

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕ-СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ НАВОЙСКИЙ ГОРНО-
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ**

НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Металлургия»

На правах рукописи

БОТИРОВА ГУЛНОРА ТОИРОВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ
ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА МЕТОДОМ
ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

Специальность :«Металлургия редких и радиоактивных металлов»

**ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание степени магистра технических наук**

Работа рассмотрена и
допускается к защите
Зав. кафедрой «Металлургия»
_____ **Донияров Н.А.**
« ____ » _____ 2011 г.

Научный руководитель:
_____ д.т.н., проф. **Сатаров Г.С.**
« ____ » _____ 2011 г.

НАВОИ-2011 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. РАЗНОВИДНОСТИ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА	
1.1. Геология и геохимия урана в месторождениях инфильтрационного типа	7
1.2. Основы технологии добычи геотехнологическим способом.....	8
1.3. Безреагентный способ.....	11
1.4. Миниреагентный способ.....	13
1.5. Выщелачивание урана в жестком кислотном режиме.....	14
1.6. Карбонатное и слабокарбонатное выщелачивание урана.....	17
1.7. Бикарбонатно-кислотное выщелачивание урана.....	19
1.8. Гипохлоридные способы переработки карбонатных руд	20
1.9. Выщелачивание урана с использованием природных реагентов.....	21
1.10. Бактериально-химические выщелачивание урана.....	23
1.11. Выщелачивание попутных полезных компонентов из руд.....	27
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПО ОЦЕНКИ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА ПВ	
2.1. Методика исследования физико-химических свойств пород.....	30
2.2. Методика проведения процесса подземного выщелачивания.....	30
2.3. Микробиологическая характеристика откачных растворов.....	31
2.4. Получение адаптированной ассоциации геохимические активных микроорганизмов.....	37
ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ УРАНА В ПОДЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ	
3.1. Характеристика месторождения Кетменчи.....	44
3.2. Нарботка бактериальных растворов в опытно-промышленных условиях.	46
3.3. Выщелачивание урана бактериальными растворами в режимах "push-pull".	49
3.4. Выщелачивание урана в непрерывном режиме.....	51
3.5. Результаты и анализ опытных работ.....	56
ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	58
ГЛАВА 5. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТЬ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРОЕКТА.....	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	63
ЛИТЕРАТУРА.....	65

ВЕДЕНИЕ

Актуальность. Навоийский ГМК является единственным в стране предприятием, осуществляющим добычу урана и производство на экспорт готовой продукции в виде закиси и окиси урана. В последние десятилетия в Узбекистане и за рубежом получили широкие распространения геотехнологические способы добычи полезных ископаемых, имеющие ряд серьёзных преимуществ перед традиционным и дорогостоящим горным способом. Среди них особое место занимает геотехнология подземного выщелачивания (ПВ) металлов урана. В 1995г. в связи с низкой рентабельностью производства были закрыты последние урановые шахты и карьеры, и с этого времени добыча урана в НГМК полностью ведётся более экономичным и экологически чистым способом – способом скважинного подземного выщелачивания.

Прочные позиции Узбекистана на мировом рынке урана и рост спроса на уран является благоприятным фактором для дальнейшего развития уранодобывающей промышленности. Многие из гидрогенных месторождений приурочены к рыхлым песчаным породам, залегающим на значительных глубинах в условиях сильной обводнённости и характеризуется убогими рудами. Совокупность этих особенностей нередко исключают возможность разработки указанных объектов традиционными горными способами. Геологические и гидрогеологические условия определяют высокую эффективность для освоения прогрессивного метода подземного выщелачивания урана скважинными системами на месте залегания руд.

Выбор и применение рационального способа вскрытия продуктивных горизонтов геотехнологическими скважинами – одна из важнейших и сложнейших проблем современной техники, скважины являются основным звеном в техническом оснащении предприятий подземного выщелачивания. В технологическом процессе через скважины в пласт подают выщелачивающий раствор и отбирают из пласта продуктивные металлосодержащие растворы, контролируют движение технологических растворов в продуктивном горизонте и полноту извлечения полезного ископаемого.

Поэтому разработка новых и усовершенствование известных способов геотехнологического способа извлечение урана с высокой степени извлечения и низкой себестоимостью является *актуальной задачей геотехнологии*. Это особенно актуально для доизвлечения урана из отработанных участков ПВ.

Состояние проблемы Решением Кабинета министров Республики Узбекистан выпуск урановой продукции НГМК должен быть увеличен в 1,8 раза. В связи с этим возникла острая необходимость поиска альтернативных традиционным способам извлечения урана технологий.

Применение бактериальной интенсификации выщелачивания урана известно еще с 60-х годов XX века и основывается на использовании тионовых железоокисляющих микроорганизмов. Эти бактерии способны окислять многие сульфидные минералы, а также металлы медь, железо, селен, уран и др. В природе существует прямое окисление урана, основанное на способности этих бактерий получать энергию от окисления урана, что свидетельствует о дыхательной универсальности этого микроорганизма. Однако в промышленных условиях большая роль в процессах выщелачивания урана принадлежит трехвалентному железу - так называемому биологическому железу, образуемому в процессе бактериально-химических реакций и обладающему высокой окислительной активностью в сравнении с обычным трехвалентным железом.

Одним из направлений интенсификации процесса подземного выщелачивания (ПВ) урана является использование различных окислителей, выбор и практическое применение которых для целей ПВ имеет ряд сложностей и ограничений. Применение биотехнологии в процессах гидрометаллургии уменьшает загрязнение окружающей среды и позволяет вовлечь в переработку руды, извлечение металлов из которых традиционными методами неэкономично. В настоящее время методы биогеотехнологии успешно используются в мировой практике для извлечения целого ряда металлов таких, как медь, золото, уран и др.

В НГМК имеется положительный пример использования в процессе подземного выщелачивания урана такого окислителя как трехвалентное железо, получаемого в результате деятельности микроорганизмов - тионовых бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Опытными полевыми испытаниями, выполненными совместно ЦНИЛом и Институтом микробиологии АН РУз на месторождении Бешкак в РУ – 5, была показана принципиальная возможность применения метода бактериально – химического окисления урана.

На месторождении Кетменчи ЮРУ имеются участки, отработанные, более чем на 70%. Так, на залежи 33-1 – 1 блока 654 извлечение урана по состоянию на 1 августа 2010 года составило по скважине 654-07 91,7%, по скважине 654-09 69%. Для доизвлечения оставшихся запасов ЦНИЛом и Институтом микробиологии АН РУз предложен метод бактериального выщелачивания урана.

Приведенный анализ литературных источников показывает, что метод бактериально–химического окисления урана может стать реальным и перспективным способом улучшения технико–экономических показателей ПВ.

Цель и задачи магистерской диссертации: заключается в исследовании возможности бактериального подземного выщелачивания урана из отработанных залежей месторождения Кетменчи, (участка Южный, залежь 33-1-1) в динамических условиях.

Для достижения цели исследований потребовалось решить ряд **задач**, а именно:

1. Выбор методик исследования природных геохимических ассоциаций активных микроорганизмов в исследуемых участках
2. Оценка геохимической особенности месторождения Кетменчи и определение микробиологической характеристики откачных растворов
3. Получение адаптированной ассоциации геохимически активных микроорганизмов.
4. Нарботка бактериальных растворов в опытно-промышленных условиях.
5. Выщелачивания урана бактериальными растворами в режимах "push-pull" и в непрерывном потоке.
6. Анализ полученных результатов и определение технико-экономических параметров предложенного проекта.

Объектом исследований отработанные залежи месторождения Кетменчи, (участок Южный, залежь 33-1-1)..

Научные основы проекта. Известно, что в природе энергичный вынос урана из пород происходит в условиях как химического, так и бактериального окисления пирита, входящего в состав этих пород. Однако, основная роль в процессах биовыщелачивания урана из руды принадлежит трехвалентному железу, получаемому в результате роста автотрофного микроорганизма *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Окисление закисного железа для *A. ferrooxidans* и окисление серы для *A. thiooxidans* являются, как известно, энергетическими процессами, необходимыми для их жизнедеятельности. Эти микроорганизмы способны окислять различные сульфидные минералы. В результате этих процессов образуется трехвалентное железо и серная кислота. Полученное Fe^{3+} окисляет U^{4+} до U^{6+} , который растворим в сернокислых растворах.

