Изучение качественного и количественного состава микрофлоры месторождения проводили путем посева соответствующих проб руды или растворов на питательные среды. Пробы воды и руды отбирали стерильно, в соответствии с имеющимися руководствами [3]; pH и температуру измеряли во время отбора проб. Микробиологические посева и анализы отдельных компонентов осуществляли в лабораторных условиях. Количественный учет жизнеспособных клеток проводили методом предельных десятикратных разведений.

Определение железоокислительной способности Fe^{2+} и Fe^{3+} в среде. Способность бактерий окислять Fe^{2+} определяли по изменению в среде количества Fe^{2+} и Fe^{3+} . Количество Fe^{2+} и Fe^{3+} определяли комплексонометрическим методом [4], с использованием в качестве титранта ЭДТА (этилендиаминтетрауксусной кислоты динатриевая соль). Метод основан на реакции образования комплексных соединений ионов металлов с органическими соединениями.

Методы выделения, учета и изучения микроорганизмов. В колбы Эрленмейра на 100 мл вносили 30 мл стерильной среды Сильвермана и Лундгрена 9К следующего состава (г/л): $(NH_4)_2SO_4 - 2,0$; $K_2HPO_4 - 1,0$; $MgSO_4 - 0,5$; $NaCl - 0,2$; $FeSO_4 \cdot 7H_2O - 5,0$; pH среды доводили до 2,0 с H_2SO_4 . О развитии бактерий *A.ferrooxidans* судили по появлению бурой

окраски среды, вызванной образованием трехвалентного железа в бактериальном растворе.

В работе для определения анаэробного сульфатредуцирующего микроорганизма использовались метод Постгейта и Кембелла. Сульфатвосстанавливающие бактерии культивировали в пробирках, которые доверху заполняли средой Старки следующего состава (г/л): водопроводная вода – 650 мл; пептон – 2,0; дрожжевой экстракт 2,0; $K_2HPO_4 - 0,3$; $MgSO_4 - 0,3$; $(NH_4)_2SO_4 - 1,0$; $Fe(NH_4)_2SO_4 - 0,15$; $Na_2S_3 - 0,6$; лактат кальция – 3,0; аскорбиновая кислота – 0,15. Для денитрифицирующих микробов использовали среду Гильея следующего состава – лимоннокислые натрий – 2 г; $KNO_3 - 1$ г; $KH_2PO_4 - 1$ г; $K_2HPO_4 - 1$ г; $MgSO_4 - 1,0$ г; $CaCl_2 - 0,2$ г. Fe^{2+} -следы, дистиллированная вода – 1,0 л.; pH 7,6 и закрывали стерильными резиновыми пробками так, чтобы под пробкой не оставалось пузырьков воздуха, pH и окислительно-восстановительный потенциал среды измеряли на pH-метре ЭВ-74.

Результаты исследований и их обсуждение

Добыча урана на объединенном цехе «Карамурун» осуществляется через системы технологических скважин, расположенных по поверхности по рядной или ячеистой схемам, с глубиной скважин: 450...530 м (УГП-1 – геотехнологическое поле, объединяющее эксплуатационные участки и блоки месторождения «Северный Карамурун») и 600...680 м (УГП-2 – геотехнологическое поле, состоящее из эксплуатационных блоков залежи №8 и №25 месторождения «Южный Карамурун»).

Технологические скважины обсаживаются полиэтиленовыми и ПВХ трубами, а в продуктивной части разреза – стандартными дисковыми или щелевыми фильтрами. Выщелачивающий реагент – слабый сернокислый раствор с концентрацией H_2SO_4 5...25 г/л. Серная кислота поставляется по централизованному заявкам в железнодорожных цистернах, а в цеха специальным автотранспортом. Выщелачивающие растворы приготавливаются на основе артезианских подземных вод продуктивного горизонта (маастрихтский водоносный подгоризонт).

Оборот растворов происходит в замкнутом цикле и в балансе откачка – закачка. Продуктивный горизонт изолирован региональными водоупорами от грунтовых вод в плиоцен – четвертичных отложениях и от нижезалегающих гидрогеологических структур.

Подача выщелачивающих растворов в недра производится нагнетанием в закачные скважины, а отбор продуктивных растворов из откачных скважин погружными насосами или сжатым воздухом по схеме «Эрлифт».

Отбираемые продуктивные растворы транспортируются в напорных и самотеч-

ных трубопроводах и подаются на сорбционные колонны, где освобождаются от металла на ионообменных смолах и возвращаются в недра, доукрепленные серной кислотой.

Насыщенная ионообменная смола направляется в цикл регенерации, где после

взаимодействия с раствором аммиачной селитры уран переходит в состав концентрированного раствора – товарного регенерата (десорбата). Из товарного десорбата при действии осадителя – раствора каустической соды – уран выпадает в осадок в виде ураната натрия.



