

Код МРНТИ 52.13.19

\*Е.С. Башилова, А.Б. Байбатша  
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАЗРАБОТКИ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С УЧЕТОМ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ БАКТЕРИАЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

**Аннотация.** В статье рассматривается применение бактериального окисления железа (БОЖ) в качестве окислителя при подземном выщелачивании урана на месторождении Семизбай гидрогенного типа. Это месторождение отличается от месторождений южного Казахстана литологическим строением, геотехнологическими параметрами. Месторождение характеризуется глубоким вторичным восстановлением железа. Испытания по применению БОЖ в процессе добычи урана ведутся уже в течение нескольких лет. В статье описан этап опытно-промышленных испытаний с использованием установок БОЖ и полученный эффект. Проведены эксперименты с подачей выщелачивающего раствора, пропущенного через установку БОЖ с добавлением дополнительного объема серной кислоты в этот раствор. По итогам испытаний получены положительные результаты. Можно сделать вывод, что применение железоокисляющих бактерий оказывает благоприятное воздействие на повышение концентрации урана в продуктивных растворах.

**Ключевые слова:** добыча урана, скважинное подземное выщелачивание, бактериальное окисление железа, окислительно-восстановительный потенциал, выщелачивающий раствор, месторождение, блок.

### Уран кенорындарын олардың геологиялық ерекшеліктері негізінде темірді бактериялық тотықтыруды қолдану арқылы игеруді қарқындату

**Аңдатпа.** Мақалада Семізбай гидрогенді типті кен орнында уранды жер асты шаймалау кезінде темірдің (ТБТ) бактериялық тотығын тотықтырғыш ретінде қолдану қарастырылады. Бұл кен орны Оңтүстік Қазақстанның кен орындарынан литологиялық құрылымымен, геотехнологиялық параметрлерімен ерекшеленеді. Кен орны темірдің терең қайталама тотықсыздануымен сипатталады. Уран өндіру процесінде ТБТ қолдану бойынша сынақтар бірнеше жылдан бері жүргізіліп келеді. Мақалада ТБТ қондырғыларын қолданатын пилоттық сынақтардың кезеңі және алынған нәтиже сипатталған. Осы ерітіндіге күкірт қышқылының қосымша көлемін қосып, ТБТ қондырғысы арқылы өткізілген шаймалау ерітіндісін беру тәжірибелері жүргізілді. Сынақ қорытындысы бойынша оң нәтижелер алынды. Темір қышқылдандыратын бактерияларды қолдану өнімді ерітінділердегі уран концентрациясының жоғарылауына жағымды әсер етеді деген қорытынды жасауға болады. Осы ерітіндіге күкірт қышқылының қосымша көлемін қосып, ТБТ қондырғысы арқылы өткізілген шаймалау ерітіндісін беру тәжірибелері жүргізілді. Сынақ қорытындысы бойынша оң нәтижелер алынды. Темір қышқылдандыратын бактерияларды қолдану өнімді ерітінділердегі уран концентрациясының жоғарылауына жағымды әсер етеді деген қорытынды жасауға болады.

**Түйінді сөздер:** уран өндіру, жерасты ұңғымада шаймалау, темірді бактериялық тотықтыру, тотығу-тотықсыздану потенциалы, шаймалаушы ерітінді, кенорын, блок.

### Intensification of the development of uranium deposits considering their geological features through the use of bacterial oxidation of iron

**Abstract.** The article discusses the use of bacterial oxidation of iron (BOI) as an oxidizer during underground leaching of uranium at the Semizbay hydrogenic deposit. This deposit differs from the deposits of southern Kazakhstan in its lithological structure and geotechnological parameters. The deposit is characterized by deep secondary reduction of iron. Tests on the use of BOI in the process of uranium mining have been conducted for several years. The article describes the stage of pilot-industrial tests using BOI installations and the resulting effect. Experiments were carried out with the supply of a leaching solution passed through the installation, with the addition of an additional volume of sulfuric acid to this solution. According to the results of the tests, positive results were obtained. It can be concluded that the use of iron-oxidizing bacteria has a beneficial effect on increasing the concentration of uranium in productive solutions.

**Key words:** uranium mining, borehole in-situ leaching, bacterial oxidation of iron, redox potential, leaching solution, deposit, block.