Научная новизна работы:

1. В опытном варианте показана возможность при совмещении режимов "push-pull" и динамического имеется возможность доизвлечения урана в 2,6 раза из отработанных скважин с использованием бактериальных растворов на основе местных штаммов геохимически активных микроорганизмов *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*.
2. Показана возможность адаптации бактерии к урансодержащим растворам.
3. Определена зависимость удельной плотности бактерии от концентрации растворенного кислорода в сернокислотном растворе.

4. Для увеличения эффективности процесса бактериального выщелачивания необходимо произвести закрепление бактерии в начальном процессе выщелачивания не менее чем 20 дней.

Практическая ценность работы заключается в создании комплекса геотехнологических приемов, способов и рекомендаций с целью усовершенствования микробиологических способов технологии подземного выщелачивания урана.

Промышленное внедрение предложенного способа позволит дополнительно получить в год с одной скважины до 800 кг металла. Ожидаемый экономический эффект при этом составит 60-70 млн. сум в год.

С целью увеличения эффективности опытно-промышленных работ по доизвлечению урана из отработанных скважин с использованием бактериальных растворов рекомендуется осуществить реализацию процесса в замкнутом цикле с локальной сорбцией откачиваемых растворов.

Апробация:

По теме диссертации подготовлен тезис доклада для общепрофессиональной конференции.

ГЛАВА 1. РАЗНОВИДНОСТИ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

1.1 Геология и геохимия урана в месторождениях инфильтрационного типа

Известно около 100 минералов урана; промышленное значение имеют 12 из них. [1-3]. В ходе геологической истории содержание урана в земной коре уменьшилось за счёт радиоактивного распада; с этим процессом связано накопление в земной коре атомов свинца и гелия.

Урановые руды имеют две типа происхождения: эндогенные, экзогенные. Западный Узбекистан относится к пустынным районы активно идет физическое выветривание, вызванное резким колебанием температур, в пустынной местности. Проявление интенсивного физического выветривания рыхлый материала. В условиях пустынного климата с его огромными амплитудами суточных температур (до 50 °С) воздуха и поверхности литосферы [1-3]. .

В результате широко внедрения и совершенствования геотехнологических способов добычи урана непосредственного на месте залегания руд коренном образом изменилось отношение промышленности к источникам минерального сырья, считавшихся с позиции традиционных способов отработки нерентабельными из-за слишком низких содержания урана и сложных горно - технических и гидрогеологический условий залегания руд коренном образом изменилось отношения промышленность к источникам минеральным из-за слишком низких содержание урана и сложный горно - технических и гидрогеологический условий залегания орудинение [1-3]..

Многолетний опыт изучено геологического строения и эксплуатации, урановых месторождениями способами подземного выщелачивание (ПВ) показывает [4-12].., что во многих случаях они является комплексными и помимо урана содержат другие полезные компоненты: селен, молибден, ванадий, иттрий, скандий, редкие земли, рений, золото серебро, и т.п. Таким образом, дальнейшие развитие геотехнологический способ добычи полезных ископаемых из земных недр открывает новые возможности для полного удовлетворения потребности народного хозяйство в остродефицитных материалах и изделиях, содержащих редкие и рассеянные элементы, а также дополнительного получения благородных металлов.

Для оценки возможности проведения и наиболее эффективной реализации процесса ПВ на практике необходимо всесторонние, значительно более полное и детальное, чем это предусматривается для горного способа добычи, изучения металогических,

фильтрационных, минерало-геохимических особенностей пород и руд, условий рудных залежей для получения детальной качественной количественной характеристике орудения.

Узбекистан располагает достаточным потенциалом разведанных и подготовленных запасов полезных ископаемых, пригодных к обработки геотехнологическими способами; их вклад в горно – добывающую промышленность будет из года в год возрастать

1.2. Основы технологии добычи геотехнологическим способом

Подземное выщелачивание как новый, прогрессивный метод в настоящее время широко применяется при добыче урана [9-16]..

При использовании этого метода отпадает необходимость строительства дорогостоящих рудников или карьеров и гидрометаллургических заводов, расходования многих материалов; сокращается численность работающих на строительстве и при эксплуатации месторождений; можно разрабатывать месторождения с бедным содержанием урана. Дальнейшее расширение добычи урана будет сопровождаться совершенствованием метода подземного выщелачивания, его технических средств и технологических процессов.

Процессы добычи полезного ископаемого методом ПВ включают приготовление рабочих растворов и оборотной воды и др. Вышеперечисленные процессы добычи ПИ методом ПВ проводятся в определенной последовательности, нарушение одного процесса приведет в целом к нарушению режима добычи. [15-18]. Закисление рудного тела является более длительным процессом при добыче методом ПВ, однако, при фильтрационном режиме из-за низкой скорости фильтрации и большого объема рудного тела, после поступления первых порций закисленной руды продуктивного раствора в откачные скважины, процесс принимает непрерывный характер. На участках ПВ проводятся работы по ускорению реагирования кислоты с массивом, для чего рабочие растворы насыщаются кислородом [12-16].

Подъем продуктивных растворов из скважин производится двумя способами: эрлифтный и глубинными погружными насосами. Оборудование, применяемое для откачки продуктивных растворов из откачных скважин, были эрлифты. Также созданы погружные скважинные насосы коррозионно-стойкого исполнения, используются в месторождениях ПВ.

В системе разработки месторождения методом ПВ буровая скважина является основным техническим элементом геотехнологического процесса. По своему назначению, составу и объему выполняемых функций буровые скважины, используемые при разработке

месторождений методом ПВ, принято подразделять на технологические, бурражные, наблюдательные, контрольные и разведочные.

В зависимости от схемы движения растворов и схем расположения технологических скважин в системе ПВ выделяются три группы – с площадным (ячеистым), линейным и комбинированным расположением скважин [19-28].

1. Площадные системы расположения скважин обычно применяют для разработки залежей, к осадочным слоистым неоднородным рудам, в условиях относительно низкой водопроницаемости руд ($K_{\phi} = 0,1-1$ м/сут).

Эти системы представляют собой равномерное чередование на площади залежи откачных и закаченных скважин, образующих между собой ячейки (треугольные, квадратные, гексагональные и др.) с небольшими (8-20м) между скважинными расстояниями.

2. Линейные системы расположения скважин состоят из последовательно чередующихся на площади залежей рядов откачных и закаченных скважин.

В зависимости от фильтрационных свойств и однородности рудного массива расстояния между рядами и скважинами колеблется в широких пределах (15-50м и более). Добычная ячейка обычно состоит из двух закаченных и одной откачной скважины. Линейные системы наиболее эффективно при разработке месторождений сложенных хорошо водопроницаемыми рудами породами ($K_{\phi} > 1,0$ м/сут).

Выщелачивание является основной операцией при извлечении урана на месте залегания руды, так как содержание полезного компонента в них ничтожно мало.

Для извлечения урана обычно используют водные растворы кислот или солей карбонатов щелочных металлов. Наиболее дешевым растворителем для ПВ является серная кислота. Для интенсификации процесса при подземном выщелачивании некоторых руд в растворитель добавляется окислитель. В качестве окислителя могут быть использованы: кислород, перманганаты, перекись водорода, азотсодержащие окислители и др.

Процесс выщелачивания включает три основные стадии:

- транспортировку растворителя к поверхности выщелачиваемых пород;
- химическую реакцию с образованием растворимых солей;
- транспорт растворенных продуктов реакции в объем раствора.

В процессе выщелачивания происходит снижение проницаемости массива. Это явление называется кольматацией. Борьба с кольматацией является одним из путей эффективной обработки месторождения ПВ.

Геотехнологические условия. Под геотехнологическими условиями урановых месторождений учкудукского типа понимается комплекс природных факторов, существенным образом влияющих на возможность применения, кинетику и результаты способа подземного выщелачивания (СПВ) урана. Изучение таких условий имеет некоторые особенности, а выбор технологий СПВ базируется на выделении благоприятных и неблагоприятных факторов с районированием месторождений по характерным признакам. Указанные особенности выявляются в процессе исследований:

К решающим факторам, определяющим принципиальную возможность разработки месторождений способом скважинного подземного выщелачивания, относятся продуктивность руд и проницаемость пород продуктивных горизонтов. Месторождения инфильтрационного типа рекомендуются к отработке этим способом только в том случае, если продуктивный горизонт представлен водопроницаемыми породами и обводнен, а полезные компоненты в руде представлены минеральными формами, легко вскрываемыми слабыми водными растворами кислот или солей щелочных металлов [12-18].