Полученная пульпа фильтруется на фильтр-прессе, осадок промывается и подвергается сушке воздухом, в результате формируется конечный продукт производст-

ва – урановый концентрат (желтый кек), содержащий не менее 35% природного урана.

Дальнейшая переработка концентрата осуществляется на ГМЗ (горно-металлургический завод) отрасли. Основные переработчики – АО «УМЗ», ТОО Степногорский горно-химический комбинат («СГХК»). Доставка готовой продукции (ГП) на заводы осуществляется по железной дороге в специальных контейнерах (ТУК-118). Добыче урана из недр предшествуют горно-подготовительные работы, включающие эксплуатационную разведку, сооружение скважин, обвязку скважин в эксплуатационные блоки, закисление продуктивного пласта до параметров (рН, С_{Ме} и пр.), отвечающих режиму добычи. Для вновь сооружаемых блоков предусматривается строительство наружных коммуникаций (ГУЗы, УППР (участок переработки продуктивных растворов), КТПН, ЛЭП, дороги) или расширение уже действующих.

Для перекачки растворов используются стационарные насосы. В цехе «Карамурун» полный цикл переработки растворов осуществляется на УППР-1. На УППР-2 технологический цикл завершается насыщением

смолы, доставляемой автотранспортом для десорбции на УПП-1.

Руководство всеми структурными подразделениями предприятия, определение технической политики и перспективы ТОО. Обеспечение выполнения производственного плана, роста производительности труда. Организация производственно-хозяйственной деятельности. Осуществление контроля за соблюдением технологической дисциплины, правил и норм по ОТ и ТБ. Обеспечение комплексного изучения месторождений. Организация и проведение постоянного геологического и геотехнологического обслуживания разведочных, горно-подготовительных и эксплуатационных работ.

Формирование и определение экономической стратегии развития ТОО «РУ-6» с целью адаптации его хозяйственной деятельности и системы управления к изменяющимся в условиях рынка внешним и внутренним экономическим условиям.

Микробоценозы хемолитотрофных бактерий уранового месторождения «Карамурун» (РУ-6).

Объектом для исследования явились бактерии сернокислотного раствора, отобранные из УПП-1 – геотехнологическое поле, объединяющее эксплуатационные участки и блоки месторождения «Северный

Карамурун», и УПП-2 – геотехнологическое поле, состоящее из эксплуатационных блоков залежи №8 и №25 месторождения «Южный Карамурун»

Хемосинтезирующие организмы могут жить в растворах подземного выщелачивания урана месторождения «Канжуган». Для этого есть все предпосылки – pH кислой среды, содержание железа в выщелачивающих растворах. Выщелачивание урана осуществляется специфической физиологической группой бактерий: мезоацидофильными, хемолитотрофными бактериями *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans* и *Leptospirillum ferrooxidans*. Бактерии *A.ferrooxidans* окисляют восстановленные соединения серы до сульфатов, а ионы двухвалентного железа до ионов трехвалентного. Микроорганизмы, окисляющие сульфиды металлов, растут при pH 1,0–3,5 (*A.thiooxidans* до pH 0,65). Для *A.ferrooxidans* оптимальный pH 2,0 [5].

Изучая производственные растворы данного месторождения, отметим, что в технологическом растворе данного месторождения выявлено бактерий *A.ferrooxidans* и *A. thiooxidans*. Количество *A. ferrooxidans* в растворах УПП-1 составляет всего 10^2 кл/мл, в растворах УПП-2 достигает до 10^3 кл/мл (таблица).

Бактерии в сернокислотных растворах подземного выщелачивания месторождения «Карамурун»

Место отбора проб	Количество клеток в 1 мл раствора				
	<i>A.ferrooxidans</i>	<i>A.thiooxidans</i>	<i>L.ferrooxidans</i>	Сульфатредуцирующие	Денитрифицирующие
УПП-1	10^2	10^1	10^3	Не обнаружено	Не обнаружено
УПП-2	10^3	10^2	10^1	Не обнаружено	Не обнаружено

Бактерии *A.thiooxidans* способны окислять только восстановленные соединения серы. Вместе с тем встречаются в небольшом количестве представители *A.thiooxidans*. Их количество в производственных растворах УПП-1 составляет всего 10^1 кл/мл, а в УПП-2 доходит до 10^2 кл/мл *A.thiooxidans*.

Leptospirillum ferrooxidans – окисляет только ионы Fe^{2+} . Количество бактериальной клетки *L.ferrooxidans* в выщелачивающих растворах УПП-1 составляет в пределах 10^3 кл/мл, тогда как в растворах УПП-2 достигает всего 10^1 кл/мл.