### Введение

Республика Казахстан занимает первое место в мире по добыче природного урана с 2009 г. Однако, несмотря на достаточно значительные запасы и относительно невысокую себестоимость добычи урана, постоянно истощающиеся запасы рентабельных месторождений вызывают необходимость разработки новых высокоэффективных и экономически привлекательных методов извлечения металлов из бедных месторождений, а также повышения полноты извлечения. Геолого-минералогические особенности месторождений являются основными при выборе рациональной технологии добычи [1]. Направления для развития и улучшения методов могут быть различными. Геологическими: для повышения качества и полноты обработки рассматриваются современные геофизические методы исследований скважин, как волновой метод геоинтроскопии, который показал высокую эффективность для отслеживания и контроля над технологическими процессами при добыче урана методами скважинного подземного выщелачивания (СПВ) [2]; геотехнологическими: использование раз-

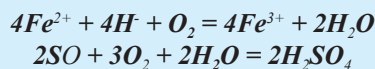
личных химических комплексов и реагентов для интенсификации обработки и др.

Удовлетворение растущей мировой потребности в уране невозможно без вовлечения в разработку пластово-инфильтрационных месторождений, которые обрабатываются методами СПВ. Одно из таких месторождений – Семизбай, разработка которого стандартным методом СПВ затруднительна.

Месторождение Семизбай характеризуется неоднородным и изменчивым литологическим строением, различными фильтрационными характеристиками пород, чередованием водопроницаемых и водоупорных пород в разрезе. Также оно характеризуется глубоким вторичным восстановлением, приведшим к практически полному исчезновению трехвалентного железа в составе пластовых вод и горнорудной массе, что приводит к необходимости задействовать в процессе дополнительные окислители [3, 4].

В качестве альтернативы химическим окислителям в биогеотехнологии используется способность ряда хемолитоавтотрофных микроорганизмов получать энергию для роста в ходе окисления восстановленных форм железа

с генерацией активной формы окислителя – трехвалентного железа и серной кислоты:



Значительная интенсификация процесса подземного выщелачивания получается при наличии определенных бактерий. Например, для выщелачивания никеля, цинка, золота, меди, мышьяка, кадмия и других металлов применяются тионовые бактерии *Thiobacillus Ferrooxidans* [5, 6]. В настоящее время промышленное применение хемолитотрофных бактерий с целью извлечения ценных компонентов из руд достигло широких масштабов во многих странах. Опробовали этот метод и для интенсификации процесса выщелачивания урана, как один из перспективных процессов для внедрения в горнодобывающую промышленность Казахстана.

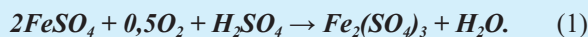
### **Бактериальное окисление железа**

Для бактериального окисления железа используются железоокисляющие бактерии. При микробиологическом выщелачивании бактерии окисляют сульфидные минералы, что обуславливает образование в водной фазе железа (III) и серной кислоты набора реагентов, растворяющих уран. Если уран в руде присутствует в восстановленном состоянии, то редокс-реакция позволяет трансформировать U(IV) в U(VI). Этот процесс, основанный на химической активности микроорганизмов, экономически оправдан по отношению к бедным, забалансовым рудам и отвалам уранового производства, т. е. в случаях, когда неприменим стандартный процесс [7].

Первые исследования, установившие возможность бактериального выщелачивания урана из бедного сырья в коммерческом масштабе, были проведены в начале 1950-х гг., а в 1952-1953 гг. в Urgéirica (Португалия) началось промышленное использование процесса на основе кучного выщелачивания с применением железоокисляющих бактерий *Acidithiobacillus Ferrooxidans* [8].

Комплексное изучение руд канадских и испанских месторождений, где уран входит в состав коффинита, уранинита и др., позволило установить оптимальные параметры процесса (рН, температура и время перемешивания).

Наиболее доступным источником энергии для железоокисляющих бактерий является железо (II), окисляющееся в кислой среде:



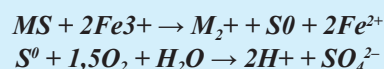
Среди главных факторов, определяющих эффективность бактериального выщелачивания урана, находится содержание в руде пирита, чье разложение не только обуславливает поступление в зону реакции окислителя и комплексообразователя, но и генерирует тепло.

Другим важным фактором является характер минерализации урана, так как его оксидные, фосфатные, сульфатные и карбонатные минералы вскрываются достаточно легко, в то время как силикатные формы – трудно или практически не вскрываются [9].