К главным факторам, определяющим технико-экономические показатели подземного выщелачивания, относятся [12-14].

- - соотношение проницаемости пород и руд в продуктивном горизонте;
- глубина залегания рудного тела, пьезометрический уровень и напор подземных вод (влияет на себестоимость подъема растворов);
- линейный коэффициент рудоносности (отношение мощности руды к мощности горизонта), влияющий на степень разубоживания растворов;
- наличие надежных водоупоров.

Примером второстепенного фактора в условиях Кызылкумского региона является температура пластовых вод. В реальных условиях главные факторы могут стать решающими.

В районе месторождения может быть несколько водоносных горизонтов, от которых продуктивные горизонты должны быть надежно ограждены водоупорами. Наличие "гидравлических окон" между водоносными горизонтами способствует разубоживанию или растеканию растворов.

Глубина залегания рудовмещающего горизонта влияет на конструкцию скважин, стоимость их сооружения и эксплуатации. В Кызылкумском регионе преобладают месторождения с глубиной залегания более 100 м (месторождения Бшкак, Лявлякан, Кетменчи, Северный и Южный Букинай, Айтымский участок Учкудука и др.). В настоящее время технически методом СПВ могут быть освоены месторождения с глубиной залегания продуктивных горизонтов до 700 м.

На подземное выщелачивание оказывает влияние большое число факторов, а изучение геотехнологических условий месторождений является основой для количественной и качественной оценок взаимосвязей природного и промышленного компонентов природно-промышленной системы. При этом после выделения факторов, определяющих принципиальную пригодность месторождения к применению подземного выщелачивания, устанавливаются факторы, которые требуют адаптации способа СПВ к конкретным геологическим и гидрогеологическим условиям.

1.3. Безреагентный способ

Эффективность выщелачивания урана в значительной степени определяется количеством растворенного в пластовых водах кислорода, из-за недостатка которого не всегда удаётся получить продуктивные растворы требуемого качества. Применение диспергаторов для повышения степени насыщения рабочих растворов кислородом воздуха при небольшом гидростатическом давлении малоэффективно [12].

Поэтому для решения этой задачи были испытаны такие технические решения, как:

- подача сжатого воздуха в пласт с вытеснением пластовой воды;
- повышение давления эжектируемого воздуха;
- подача сжатого воздуха через диспергатор, опущенный в скважину на 60-80 м ниже уровня воды.

Нагнетание в пласт сжатого воздуха целесообразно осуществлять циклично (например, 2 час - нагнетание, 1 час – перерыв). Такой режим работы скважин предотвращает «прострелы» сжатого воздуха, способствует равномерному его распределению в пласте и позволяет избежать газовой кольтматации пород.

Общая продолжительность подачи воздуха определяется по формуле

$$T = \frac{S * m_b * \beta * k}{q}, \text{ час} \quad 1.1$$

где T- продолжительность обработки пласта сжатым воздухом, час;

S - 1600÷5000м² – площадь влияния скважины;

m_b- мощность пород, обрабатываемая воздухом, м;

q – расход воздуха в скважине (q=60 м³/час для закаченной и 120 м³ для откачной скважины);

β- коэффициент эффективной пористости пород, обрабатываемой воздухом, определяется по формуле

k =1,1÷1,3 – коэффициент, учитывающий потери воздуха.

Мощность слоя пород, обрабатываемая воздухом, определяется по формуле

$$m_b = m_{np.g.} + 3 \quad 1.2$$

где $m_{np.g.}$ – мощность продуктивного горизонта, м.

Количество одновременно работающих скважин определяется по формуле

$$N = \frac{Q}{q} \quad 1.3$$

где Q – производительность компрессора, м³/час.

Давление сжатого воздуха, требуемое для вытеснения воды из пласта, атм;

$$P = \frac{L_\phi - L_в}{10} + 0,5 \quad 1.4$$

где P – давление сжатого воздуха для вытеснения воды из пласта, атм.

L_ϕ – глубина установки фильтра, м.

$L_в$ – глубина статического уровня пластовой воды, м.

При многоярусном расположении рудных залежей выщелачивание ведется одновременно на нескольких уровнях при этом применяется пакерное устройство при поинтервальном газонасыщении пласта.

С увеличением глубины залегания руд создавать газовую среду в пласте намного труднее, поскольку потребуется значительно большее количество сжатого воздуха и давление, определяемой величиной пластового давления. Например, для насыщения пласта воздухом в опытном блоке 3 участка ПВ-105 площадью 3600 м² потребуется 60 тыс.м³ воздуха (пластовое давление до 4 кг/см²), то для насыщения такого же объема пласта на месторождении Майлисай (давление 30 кг/см² необходимо воздуха в 7,5 раз больше (450 тыс. м³). Для этого потребуется 35 суток непрерывной работы компрессора СД-9/101 – время соизмеримое с продолжительностью закисления блока при кислотном выщелачивании, т.е. нет смысла окислять пласт сжатым воздухом. Попытки, предпринятые в течение нескольких суток с помощью компрессора СД-9/101 на месторождении «Майлисай», а также на участке «Сургалы» (пластовое давление 15 кг/см²) не дали ожидаемого результата. При этом в соседних скважинах (на расстоянии 20-30 м от нагнетательной) газовыделения не отмечалось, а уровень воды в них повышался всего лишь на 1-2 м, и не отмечалось также существенного увеличения продуктивности откачиваемых растворов.

Второй способ насыщения растворов кислородом предусматривает эжекцию воздуха с повышенным давлением через отверстие (диаметром 2-3 мм) в растворопадающем шланге. Для этого каждая закаченная скважина оборудовалась герметичным оголовком, в котором давление поддерживалось на уровне 1,5-3,0 кг/см². При этом концентрация кислорода возросла с 12-15 до 60-75 мг/л.

Опробованная схема газонасыщения рабочего раствора кислородом является вполне работоспособной и может с успехом использоваться при дефиците сжатого воздуха. Анализы опытов показали, что приемлемая эжекция воздуха ($> 0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$) достигается при приемистости скважин $> 2 \text{ м}^3/\text{ч}$ и динамическом уровне растворов $\geq 30 \text{ м}$.

В третьем способе для насыщения рабочих растворов кислородом воздуха через диспергатор в каждую закаченную скважину под воду на глубину 60-80 м на полиэтиленовом шланге опускался пористый диспергатор, через который подавали сжатый воздух в количестве 1-2 $\text{ м}^3/\text{час}$, что позволило поддерживать концентрацию кислорода в рабочих растворах на уровне 50-70 мг/л.

Таким образом, важнейшей задачей, которую необходимо решить при внедрении технологии выщелачивания с предварительным окислением продуктивного пласта, является наиболее рациональный способ насыщения рабочих растворов кислородом. Для неглубокого залегания руд (до 100-150 м) производится принудительная продувка пласта сжатым воздухом.

Имеющиеся другие способы (эжекция воздуха повышенного давления, гидрозатвор с погружным диспергатором и др.) позволяют использовать высокое гидростатическое давление в пласте для повышения степени растворения кислорода.

Однако, это менее эффективные по сравнению с нагнетанием воздуха в пласт способы, поскольку в процессах окисления участвуют не газовая, а жидкая фаза, при которой скорость окисления определяется проницаемостью пласта. Тем не менее, использование сжатого воздуха для насыщения кислородом рабочих растворов позволяет повысить концентрацию кислорода в них до 150 мг/л и существенно повысить показатели подземного выщелачивания.

1.4. Миниреагентный способ

Таким образом, технология выщелачивания урана с окислением продуктивного пласта кислородом и генерацией в недрах бикарбонат- иона обеспечивает получение высоких результатов, экономию реагентов и простота в использовании [12-14, 32-34]..

В целом за два года экспериментальных работ интенсивность извлечения запасов участка БКВ-2 превысила 5% в месяц при удельном расходе кислоты 3,3 кг/т (средняя концентрация 0,9 г/л) и кислорода 0,5 кг/т (средняя концентрация 135 мг/л). При извлечении урана 70 % Ж:Т = 3,7.