Представители нейтрофильных групп сульфатредуцирующих и денитрифицирующих бактерий не были замечены. Это, по-видимому, связано с уровнем кислотности исследуемой среды, которая составляет pH 1,5–2,0.

Наиболее широко для бактериального выщелачивания урана применяют тионовые

бактерии *A.ferrooxidans*. Поэтому нами была изучена окислительная активность *A.ferrooxidans* в техническом растворе УПП-2. Для этого 200 мл среду 9К Сильвермана и Люндгрена набрали в качалочную колбу, в качестве инокулята добавляли 40 мл производственного раствора УПП-2 и ежедневно определяли изменения концентрации двух- и трехвалентного железа

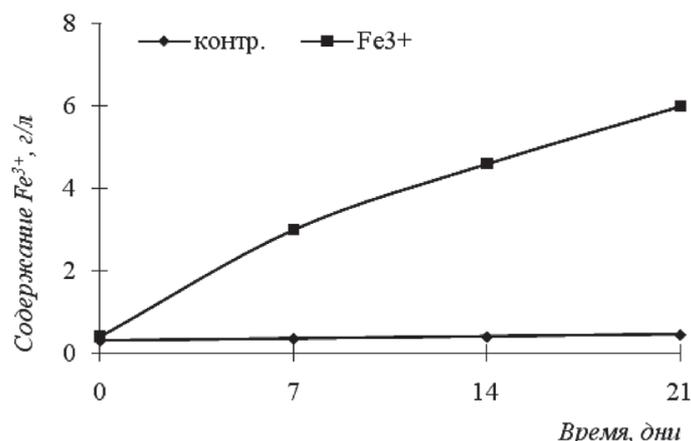
Как видно из рисунка, аборигенная культура *A.ferrooxidans* за 21 сут способна окислять всего 6,0 г/л закиси железа.

В этой смеси до проведения опыта были определены показатели pH, содержания закисного и окисного железа и титр ацидофильных тионовых бактерий. Для установления роли биологического фактора в создании агрессивной среды проводили опыт в нестерильных и стерильных условиях путем сравнения скорости окисления закисного сернокислого железа микробио-

логическим и химическим путём. В период продолжения опыта титр тионовых бактерий увеличивается в 10 раз, а показатель кислотности среды снизился с рН 3,05 до 2,2.

В стерильных условиях величина рН и окисления закисного сернокислого железа практически не происходило. Таким образом, в результате опыта была выявлена основная роль *A. ferrooxidans* в окислении закисного железа до окисного.

Итак, в серии лабораторных модельных и натуральных экспериментов была доказана роль *A. ferrooxidans* и *A. thiooxidans* в создании агрессивной среды на глубине подземного выщелачивания урана, исходя из предположения, что основным фактором, способствующим активному размножению тионовых бактерий в геологических отложениях, является повышенная аэрация.



Динамика образования Fe³⁺ культурой *A.ferrooxidans* в производственном растворе УГП-2

Список литературы

1. Дубинина Г.А. Изучение экологии железобактерий пресных водоемов // Изв. АН СССР. – Сер.биол. – 1976. – №4. – С. 575–592.
2. Илялетдинов А.Н. Микробиологические превращения металлов. – Алма-Ата: Изд-во Наука, 1984. –
3. Романенко В.Н., Кузнецов С.Н. Экология микроорганизмов пресных водоемов. – Л., 1974. –194 с.
4. Резников А.А., Мулиновская Е.П., Соколова И.Ю. Методы анализов природных вод. –М., 1970. – 250 с.
5. Канаев А.Т. Интенсификация процесса извлечения урана биотехнологическим способом из бедных руд: монография. – Алматы, 2010. –143 с.

3. Romanenko B.N., Kuznetsov S.N. Microbial Ecology of Freshwater. Leningrad, 1974. 194 p.
4. Reznikov A.A., Mulinovskaya E.P., Sokolova I.U. Methods of Analysis of Natural Waters. Moscow, 1970. 250 p.
5. Kanayev A.T. Intensification Process of Uranium Extraction from Poor Ores Using Biotechnological Methods. Almaty, 2010. 143 p.

Рецензенты:

Сейлова Л.Б., д.б.н., профессор кафедры естественных специальностей Казахского национального педагогического университета им. Абая, Казахстан;

Чилдибаев Ж.Б., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой естественных специальностей Казахского национального педагогического университета им. Абая. Институт магистратуры и PhD докторантуры, г. Алматы.

Работа поступила в редакцию 06.04.2012.

References

1. Dubinina G.A. Ecology of Iron Bacteria of Freshwater. Proceedings of the Academy of Sciences of USSR. Biology, 1976. no. 4. pp. 575–592
2. Ilyaletdinov A.N. Microbial Transformation of Metals. Nauka, Alma-Ata, 1984.