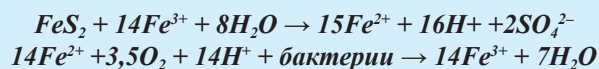
Показатели биовыщелачивания зависят и от генезиса месторождения, определяющего тип и минералогические характеристики породообразующих минералов. Если эти породы по составу щелочные, это может обусловить образование осадков, снижающих фильтрационную способность слоя руды, через который просачивается раствор и способствует образованию участков, изолированных от него. Наличие кислых пород снижает потребление кислоты, менее расходуемой на взаимодействие с минеральными примесями [8].

### **Механизмы биоокисления сульфидных минералов**

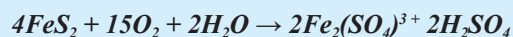
Реакциями, в общем виде характеризующими процесс биоокисления сульфидного минерала, являются:



Взаимодействие бактерий с пиритом соответствует реакциям:



В ПР месторождения Семизбай содержание железа достигает 2,7-3,0 г/л. Это относительно высокое содержание железа в растворах, характерное для руд месторождения. Высокие содержания железа в растворах связаны с пиритом и другими сульфидными минералами в рудоносном слое. Двухвалентное железо образуется в основном за счет выщелачивания пирита ( $\text{FeS}_2$ ) и других, сульфидом, который имеется в обрабатываемом рудном теле по геологическим данным с содержанием свыше 2%. Общий химизм процесса описывается по следующему уравнению:



Основное отличие БОЖ от использования химических окислителей заключается в том, что требуется лишь единовременное размножение бактерий и текущее обеспечение их роста. Нет необходимости постоянной подачи химических реагентов, кроме подачи воздуха из окружающей среды в биореакторы.

### **Технологические процессы**

Опыты по применению бактериального железа на месторождении Семизбай проводятся уже в течение длительного периода, полученные результаты освещались в публикациях [9-12]. В 2021 году данные исследования были продолжены. На очередном этапе опытно-промышленных испытаний были модернизированы установки бактериального окисления железа (УБОЖ) – УБОЖ-1 и УБОЖ-2, изготовленные в рамках ранее проведенных этапов (рис. 1).

УБОЖ применялись в виде локальных установок для работы на отдельных блоках. С их помощью выполнено восстановление работоспособности биомассы и проведение адаптации бактерий. Проведена аэрация растворов. Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) растворов

был доведен до 500 мВ в обеих установках. Восстановление биомассы определялось по замерам ОВП раствора и производилось в течение месяца. Изменение ОВП раствора происходит за счет окисления двухвалентного железа. Степень аэрации растворов поддерживается на уровне 5-10 м<sup>3</sup>/час на 1 м<sup>3</sup> ВР.

Подача ВР с технического узла закисления (ТУЗ) в установку БОЖ осуществляется путем разделения основного потока на две УБОЖ в объеме до 20 м<sup>3</sup>/час. Оставшийся объем ВР по регламенту растворов поступает на закачные скважины согласно существующей технологической схеме. Активированный ВР (АВР) после УБОЖ поступает в общий коллектор блока, смешивается с ВР и далее поступает в закачные скважины.

Использование инновационных биореакторов проточного типа, основанных на иммобилизации бактерий на твердых носителях, повышает эффективность процесса окисления двухвалентного железа в несколько раз. Регулировка процесса биоокисления двухвалентного железа осуществляется путем изменения подачи объема воздуха (регулирование частотным преобразователем), а также изменением объема подачи ВР и части АВР.



**Рис. 1. Общий вид установки бактериального окисления железа-1 изнутри и снаружи.**

**Сурет 1. Темір 1-ді бактериялық тотықтыру қондырғысының ішінен және сыртынан жалпы көрінісі.**

**Figure 1. General view of the bacterial oxidation of iron-1 from inside and outside.**

Возврат части АВР в биореакторы и подача их в начало процесса биоокисления насыщает верхний слой носителя микроорганизмами, что в свою очередь способствует ускорению процессов окисления железа (используется периодически на стадии накопления и адаптации биомассы). После прохождения ВР через слой нейтрального материала, на котором закрепились бактерии, полученный АВР поступает в накопительные емкости. По мере накопления АВР в накопительных емкостях до определенного уровня (согласно датчику уровня) включается насос, который закачивает АВР из накопительных емкостей под давлением в линию блока после ТУЗ.

### Методика исследований

Контроль над технологическим процессом осуществляется при помощи отбора проб ВР, АВР на определении ряда показателей растворов в физико-химической лаборатории рудника Семизбай.