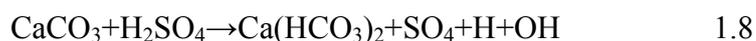
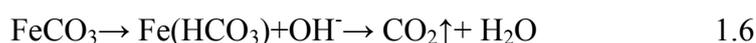
В 1998 г. на месторождении Сугралы совместно с фирмой "Кожема" (Франция) проведены технологические исследования по выщелачиванию урана рабочими растворами,

содержащими 0,3 г/л серной кислоты и 230-300 мг/л кислорода, что привело к интенсификации процесса до значений, превышающих средние показатели сернокислотного выщелачивания в "жестком" режиме.

Таким образом, предложенная технология выщелачивания урана с окислением продуктивного пласта кислородом и генерацией в недрах бикарбонат-иона путем введения в рабочий раствор небольшого (< 5 г/л) количества серной кислоты обеспечивает получение высоких результатов, экономию реагентов и проста в реализации.

1.5. Выщелачивание урана в жестком кислотном режиме

При подаче серной кислоты ($H_2SO_4+O_2$) вскрытие руды начинается при $pH < 4$. При этом гидрокарбонат-ион HCO_3^- , а вместе с ним гидрокарбонаты других элементов, содержащихся в пластовых водах, разлагаются [12-22].



В процессе разложения карбонатов также начинает выщелачиваться и уран. При этом находящийся в руде нерастворимый окисляется кислородом до растворимого U (IV) – уранил-катиона.



Уранил-катион легко вступает в реакцию бикарбонат-ионом с образованием не осаждаемого карбонатного комплекса:



Этот комплекс (уранилкарбонат-анион) устойчив при падении ЗР до 3,5, а затем переходит в сульфатную форму:



При выпадении в осадок Ca, Fe и Al происходит соосаждение части растворенного урана. Для предотвращения такого процесса необходимо плавно снижать pH в пласте. При $pH < 2.7$ осадки гидроксидов металлов начинают растворяться, и уран переходит обратно

в раствор. При pH <2.7 в пласт можно подавать кислород без риска повторного переосаждения урана. Однако при pH начинается вскрытие сидерита FeCO₃ с переходом Fe(II) в раствор и его окислением Fe(III) легко осаждающегося при pH<2,7.

Во избежание этого процесса необходимо обеспечить равномерную проработку кислотой всей рудной зоны.

В области pH<3,5-4,0 диоксид урана под действием кислорода и серной кислоты продолжает интенсивно переходить в раствор:



Сульфатный комплекс уранила (уранил-сульфат-анион) устойчив вплоть до pH=7-8, когда происходит его разрушение за счет выпадания в осадок гидроксида:



Комплексы $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2]^{2-}$ и $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$ вместе могут сосуществовать в области pH= 3,5-7,5.

Таким образом, серно-кислотное выщелачивание урана характеризуется необходимостью точного соблюдения параметров технологического процесса и может быть эффективно применено на месторождениях с высокой проницаемостью при низкой карбонатности пород продуктивных горизонтов.

При содержании H₂SO₄>10 г/л происходит интенсивная химическая кольматация пласта с катастрофической потерей проницаемости и экранированием рудных материалов пленкой новообразований, трудно растворимых в серной кислоте, что влечет за собой снижение извлечения урана.

Бескарбонатные руды (содержание CO₂ ниже 1%) обладают высокой вскрываемостью растворами серной кислоты (5-30 г/л). Степень извлечения урана из руд высокая (85-97%), удельные расходы реагента относительно низкие (25-80 кг/кг) урана и 5-12 кг/т горнорудной массы.

Повышение температуры процесса с 25 до 50⁰ С значительно (до двух раз) интенсифицирует выщелачивание урана из коффинитовых руд (USiO₄ – уран-силикат) и слабо влияет на выщелачивание урана из оксидных руд.

Увеличение скорости фильтрации выщелачивающих растворов приводит к пропорциональному ускорению процесса и снижению удельного расхода реагентов.

На основании широкого комплекса лабораторных и опытно-промышленных геотехнологических исследований установлены следующие закономерности фильтрационного выщелачивания урана сернокислотными растворами:

1. Практически линейная зависимость скорости движения фронта выщелачивания от скорости фильтрации. При увеличении скорости фильтрации концентрация металла в растворе не изменяется, поскольку пропорционально возрастает скорость продвижения фронта выщелачивания.

2. Прямая функциональная зависимость скорости выщелачивания от концентрации растворителя. Процесс выщелачивания ускоряется с увеличением концентрации серной кислоты при одинаковой скорости фильтрации растворов.

3. Экспоненциальная зависимость содержания металла и продуктивных растворов от отношения длины пути к скорости фильтрации. Максимальная концентрация полезного компонента определяется отношением длины пути к скорости фильтрации (x/v).

4. Переотложение металлов по пути фильтрации на подвижном (нейтрализационном) и восстановительном геохимических барьерах.

В процессе сернокислотного выщелачивания продуктивные растворы (содержание урана 10-20 мг/л) на многоскваженных участках (расстояние между закачными и откачными рядами 30-50м) были получены в основном через 20-60 суток после начала опытов, а на двухскваженных (расстояние между закаченными и откачными скважинами 8-15 м) – через 7-15 суток.

Средние концентрации урана в растворах ПВ колебались от 28 мг/л (Майлисай) до 200 мг/л (Северный Канмех) и зависели от относительной продуктивности пласта. Максимальные концентрации достигали 300-600 мг/л (Сев. Канмех и Бешкак). Удельный расход кислоты на месторождениях Кызылкумского региона превышали 100 кг/кг урана и зависели главным образом от карбонатности руд. Реагентоемкость рудовмещающих пород при этом колебалась от 8 до 21 кг/т.

При традиционном режиме подачи серной кислоты (30-20 г/л на стадии отработки) на первом этапе выщелачивания отмечался интенсивный рост концентрации урана в продуктивных растворах, после извлечения 20-30% урана из недр его концентрация в растворах постепенно снижалась.

Кислотоемкость пород продуктивных горизонтов, а также удельный расход серной кислоты на 1 кг урана прямым образом зависит от содержания в породах карбонатов. На ряде месторождений (Южный Букинай, Сев. Канмех, Кетменчи и др.) по степени карбонатности выделены три геотехнологических типа рудовмещающих пород: бескарбонатный (CO_2 до 1%), слабокарбонатный (CO_2 до 2,5%) и карбонатный (CO_2 более

2,5%). Удельный расход реагента для руд первого и второго типов обычно не превышает 200кг/кг, а реагентоемкость 20 кг/т. В кондициях для подсчета запасов урана последний сорт руд (айтымский горизонт месторождения Учкудук и Майлисай) применительно к сернокислотному забалансу.

1.6. Карбонатное и слабокарбонатное выщелачивание урана

Карбонатное выщелачивание урана изложено достаточно подробно в работах [3,4, 6, 18], а основные результаты исследований сводятся к следующему.

В результате опытов по карбонатному выщелачиванию урана (бикарбонат аммония, бикарбонат натрия и др.) с окислителем (перекись водорода) установлена меньшая (в 1,5-3,0 раза) по сравнению с сернокислотным процессом интенсивность выщелачивания. Степень извлечения урана, например, на месторождении Северный Канмех также несколько ниже (65-80%), чем при сернокислотном выщелачивании. Так же, как и при сернокислотном выщелачивании, проявляется зависимость концентрации урана в растворе от содержания в нем бикарбонат-иона и окислителя. Так, с увеличением содержания бикарбонат-иона с 1 до 2 г/л и перекиси водорода с 0,5 до 1 г/л концентрация урана и интенсивность процесса повышалась в два раза при одновременном увеличении (до 50%) удельного расхода реагентов. Переотложение урана по пути фильтрации растворов происходит на подвижном восстановительном барьере.

Слабокарбонатные и карбонатные рудовмещающие породы требуют значительного (200-300кг и более) удельного расхода серной кислоты, что делает нецелесообразным отработку залежей такого типа. Для руд данного типа используется слабокислотная технология извлечения урана, которая основана на переходе карбонатного вещества из породы в раствор в виде иона HCO_3 при подкислении ($\text{pH}=4-4,5$) пластовой серной кислотой и насыщения ее кислородом воздуха или другим окислителем.