Для качественной и количественной оценки работы установки БОЖ предусматриваются лабораторные исследования: определение рН, Т °С; ОВП; Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, кислотность, SO<sup>4-</sup> в ВР, АВР, ПР.

Для оперативного контроля за работой биореакторов используются рН-метр, ОВП-метр и температурный датчик (рис. 2).

Двух- и трехвалентное железо определялось комплексонометрическим методом, свободная кислота в технологических растворах объемным методом, массовая концентрация урана титано-фосфатно-ванадатным методом.

Для определения количества бактерий в растворах использовались пробы из УБОЖ. Технологическую пробу анализировали под микроскопом с увеличением 1000х.



**Рис. 2. Измерительные приборы: а – ОВП-метр; б – рН-метр.**

**Сурет 2. Өлшеу аспаптары: а – ОВП-метр; б – рН-метр.**

**Figure 2. Measuring instruments: а – ORP-meter; б – pH-meter.**

Количество бактерий на твердой фазе определяли путем двойного центрифугирования с отделением твердой фазы с последующим определением содержания бактерий в остаточном растворе. Расчет на твердой фазе делали путем приведения объема твердой фазы к объему жидкой фазы. О развитии бактерий судили по появлению бурой окраски, вызванной образованием трехвалентного железа, что подтверждало наличие бактерий данного типа (рис. 3).



**Рис. 3. Проба с активированным выщелачивающим раствором после обработки раствора в биореакторах установки БОЖ.**

**Сурет 3. ТБТ қондырғысында белсендірілген шаймалаушы ерітіндісі бар сынама.**

**Figure 3. Sample with activated leaching solution after treatment of the solution in the bioreactors of the BOI installation.**

Рост и развитие изолятов и культуры *Acidithiobacillus ferrooxidans* шт. оценивалось по концентрации клеток в растворе, наиболее вероятное число (НВЧ) которых определяли методом серийных разведений.

### Опытные работы и их результаты

На текущем этапе опытно-промышленных испытаний (ОПИ) были проведены эксперименты с подачей не только выщелачивающего раствора, пропущенного через установку БОЖ, но и с добавлением дополнительного объема серной кислоты в этот раствор. Следует отметить, что при испытаниях на опытном блоке с применением УБОЖ-2 в 2018 г. имело место незначительное повышение содержания урана в ПР (около 10%) с этого блока за период испытаний без подачи дополнительной серной кислоты. Повышение составило с 11 мг/л до 14 мг/л и произошло несмотря на то, что экспериментальный блок находился на тот период на стадии доработки. По итогам обсуждения специалистов было принято решение продолжить экспериментальные работы и провести исследование влияния БОЖ на содержание урана в продуктивных растворах, окислительно-восстановительный потенциал ПР и содержание трехвалентного железа в ПР при добавлении дополнительной серной кислоты до 10 г/л (с учетом остаточной кислотности маточников сорбции до 4,0 г/л) в ВР экспериментального блока X2 и до 6 г/л (с учетом остаточной кислотности маточников сорбции до 4,0 г/л), в ВР блока X1 и сравнение с показателями работы 2-х контрольных блоков при аналогичной кислотности (6 и 10 г/л с учетом остаточной кислотности маточников сорбции до 4,0 г/л) в ВР без применения БОЖ.

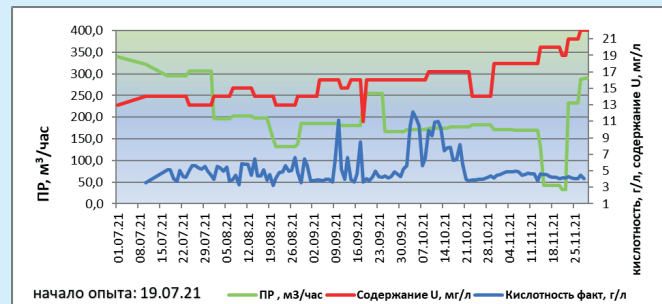
В период с декабря 2020 года по июль 2021 года проводилось накопление и адаптация биомассы в УБОЖ-1 и УБОЖ-2. Установки периодически работали на протоке, ОВП активированного раствора в них достигал 500-600 мВ. На период начала работы УБОЖ с начала года содержание урана в ПР на блоке X2 составляло 12 мг/л.

С 19 июля были подключены оба экспериментальных блока к УБОЖ. Основная подача серной кислоты при экспериментальных работах началась с 24-25 июля 2021 г. Содержание урана в ПР на блоке X2 на эту дату составило 13 мг/л. За период проведения опыта на отдельных скважинах повышение содержания урана составило до 25-55%.

Проведенные испытания с применением установок БОЖ и дополнительной подачи серной кислоты показали повышение содержания урана в продуктивных растворах с 12 мг/л до 18 мг/л. Данные, полученные в ходе эксперимента, отображены на графике, представленном на рис. 4.

Опираясь на полученную информацию в ходе опытных работ, следует отметить достаточно высокую связь между содержанием урана в продуктивном растворе и кислотностью, а также сильную связь содержания урана в ПР с ОВП в ВР и относительно высокую связь с содержанием трехвалентного железа в выщелачивающем и продуктивном растворах. Как и следовало ожидать, также подтвердилась очень высокая связь между содержанием трехвалентного железа с ОВП выщелачивающего раствора, что подтверждает влияние ( $Fe^{3+}$ ) как сильного окислителя на ОВП

выщелачивающих растворов. Параллельно с опытными испытаниями по доработке блока с помощью установки БОЖ и АВР из данной установки, а также с добавлением серной кислоты проводились испытания на двух контрольных блоках без подачи АВР из установки БОЖ.



**Рис. 4. Изменение содержания урана в ПР на экспериментальном блоке X2 в период с июля по октябрь 2021 года.**

**Сурет 4. 2021 жылғы шілдеден қазанға дейінгі кезеңде X2 эксперименттік блокта өнімді ерітіндідегі уран мөлшерінің өзгеруі.**

**Figure 4. Changes in the uranium content in the productive solution at the experimental unit X2 in the period from July to October 2021.**

В качестве основной цели данной работы было достижение повышения ОВП на 15% и содержания урана в ПР на блоке X2 за счет применения технологии БОЖ не менее 25% (в результате испытаний увеличилось на 40% с 12 до 18 мг/л). В результате проведения испытаний планировалось изучить влияние технологии БОЖ при кислотности 10 г/л (в целях промывки и активации иммобилизаторов) и 2-6 г/л на блоке X2 (на стадии довыщелачивания) и выдать рекомендации применения данной технологии на этапе довыщелачивания.

Подача АВР без кислоты проводилась при проведении работ по 1-2 этапу (2018-2019 гг.). Было обеспечено увеличение ОВП в АВР до 420 мВ. В результате испытаний произошло увеличение содержания урана в продуктивном растворе на 10-20% (с 11 до 14 мг/л) на экспериментальном блоке. Разовые подачи дополнительной серной кислоты улучшили процесс окисления железа в биореакторах.

### Выводы

Опыты по подаче АВР с БОЖ с одновременной подачей дополнительной серной кислоты в маточники сорбции показали, что более эффективным будет использование технологии БОЖ вместе с подачей серной кислоты, что улучшит как работу биореакторов, так и растворение отложений на поверхности урансодержащих минералов в рудоносном слое, так как дополнительная серная кислота, подаваемая непосредственно на блок в присутствии трехвалентного железа в АВР, позволяет убрать вторичные образования (отложения) на поверхности минералов, обеспечивая доступ трехвалентного железа к урану, что в свою очередь повлечет интенсификацию выщелачивания урана на таком сложном геологическом объекте, как месторождение Семизбай. Также получены данные, что:

- дополнительная серная кислота в целом не влияет на активность бактерий, но требуется избегать появления периодических «ударных» доз серной кислоты при подаче в биореакторы;

- дополнительная серная кислота, подаваемая в биореактор, улучшает работу, что показано в результате проведенных исследований, а также следует из стереохимических соотношений уравнения окисления двухвалентного железа. Для окисления двух молекул двухвалентного железа необходима одна молекула серной кислоты и  $\frac{1}{2} O_2$ ;

- при подаче дополнительной серной кислоты требуется равномерность подачи серной кислоты для стабильности протекания процессов, что можно обеспечивать работой насосов-дозаторов.

Резюмируя проведенные работы, можно сказать, что технология БОЖ с подачей дополнительной серной кислоты может иметь преимущество по сравнению с просто повышенной подачей серной кислоты, что подтверждается полученными результатами. Относительно низкие эксплуа-

тационные затраты на технологию БОЖ с дополнительной серной кислотой позволяют использовать эту технологию на стадии довыщелачивания (стадия доработки). Это позволяет сократить сроки стадии довыщелачивания и получить прирост добычи урана за счет устранения вторичных образований на минералах и активности ВР из-за увеличенного количества трехвалентного железа. Однако, экономическая целесообразность применения установок БОЖ как на стадии довыщелачивания, так и на стадии активного выщелачивания требует дополнительных исследований.