Протекающие при этом реакции описываются уравнениями Из реакции следует, что выщелачивающий раствор обогащается бикарбонат - ионом.

При этом удельные расходы кислоты на 1т рудной массы составляют 1-2,5 кг, перекиси водорода от 1 до 4 кг/т при степени извлечения урана 80%. Однако, интенсивность процесса выщелачивания в этом случае невысокая ($\text{Ж:Т}=5\div 10$) соответственно невысока и концентрация урана в растворах. Тем не менее, этот способ является в ряде случаев более эффективным по сравнению с традиционным способом выщелачивания в «жестком» кислотном режиме.

Внедрение слабокислотного выщелачивания воздухом насыщенными растворами и предварительного насыщения пласта сжатым воздухом позволило существенно (15-20%) снизить себестоимость и ввести в разряд рентабельных часть ранее не пригодных для промышленного освоения айтымских рудных залежей.

При карбонатном выщелачивании урана ($\text{pH}=7$) идет медленный процесс вскрытия руды, так как карбонат- ион HCO_3 малоэффективный вскрывающий агент. Но при $\text{pH}=4$ в растворе находится один лишь бикарбонат-анион, который в присутствии кислорода образует с ураном [12,34].

Одновременно наблюдается растворение кальцита, доломита, сидерита с переходом Ca , Mg , Fe(II) в раствор в форме гидрокарбонатов. В форме гидрокарбоната Fe(II) легко окисляется до Fe(III) , выпадающего при этом в осадок. В отличие от сернокислотных карбонатные растворы не могут растворить эти осадки. Поэтому необходимо очень тщательно удерживать pH в пластовых водах на уровне не ниже 3,5-4. При этом весь уран переходит в карбонатную форму.

Оценка возможности отработки способом ПВ высококарбонатных (до 7% CO_2) проницаемых руд на месторождении Майлисай показали более высокую интенсивность процесса при использовании бикарбонатных растворов по сравнению со слабо сернокислотными. Однако для бикарбонатного способа требуются специальные мероприятия по частичному снижению жесткости природных вод, что осложняет отработку и уменьшает экономичную интенсивность процесса.

Исследования показали, что растворы бикарбонат аммония и натрия в интервале концентраций 2-5 г/л являются наиболее целесообразными и перспективными растворителями с точки зрения использования их в промышленном масштабе.

Как известно, в карбонатном способе выщелачивания большую роль играет окислитель, среди которых одним из наиболее доступных и дешевых является кислород. При повышении давления растворимость кислорода возрастает независимо от концентрации бикарбоната аммония, но при высоких карбонатов (15 г/л) она может снижаться на 50-70% по сравнению с низкими концентрациями (0,15 г/л).

Скорость растворения минералов урана из руд, представленных уранитом, не зависит от вида карбонатной соли при концентрациях 2 г/л бикарбоната натрия или аммония достигается практически одинаковое извлечение урана при равной продолжительности процесса ПВ. Дефицит комплексообразователя, объясняемый низкими его концентрациями в выщелачивающем растворе, ухудшает технологические показатели процесса, увеличивая его продолжительность, удельный расход раствора и уменьшает концентрацию урана в продуктивном растворе.

Фактором, контролирующим процесс растворения урановых минералов, в которых они представлены окислами в четырехвалентном состоянии, является концентрация окислителя, обеспечивающая полный перевод урана в раствор в виде комплексной соли трикарбоната уранита.

Использование карбонатных растворителей в условиях ПВ сопровождается снижением фильтрационных свойств рудовмещающих пород. Степень снижения фильтрационных свойств зависит от содержания глинисто-алевролитных фракций в составе пород, а также от концентрации растворителя.

Применение высоких концентраций карбонатных растворителей сопровождается снижением растворимости кислорода в рабочих растворах

1.7. Бикарбонатно-кислотное выщелачивание урана

Опыты слабокислотного выщелачивания показали значительную зависимость интенсивности протекания процесса от кислотности рабочих растворов.

При этом установлено, что при слабокислотном выщелачивании в пласте создается активная среда $pH=4-5$, при таком уровне pH растворенный уран выпадает в осадок в виде гидроокислов, поэтому его концентрация в продуктивном растворе будет невелика.

В целях улучшения показателей процесса выщелачивания приняли бикарбонатно-кислотное выщелачивание урана. На первом этапе выщелачивания в качестве растворителя используется бикарбонат-ион, находящийся в пластовых водах либо введенный дополнительно, а на втором – бикарбонат-ион, получаемый в результате разложения карбонатных минералов в породах продуктивного горизонта при вводе небольшого количества серной кислоты.

На месторождении Кендыктюбе (залежь 5-2, участок ПВ-92) было установлено, что 30-50% урана находится в IV-валентной форме и легко извлекается водой.

При проведении опытных работ продуктивный пласт был предварительно обработан сжатым воздухом, а рабочие растворы подкислялись серной кислотой до значений $pH=4-4,5$ (концентрация кислоты 0,12-0,4 г/л), что позволило при Ж:Т=3,5-4 достичь нормативной отработки запасов (70%) со средним содержанием урана в продуктивных растворах 24-26 мг/л.

На первом этапе эксперимента на месторождении Сургалы выщелачивание осуществлялось без применения искусственных растворителей. При этом через 30 суток концентрация урана в растворе достигла 100мг/л и некоторое время держалась на этом уровне. Через 40 суток после начала опыта в рабочий раствор была введена серная кислота

с понижением рН до 4, что привело к повышению интенсивности выщелачивания и росту содержания урана в продуктивном растворе до 204 мг/л. Соответствующим образом изменялась концентрация других компонентов продуктивного раствора.

Аналогичная схема выщелачивания проверялась на опытном участке БКВ-2 Сургалы (карбонатность пород продуктивного горизонта 0,8 %), на котором были проведены испытания бикарбонатно-кислотной схемы выщелачивания с использованием в качестве окислителя кислорода воздуха (концентрация в растворе 40-45 мг/л) и технического кислорода (концентрация в растворе 100-160 мг/л), а в качестве растворителя бикарбонат-иона пластовых вод (концентрация 250-300 мг/л). Серная кислота в количестве 0,44-1,25 г/л использовалась для генерации бикарбонат-иона в недрах.

Через 10-15 суток после подачи технического кислорода содержание урана в растворе увеличилось в течение 2-х месяцев до 60-70 мг/л при одновременном увеличении количества сульфат-иона до 700-750 мг/л и практически измененном содержании бикарбонат-иона.

Введение через 6 месяцев в рабочий раствор серной кислоты в количестве 0,85-1,25 г/л при одновременном увеличении концентрации кислорода до 130-150 мг/л, бикарбонат-иона – до 600 мг/л.

В результате опытов по бикарбонатному выщелачиванию урана (бикарбонат аммония, бикарбонат натрия) с окислителем (перекись водорода) установлена меньшая (в 1,5-3 раза) по сравнению с сернокислотным процессом интенсивность выщелачивания.

1.8. Гипохлоридное окисление руд

Лабораторные исследования показали, что щелочной раствор NaOCl является мощной и технологически эффективной системой для ПВ упорных урановых руд. Система $\text{NaOCl} - \text{NaHCO}_3$ обеспечивает весьма высокое извлечение U_3O_8 при большой скорости процесса [44]. Наиболее разбавленные и вследствие этого менее коррозионно-действующие растворы NaOCl проявляют самую высокую эффективность. Однако, в любом случае NaOCl - система, требующая коррозионностойкой аппаратуры. Трубопроводы и емкости для ПВ урана на участках обычно изготавливаются из стеклопластика. Однако, в случае применения NaOCl потребуются специальные насосы со всем дополнительным оборудованием, выполненным из коррозионностойкого материала, так как непрореагировавшая часть NaOCl может достигать откачных скважин; к тому же оставшийся гипохлорит натрия в продуктивных растворах должен быть разрушен перед

контактом с ионообменной смолой, так как зерна сорбента не могут выдержать длительного воздействия окислителей такого типа.

Также должно контролироваться образование в системе хлор-иона. Если NaOCl получается на месте за счёт реакции



То в растворе сразу же образуется NaCl. Эта проблема может быть решена получением NaOCl электролитически из раствора NaCl. Однако, окисляющее действие NaOCl генерирует NaCl:



Образование хлорид – иона будет депрессировать сорбцию $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ на смоле из-за конкуренции Cl^- . Органический углистый материал, генерируемый за счёт окисления углистого материала, может также потребовать вывода его из схемы, например, абсорбцией на активированном угле перед стадией ионного обмена. Наконец, потери части NaOCl, идущей на окисление попутных компонентов, таких как FeS₂, следует тщательно оценивать с точки зрения экономики процесса.

В опытах на колонках с растворами концентрации 0,1, 0,5, 1,0, 5,0% NaOCl получены высокие конечные значения извлечения U₃O₈ (90 %) ; самую высокую эффективность имеет раствор 0,1% NaOCl , однако, повышенная концентрация NaOCl обеспечивает наиболее быстрое извлечение урана с получением высоких его содержаний в растворе ; с точки зрения эффективности и скорости, оптимальным является использование раствора NaOCl - 0,2-0,3 %.

Сильный окислитель OCl⁻ разрушает органическое углистое вещество, экранирующее значительную часть коффинита в пробах и затрудняющее доступ раствора выщелачивания к минералу урана; присутствие растворенного органического вещества в растворе и данные экспериментального зондирования подтверждают этот вывод.

Значительные количества сульфатов, обнаруженные в растворах после выщелачивания в опытах с перемешиванием, указывают на окисление NaOCl сульфидов металлов (в частности, пирита), присутствующих в руде.

1.9. Выщелачивание урана с использованием природных реагентов

Процесс выщелачивания урана реагентами природного происхождения во многом сходен с процессом карбонатного выщелачивания, когда при pH=7 происходит окисление UO₂ до растворимого уранил-катиона:

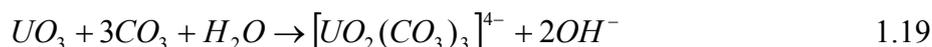
Попутно также происходит перевод урана в раствор за счет реакции с кислородом и гидрокарбонат –анионом пластовых вод:



При падении давления в зоне реакции скорость окисления урана уменьшается пропорционально понижению содержания в пластовых водах растворимого кислорода

Вопрос: Какая экологическая выгода применения природных реагентов?

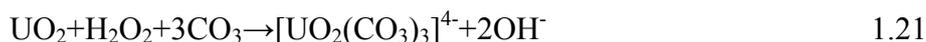
Растворение вторичных урановых минералов, в которых уран находится в шестивалентном состоянии, в карбонатных растворах протекает по следующей реакции



В насыщенных кислородом карбонатных растворах двуокись урана выщелачивается в соответствии со следующей реакцией:



В присутствии перекиси водорода как окислителя реакции растворение протекает по уравнению:



Общеизвестно, что естественные гидрокарбонаты кальция и магния присутствуют практически во всех подземных водах.

В результате опытных работ было установлено, что повышенная жесткость пластовых вод обусловила кольматацию фильтров и профильтрованных зон скважин карбонатом кальция, а наличие в рудовмещающем горизонте глинистых пропластков ухудшило проницаемость пласта в связи с пептизацией глин под воздействием слабощелочных карбонатных растворов.

При использовании для отмывки естественных пластовых вод данных месторождений степень извлечения урана превышал 70%. Все это свидетельствует о возможности извлечения пластовой водой значительной части урана, окисленного кислородом воздуха в пласте, и указывает на целесообразность возможности применения для этих целей «безреагентного» способа выщелачивания. Результаты опытно-промышленной отработки блока БКВ-3 по изменению концентрации урана в продуктивном растворе и степени извлечения во времени показывают, что за календарный год работы достигнуто:

- извлечение урана из недр – 80%;
- отношение Ж:Т=5;
- суммарный расход кислорода -6т;
- удельный расход кислорода – 0,6 кг/т породы или 1,5 кг урана.

Эффективность этого режима выщелачивания обусловлена тем, что он позволяет осуществлять добычу урана без существенных признаков химической коагуляции пласта скважин.

На протяжении длительного времени наиболее подходящим растворителем для СПВ считался бикарбонат аммония. Однако недостатки этого растворителя является его токсичность (ПДК для питьевой воды 0,5 мг/л) и высокая миграционная способность иона аммония.

В то же время выщелачивающие свойства гидрокарбоната кальция и бикарбоната аммония на гидрокарбонат кальция не ухудшает технологические показатели, с точки зрения – более приемлемая.

При этом химические процессы в продуктивном пласте описываются уравнениями:



Такая технология позволяет вести процесс карбонатного выщелачивания при минимальных затратах химреагентов, практически сохранит естественные фильтрационные свойства рудного пласта.

1.10. Бактериально-химические способы переработки техногенных залежей

Применение бактериальной интенсификации выщелачивания урана известно еще с 60-х годов XX века и основывается на использовании тионовых железooksисляющих микроорганизмов. Эти бактерии способны окислять многие сульфидные минералы, а также металлы медь железо, селен, уран и др. В природе существует прямое окисление урана, основанное на способности этих бактерий получать энергию от окисления урана, что свидетельствует дыхательной универсальности этого микроорганизма. Однако в промышленных условиях большая роль в процессах выщелачивания урана принадлежит трехвалентному железу - так называемому биологическому железу, образуемому в процессе бактериально-химических реакций и обладающему высокой окислительной активностью в сравнении с обычным трехвалентным железом.

Возможность и применение этих методов в крупномасштабных условиях показана на различных горнорудных предприятиях. Добыча урана с использованием микроорганизмов стала применяться еще в 60-годы двадцатого века в Португалии, Канаде, США, Франции.

Методами БВ на руднике Стенрок извлекали уран в течении ряда лет, при этом максимальная производительность составляла 6,8 тонн/месяц или 6,5% продукции всего

рудника. В течение года на руднике Милликен было получено методами БВ из подземных выработок 46,6 тонн урана [36-40]. Следует отметить, что производственные затраты при применении БВ гораздо ниже, чем при обычных способах переработки урановых руд.

Процесс кучного выщелачивания урана с использованием бактериальных растворов осуществлен на руднике Экуза на отвалах 20 и 60 тысяч тонн руды, в которой урановые руды ассоциированы с сульфидными минералами пиритом и халькопиритом. В начальный период в растворах, вытекающих из-под кучи, содержание урана колебалось от 5 – 10 г/л, то есть отмечался вынос водорастворимого урана. Впоследствии количество урана в растворе снизилось до 100 мг/л. Из этих руд извлекалось около 20 – 30 тонн урана в год [37].

Одним из направлений интенсификации процесса подземного выщелачивания (ПВ) урана является использование различных окислителей, выбор и практическое применение которых для целей ПВ имеет ряд сложностей и ограничений. Применение биотехнологии в процессах гидрометаллургии уменьшает загрязнение окружающей среды и позволяет вовлечь в переработку руды, извлечение металлов из которых традиционными методами неэкономично. В настоящее время методы биогеотехнологии успешно используются в мировой практике для извлечения целого ряда металлов таких, как медь, золото, уран и др. [36].

Приведенный анализ литературных источников показывает, что метод бактериально-химического окисления урана может стать реальным и перспективным способом улучшения технико-экономических показателей ПВ.

В НГМК имеется положительный пример использования в процессе подземного выщелачивания урана такого окислителя как трехвалентное железо, получаемого в результате деятельности микроорганизмов - тионовых бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Опытными полевыми испытаниями, выполненными совместно ЦНИЛом и Институтом микробиологии АН РУз на месторождении Бешкак в РУ – 5, была показана принципиальная возможность применения метода бактериально – химического окисления урана [45].

В 1999 году совместно с ИМБ АН РУз проведены лабораторные исследования по выщелачиванию урана на трех рудных пробах с использованием двух штаммов бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Установлено, что применение бактерий увеличивает извлечение урана по сравнению с контрольным опытом на 8-24% и при благоприятных условиях снижает расход серной кислоты. Процесс выщелачивания протекал более эффективно в пробах с преобладанием сульфидной серы. В лабораторных опытах по выщелачиванию урана с использованием бактериальных растворов применялась так же

биокультура, обработанная геомагнитным полем, после чего было установлено, что применение такой культуры сокращает время выщелачивания и снижает расход серной кислоты.