Полученные данные позволяют рекомендовать продолжение опытов по применению технологии на стадии активного выщелачивания при обеспечении экономических показателей по себестоимости.

**Данная статья финансировалась Комитетом науки Министерства науки и высшего образования РК по теме АР14870909 «Геолого-минералогические исследования техногенных и природных руд для восполнения запасов и обеспечения их комплексной переработки».**

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Li M., Huang C.M., Zhang X.W., Gao F.Y., Wu X.Y., Fang Q. и др. Механизм извлечения обедненного урана путем предварительной обработки разбавленной щелочью в сочетании с кислотным выщелачиванием. // Гидрометаллургия. – 2018. – №180. – С. 201-209 (на английском языке)
2. Цой Б.В., Мырзахметов С., Язиков Е.Г., Бекботаева А.А., Башилова Е.С. Применение метода радиоволновой геоинтроскопии для изучения характера растекания растворов в процессе подземного выщелачивания урана. // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 2021. – №4(15). – С. 1-7 (на английском языке)
3. Юсупов Х.А., Алешин А.П., Башилова Е.С., Цой Б.В. Применение пероксида водорода для интенсификации подземного выщелачивания урана. // Обогащение руд. – 2021. – №2(392). – С. 21-26 (на русском языке)
4. Байбатша А.Б., Башилова Е.С. К вопросу о составе и технологических свойствах урановых руд Семизбайского месторождения (Северный Казахстан). // Комплексное Использование Минерального Сырья. – 2023. – №4(324). – С. 5-12 (на английском языке)
5. Монгуш Г.Р. Применение биотехнологии для переработки месторождений полезных ископаемых Тувы. // Новые исследования Тувы: электронный научный журнал. – 2010. – №1. – С. 228-242. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-biotehnologii-dlya-pererabotki-mestorozhdeniy-poleznyh-iskopaemyh-tuvy> (на русском языке)
6. Жаппар Н.К., Шайхутдинов В.М., Канафин Е.Н. и др. Изучение эффективности окисления двухвалентного железа в проточном биореакторе иммобилизованными бактериями. // Серия «Биология. Медицина. География». – 2018. – №3(91). – С. 77-83 (на русском языке)
7. Loren C., Bryner, Jay V. Beck, Delmar B. Davis, and Dean G. Wilson. Микроорганизмы при выщелачивании сульфидных минералов. // Промышленная и инженерная химия. Исследования. – 1954. – №46. – С. 2587-2592 (на английском языке)
8. Munoz, J., Gonzalez F., Blazquez M., Ballester A. Исследование биовыщелачивания испанской урановой руды. Часть I: Обзор бактериального выщелачивания при переработке урановых руд. // Гидрометаллургия. – 1995. – №38. – С. 39-57 (на английском языке)
9. Бектай Е.К., Алтынбек А.Д., Турысбекова Г.С., Шидерин Б.Н. Биовыщелачивание в рудоносном слое при ПСВ урана. // Сборник трудов IX-й международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности». Том I. – 2019. – С. 230-232 (на русском языке)
10. Алтынбек А.Д., Пернеш Е.Қ. Турысбекова Г.С., Бектай Е.К., Шидерин Б.Н. Технология бактериального окисления железа при ПСВ урана. // Сборник трудов IX-й международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности». – Ч.1. – 2019. – С. 233-235 (на русском языке)
11. Турысбекова Г., Алтынбек А.Д., Бектай Е., Шидерин Б., Бектай М. Технология бактериального окисления железа при подземном скважинном выщелачивании урана. // Международный журнал фармацевтических исследований. – 2020. – №12(3). – С. 2988-2993 (на английском языке)