Таблица 1.1. . Рекомендуемые микроорганизмы для использования в процессе биоокисления

Микроорганизмы	Основные источники энергии	Температура (оптимальная), °C	Значения pH (оптимальное)
Род Acidithiobacillus			
A.ferrooxidans A.thiooxidans A.caldus	S ⁰ , Fe ²⁺ , сульфидные минералы S ⁰ , сульфидные минералы S ⁰ , тетрагидрат	5-40 (28-35) 5-40 (28-30) 30-52 (45)	1,2-6 (2,5-2,8) 0,5-6 (2-3,5) 1-4 (2,3-2)
Род Sulfolobus			
S.thermosulfidooxidans S.acidophilus S.sibiricus S.thermotolerans	Fe ²⁺ , S ⁰ , сульфидные минералы То же — "___"___	20-60(50) (40-50) 20-60 (55) 18-60 (40-42)	1,1-5 (1,7-2,4) (2) (2) 1,2-2,4 (2)
Род Acidimicrobium			
A.ferrooxidans	Fe ²⁺	25-60 (45-50)	1,5-5 (3)
Род Leptospirillum			
L.ferrooxidans	Fe ²⁺	20-40 (30)	1,5-4 (1,7-2,1)
Род Sulfolobus			
S.acidocaldarius S.solfataricus S.hakonensis S.metallicus	S ⁰ S ⁰ , Fe ²⁺ S ⁰ То же	55-80 (70) 50-89 (75-87) 50-80 (70) 50-75 (70)	1-5,9 (2-3) (3-5) 1-4 (3) 1-4,5
Род Metalloshpaera			
M.sedula	S ⁰ , Fe ²⁺ , сульфидные минералы	50-80 (75)	1-4,5
Род Acidianus			
A.brierleyi	S ⁰ , Fe ²⁺ , сульфидные минералы	45-75 (70)	(1,5-2)
Род Ferroplasma			
F.acidphilum	Fe ²⁺	15-50 (39-45)	1-2,5 (1,7-1,8)

В 2000 году на отработанном блоке месторождения Бешкак проведены два локальных полевых опыта в режиме push-pull с целью выявления принципиальной возможности крупно-масштабного культивирования бактерий в полевых условиях и последующего использования наработанной культуры для выщелачивания. В результате первого опыта, проведенного на закисленной и выведенной из эксплуатации (ввиду некондиционности содержаний) откачной скважине, продуктивность откачанного раствора возросла максимум в 25-30 раз, составив 641-773 мг/л. Эксперимент показал, что метод бактериально-химического окисления урана повышает эффективность процесса извлечения урана из отработанных блоков [45].

Для проведения укрупненных опытных работ по бактериальному выщелачиванию урана в непрерывном (фильтрационном) режиме для апробации нового метода интенсификации извлечения урана были составлены техническое задание на проектирование опытного участка и технологическая инструкция. В 2001 году на опытной ячейке ПВ-11 месторождения Бешкак проводились натурные испытания по использованию микроорганизмов. Была показана возможность извлечения урана с использованием микроорганизмов в режиме фильтрационного выщелачивания на уровне кислотного ПВ. При функционировании установки в непрерывном режиме концентрация урана в растворах бактериального выщелачивания увеличилась в 1,6 раза, в растворах контрольной ячейки кислотного выщелачивания – в 1,4 раза. За период испытаний извлечение урана из продуктивных растворов бактериального выщелачивания составило 41,5 %, из контрольной ячейки – 28,2%.

На месторождении Кетменчи ЮРУ имеются участки, отработанные, более чем на 70%. Так, на залежи 33-1 – 1 блока 654 извлечение урана по состоянию на 1 августа 2010 года составило по скважине 654-07 91,7%, по скважине 654-09 69%. Для доизвлечения оставшихся запасов ЦНИЛом и Институтом микробиологии АН РУз предложен метод бактериального выщелачивания урана.

Для исследований технологии бактериального выщелачивания были проведены также исследования на опытных скважинах ПВ месторождения Кетменчи, в результате проведения которых установлено следующее:

1. Показана пригодность технологии бактериального выщелачивания в режиме «пушпул» для доизвлечения урана из руд данного участка. Установлено, что применение биоокислителя увеличивает вынос урана в раствор в 3,8-4,5 раза.

2. Опытные работы на залежи 36 участка ПВ-1 позволили определить оптимальные параметры культивирования микроорганизмов в натуральных условиях при различных внешних воздействиях, оптимизировать работу установки и выдать рекомендации по организации наработки бактериальных растворов непосредственно на стационарной установке, размещенной на УППР рудника «К». Испытания показали необходимость более детальной оценки участка или блока для проведения работ по биоокислению.

3. Исследование на залежи 38-3 участка ПВ – 1 комбинированной схемы биовыщелачивания урана, совмещающей «пушпул» и динамический режим, позволило увеличить вынос урана в 3,8 раза. [7].

По результатам исследований была составлена и утверждена программа опытных работ, состоящая из нескольких этапов и включающая в себя разработку собственно самой программы, подготовку и монтаж оборудования, выбор и подготовку скважин, разработку

временных инструкций и методик, наработку бактериальных растворов в лабораториях и полевых условиях в необходимом количестве, проведение эксперимента в вариантах „пушпул” и в динамическом режиме [8]

В июле 2006 года на залежи 5-1 месторождения “Кетменчи” проведена аналогичная работа в режиме push-pull на двух скважинах Эксперимент показал принципиальную возможность интенсификации процесса ПВ методом бактериально-химического окисления урана.

1.11. Выщелачивание попутных полезных компонентов из руд

Геотехнологические исследования по оценке возможности попутного выщелачивания полезных компонентов (молибдена, рения, скандия и др.) из руд месторождений Учкудукского типа выполнены на основе использования сернокислотного и бикарбонатного способов [14].

Геотехнологические условия полиэлементного оруденения обследовались на всех разведываемых месторождениях (Букинай, Сабирсай, Сургалы, Кетменчи и др.) изучалось поведение редких элементов в продуктивных растворах, и оценивалась возможность переработки комплексных растворов ПВ.

Рений широко распространен на месторождениях учкудукского типа. Выполнено много опытов по фильтрационному выщелачиванию рения с применением растворов серной кислоты (5-20г/л), бикарбоната аммония (1-10 г/л) с окислителем (газообразный хлор). Изучались руды с исходным содержанием рения от 0,3 до 3,5 г/т. Установлено, что при использовании любых реагентов и пластовой воды без окислителя степень извлечения рения не превышает 20-30%. Использование окислителя в количестве эквивалентной концентрации кислорода (100-500мг/л), повышает степень извлечения рения из руд до 70-95 %. Средняя концентрация рения в растворах колеблется от 0,1 до 0,8 мг/л. Опыты показывают, что рений начинает извлекаться из руд несколько раньше урана.

Интенсивность выщелачивания рения при использовании окислителя (технический кислород 200-300 мг/л) не менее чем в два раза выше урана.

Молибден распространен ограниченно на месторождениях Центрально-Кызылкумской провинции. Геотехнологическими исследованиями испытывались руды с исходным содержанием молибдена от 0,02 до 0,04%. При использовании серной кислоты, бикарбоната аммония, пластовой воды из руд извлекались 30-60% молибдена. Добавление к этим растворам окислителя (перекись водорода) повышало степень извлечения до 80-96%.

Молибден попутно с ураном извлекался из продуктивных растворов ПВ на месторождении Сургалы с получением парамолибдата аммония.

Ванадий на месторождениях Центрально-Кызылкумской провинции является спутником урана на месторождении Канимех.

Для выщелачивания ванадия применялись растворы серной кислоты (5-15 г/л) и бикарбоната аммония (9-15 г/л). Степень извлечения ванадия различными реагентами без окислителя составляет 20-40%, а с окислителем в кислых растворах извлечение не превышает 60%. Средняя концентрация ванадия в продуктивных растворах при отсутствии окислителя составляла 20 мг/л, а в присутствии окислителя от 30-60 до 100-200 мг/л.

Результаты лабораторных и опытных работ подтвердили возможность успешного серноокислотного и карбонатного выщелачивания ванадия с использованием окислителей.

Селен на месторождениях учкудукского типа постоянно сопутствует урановому оруденению. В соответствии со спецификой локализации (самородной форме окисленных пород) для выщелачивания этого элемента необходима разработка самостоятельной геотехнологии.