12. Шидерин Б., Бектай Е., Турысбекова Г., Алтынбек А.Д. Взаимодействие урана и бактерий (обзор). // Международная междисциплинарная научная геоконференция Геодезическая геология и управление горной экологией. – 2020. – Август (1.2), – С. 395-400 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ли М., Хуан С.М., Чжан Х.В., Гао Ф.И., Ву Х.И., Фанг Кью және т. б. Қышқылды шаймалаумен бірге сұйылтылған сілтімен алдын ала өңдеу арқылы таусылған уранның әсер ету экстракциялық механизмі. // Гидрометаллургия. – 2018. – №180. – Б. 201-209 (ағылшын тілінде)
2. Цой Б., Мырзахметов С., Язиков Е., Бекботаева А., Башилова Е. Уранды жер асты шаймалау процесінде ерітінділердің таралу сипатын зерттеу үшін радиотолқынды геointоскопия әдісін қолдану. // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. – 2021. – №4(15). – Б. 1-7 (ағылшын тілінде)
3. Юсупов Х.А., Алешин А.П., Башилова Е.С., Цой Б.В. Уранның жерасты шаймалануын күшейту үшін сутегі асқын тотығын қолдану. // Кендерді байыту. – 2021. – №2(392) – С. 21-26 (орыс тілінде)
4. Байбатша А.Б., Башилова Е.С. Семізбай кен орнындағы уран кендерінің құрамы мен технологиялық қасиеттері туралы мәселеге (Солтүстік Қазақстан). // Минералды Шикізатты Кешенді Пайдалану. – 2023. – №4(324). – Б. 5-12 (ағылшын тілінде)
5. Монгуш Г.Р. Туваның пайдалы қазбалар кен орындарын өңдеу үшін биотехнологияны қолдану. // Туваның жаңа зерттеулері: электрон. ғылыми. журнал. – 2010. – №1. – Б. 228-242. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-biotehnologii-dlya-pererabotki-mestorozhdeniy-poleznyh-iskopaemyh-tuvy> (орыс тілінде)
6. Жаппар Н.К., Шайхутдинов В.М., Канафин Е.Н. және т. б. Иммобилизацияланған бактериялармен ағынды биореактордағы темірдің тотығу тиімділігін зерттеу. // Биология. Медицина. География. – №3(91). – 2018. – Б. 77-83 (орыс тілінде)
7. Лорен С. Брайнер, Джей В. Бек, Делмар Б. Дэвис және Дин Г. Уилсон. Сульфидті минералдарды шаймалаудағы микроорганизмдер. // Өнеркәсіптік және инженерлік химия. Зерттеу. – 1954. – №46. – Б. 2587-2592 (ағылшын тілінде)
8. Муньос. Дж., Гонсалес Ф., Бласкес М., Баллестер А. Испандық уран кенін биосілтілеуді зерттеу. I бөлім: Уран кендерін өңдеудегі бактериялық сілтілеуге шолу. // Гидрометаллургия. – 1995. – Т. 38. – Б. 39-57 (ағылшын тілінде)
9. Бектай Е.К., Алтынбек А.Д., Турысбекова Г.С., Шидерин Б.Н. Уранды жерасты ұңғымаларында шаймалау кезінде рудалы қабаттағы биосілтілеу. // «Уран өнеркәсібінің өзекті мәселелері» атты ІХ-ші ғылыми-практикалық халықаралық конференцияның еңбектер жинағы. – 1 бөл. – 2019. – Б. 230-232 (орыс тілінде)
10. Алтынбек А.Д., Пернеш Е.Қ., Тұрысбекова Г.С., Бектай Е.К., Шедерин Б.Н. Уранның ПСВ кезіндегі темірдің бактериялық тотығу технологиясы. // «Уран өнеркәсібінің өзекті мәселелері» атты ІХ-ші ғылыми-практикалық халықаралық конференцияның еңбектер жинағы. – 1 бөл. – 2019. – Б. 233-235 (орыс тілінде)
11. Тұрысбекова Г., Алтынбек А., Бектай Е., Шидерин Б., Бектай М. Уранды жерасты ұңғымада шаймалау кезіндегі темірдің бактериялық тотығу технологиясы. Халықаралық фармацевтикалық зерттеулер журналы. – 2020. – 12(3). – Б. 2988-2993 (ағылшын тілінде)
12. Шидерин Б., Бектай Ю., Тұрысбекова Г., Алтынбек А. Уранның бактериялармен өзара әрекеттесуі (шолу). Геодезиялық Геология және тау-кен экологиясын басқару жөніндегі халықаралық Пәнаралық ғылыми геоконференция. – 2020. – Тамыз (1.2). – Б. 395-400 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Li M., Huang C.M., Zhang X.W., Gao F.Y., Wu X.Y., Fang Q. et al. Extraction mechanism of depleted uranium exposure by dilute alkali pretreatment combined with acid leaching. // Hydrometallurgy. – 2018. – No.180. – P. 201-209 (in English)
2. Bertan Tsoy, Saifilmalik Myrzakhmetov, Egor Yazikov, Alma Bekbotayeva, Yelena Bashilova. Application of radio-wave geointoscopy method to study the nature of spreading the solutions in the process of uranium underground leaching. // Mining of Mineral Deposits. – 2021. – No.4(15). – P. 1-7 (in English)
3. Yusupov H.A., Alyoshin A.P., Bashilova E.S., Tsoi B.V. Primeneniye peroksida vodoroda dlya intensifikaczii podzemnogo vy`shhelachivaniya urana [Application of hydrogen peroxide for intensification of underground uranium leaching]. // Obogashhenie rud. = Ore Enrichment. – 2021. – No.2(392) – P. 21-26 (in Russian)
4. Baibatsha A.B., Bashilova E.S. On the matter of composition and technological properties of uranium ores of the Semizbai deposit (North Kazakhstan). // Complex Use of Mineral Raw Materials. – 2023. – Issue No.4(324). – P. 5-12 (in English)

5. *Mongush G.R. Primenenie biotekhnologii dlya pererabotki mestorozhdenij poleznykh iskopaemykh Tuvy` [Application of biotechnology for processing mineral deposits of Tuva]. // Novy`e issledovaniya Tuvy`: e`lektronny`j nauchny`j zhurnal. = New studies of Tuva: electron. scientific journal. – 2010. – No.1. – P. 228-242. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-biotekhnologii-dlya-pererabotki-mestorozhdeniy-poleznykh-iskopaemykh-tuva> (in Russian)*
6. *Zhappar N.K., Shaikhutdinov V.M., Kanafin E.N. etc. Study of the efficiency of the oxidation of divalent iron in a flowing bioreactor by immobilized bacteria, Series «Biology. Medicine. Geography». – No.3(91). – 2018. – P.77-83 (in English)*
7. *Loren C. Bryner, Jay V. Beck, Delmar B. Davis, and Dean G. Wilson Microorganisms in Leaching Sulfide Minerals. // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 1954. – Vol. 46. – P. 2587-2592 (in English)*
8. *Munoz. J., Gonzalez F., Blazquez M., Ballester A. A study of the bioleaching of a Spanish uranium ore. Part I: A review of the bacterial leaching in the treatment of uranium ores. // Hydrometallurgy. – 1995. – Vol. 38. – P. 39-57 (in English)*
9. *Bektaı E.K., Altynbek A.D., Turysbekova G.S., Shiderin B.N. Biovy`shhelachivanie v rudonosnom sloe pri PSV urana [Bioleaching in the ore-bearing layer during underground well leaching of uranium]. // Sbornik trudov IX-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferenczii «Aktual`ny`e problemy` uranovoy promy`shlennosti». = Proceedings of the IX-th International scientific and practical conference «Actual problems of the uranium industry». – Part I. – 2019. – P. 230-232 (in Russian)*
10. *Altynbek A.D., Pernesh E.K. Turysbekova G.S., Bektaı E.K., Shiderin B.N. Tekhnologiya bakterial`nogo okisleniya zheleza pri PSV urana. [Technology of bacterial oxidation of iron at uranium ISL]. // Sbornik trudov IX-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferenczii «Aktual`ny`e problemy` uranovoy promy`shlennosti». = Proceedings of the IX-th International scientific and practical conference «Actual problems of the uranium industry». – Part I. – 2019. – P. 233-235 (in Russian)*
11. *Turysbekova G., Altynbek A., Bektay E., Shiderin B., Bektav M. Technology of bacterial oxidation of iron in underground uranium borehole leaching. // International Journal of Pharmaceutical Research. – 2020. – 12(3). – P. 2988-2993 (in English)*
12. *Shiderin B., Bektay Y., Turysbekova G., Altynbek A. Uranium-Bacteria Interaction (Overview). International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. – 2020. – 2020-August (1.2). – P. 395-400 (in English)*

**Сведения об авторах:**

**Башилова Е.С.**, докторант Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [elenab84@mail.ru](mailto:elenab84@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9765-0426>

**Байбатша А.Б.**, д-р геолого-минералогических наук, профессор Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [baibatsha48@mail.ru](mailto:baibatsha48@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9521-7872>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Башилова Е.С.**, Satbayev University докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

**Байбатша А.Б.**, геология-минералогия ғылымдарының докторы, Satbayev University профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Bashilova E.S.**, doctoral student of Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Baibatsha A.B.**, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)