В процессе опытов установлено, что селен достаточно хорошо переходит в раствор в кислой и карбонатной средах только в присутствии сильного окислителя (хлор). Кроме того, он интенсивно выщелачивается из руд растворами гидросульфида – сульфида натрия.

Концентрация селена в продуктивном растворе прямо зависела от исходного содержания в руде и применяемого для выщелачивания реагента. Для хлорированных растворов поташ и серной кислоты средние концентрации его колебались от 50 до 200 мг/л, при максимальном значении до 500 мг/л, а для растворов сульфида натрия – соответственно 100-2000 и 250-7500 мг/л.

Удельные расходы реагента составили:

- для сульфидного способа 2-10 кг/т и 8-40 кг/кг;
- для хлорно-карбонатного 13 кг/т поташа и 5-10 кг/т хлора;
- для хлорно-серноокислотного способа 10-15 кг/т, 100-120 кг/кг серной кислоты и 0,8-1 кг/кг хлора.

Процессы выщелачивания селена из недр показали, что для подземного извлечения из руд полиэлементных месторождений требуются более жесткие, чем для урана, рения и молибдена, режимы выщелачивания с применением более сильных реагентов и окислителей. В ходе экспериментов доказана возможность комплексного извлечения из недр урана, рения, ванадия хлорированными растворами поташа.

Скандий является наиболее изученным элементом рудонакоплений на рассматриваемых месторождениях.

Содержание его в уранорудной зоне, а иногда в примыкающей к ней части зоны неокисленных пород составляет 3,5-7 г/т (реже 20 г/т).

В процессе ПВ с использованием серной кислоты (5-50 г/л) скандий начинает извлекаться из руд в концентрациях более 0,1 мг/л при рН ниже 5, т.е. несколько раньше, чем уран (при рН ниже 4,5-4).

В производственных условиях повышенные концентрации скандия (около 0,05-0,2 мг/л) впервые установлены в 1982г. на месторождении Сев. Канимех при проведении двухскваженного опыта по ПВ урана растворами бикарбоната аммония с перекисью водорода.

На участке ПВ-86 сернокислотного выщелачивания Сев. Канимех содержание скандия в рудах составило 604 г/т мощность 4м, продуктивность – 19,8 г/м³, запасы 125 кг.

Таким образом, кроме скандия на полиэлементных месторождениях в сернокислотные растворы ПВ переходят иттрий и ряд лантаноидов. Рентабельность получения этих элементов будет определяться как конъюнктурой на рынке редкоземельных элементов, так и издержками на их селективное извлечение из комплексных растворов ПВ.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПО ОЦЕНКИ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА ПВ

2.1. Методика исследования физико-химических свойств пород

В состав лабораторных исследований входит изучение на свежем монолитном рудном материале вещественного состава руд, определение оптимального химического и газового состава растворителей с учетом возможной химической коагуляции рудного пласта, определение параметров выщелачивания, изучение влияния температуры на скорость выщелачивания и определение коррозионных свойств принимаемых растворителей.

Технологическое исследование процесса подземного выщелачивания производится в два этапа: а) лабораторные испытания на свежих керновых пробах; б) испытания непосредственно в полевых условиях (на моделях или в полупромышленных масштабах)

В лабораторных условиях производится испытание по извлечению металла или другого полезного компонента из свежих керновых проб различными реагентами и выявляются наиболее эффективные из них. При этом необходимо определить: а) минералогический и химический состав руды; б) минералогическую форму нахождения металла или другого вещества в руде и форму связи с сопутствующими компонентами; в) скорость просачивания (фильтрации) растворителя на разных керновых пробах (причем должна быть установлена легкость вскрываемости рудных минералов); г) влияние концентрации растворителя на скорость растворения полезного компонента и состав получаемых продуктивных растворов; д) влияние окислителя на скорость и полноту растворения полезного компонента при выщелачивании; е) концентрацию растворов для поочередного вскрытия рудных минералов методом десорбции и выщелачивания; ж) влияние давления и температуры на выщелачивания. Кроме того, находят эффективное отношение $T:Ж$, где T -весовая единица руды (сухой), а $Ж$ -весовое количество растворителя, необходимое для рентабельного выщелачивания полезного компонента из этого количества руды. Эффективный расход растворителя может быть отнесен на весовую единицу готовой продукции.

2.2. Методика проведения процесса подземного выщелачивания

Для практического проведения подземного выщелачивания металлов и других веществ необходимо установить, когда можно основные уравнения химической кинетики

выщелачивания свести к простому уравнению скорости перемещения фронта растворителя. Это, видимо, будет возможно только в случаях, когда полезные компоненты легко растворимы, т.е. имеют коэффициент миграции, близкий к единице, когда скорость растворения и перехода в раствор полезного компонента достаточно высока и можно при этом пренебрегать эффектом молекулярной диффузии [41-45].

Гидродинамические расчеты схем подземного выщелачивания сводятся к решению следующих основных задач.

1. Определение расстояния между нагнетательными и разгрузочными скважинами (выработками)

2. Определение времени начального заполнения рудного пласта растворителем на всей площади, намеченной к выщелачиванию.

3. Определение основных гидродинамических характеристик систем нагнетательных и разгрузочных скважин (выработок), которые обеспечивают процесс выщелачивания при принятом технологическом режиме.

4. При найденных расчетных напорах в системе скважин определяют величину перетекания растворителей в соседние горизонты.

5. В зоне действия разгрузочных скважин определяют величину перетекания пресной воды из смежных горизонтов в рудный пласт.

2.3 Микробиологическая характеристика откачных растворов месторождения

По программе работ были проведены исследования по развитию аборигенных микроорганизмов в откачных растворах подземного выщелачивания. В качестве объектов исследования были взяты откачные растворы из различных скважин месторождения «К».

Анализ аборигенной микрофлоры проводился по следующим группам микроорганизмов: ацидофильные железо и сероокисляющие микроорганизмы, тиосульфатоокисляющие бактерии, автотрофные и гетеротрофные денитрификаторы, миксотрофные тионовые микроорганизмы. Результаты исследований представлены в таблицах 2.1-2. 6. [46].

При рН откачных растворов 3,5 и выше (табл.2.1) преобладали тионовые бактерии, при повышении рН откачных растворов увеличивалось количество микроорганизмов, относящихся к олигонитрофилам и выделялись бактерии, близкие к роду *Pseudomonas*.

Однако, увеличение рН откачных растворов стимулирует также развитие миксотрофных тионовых бактерий и гетеротрофных микроорганизмов, а также

микроскопических организмов, среди которых преобладали представители родов *Aspergillus*, *Penicillium*. В отстоявшихся растворах с pH 4,5 характерным было наличие микроорганизмов, относящихся к *T.thioparus*, *T.denitrificans*, *T.novellus*.

По отношению к кислотности среды тиобациллы подразделяются на организмы, хорошо растущие при нейтральной или даже щелочной реакции, и виды, являющиеся ацидофильными, т. е. развивающиеся в кислой среде и выдерживающие очень низкое значение pH.

К первой группе относятся такие виды, как: *T.thioparus*, *T.denitrificans*, *T.novellus*, *T.thiocyanoxidans*, *T.neapolitanus*. Для этих микроорганизмов оптимальное значение pH приходится на область 6,0-9,0, а зона значений pH, при которых возможен их рост, — от 3,0-6,0 до 10,0-11,0, причем для разных видов и штаммов оптимальные значения pH и область активной кислотности, в которой наблюдается их рост, могут заметно различаться.

Большинство тионовых бактерий растет только в присутствии кислорода, хотя рост некоторых представителей возможен при низком его содержании. Но известны и факультативные анаэробы. К ним относится *T.denitrificans*. В аэробных условиях эти бактерии ведут окислительные процессы с участием молекулярного кислорода, в анаэробных переключаются на денитрификацию и восстанавливают нитраты до молекулярного азота. Тионовые бактерии способны окислять такие соединения серы, как сероводород, сульфиды, сульфит, тиосульфат, тетратионат, тиоцианат (роданид), дитионит, а также молекулярную серу, с образованием при полном их окислении сульфатов. Однако способности отдельных видов не вполне одинаковы. Кроме того, не всегда легко установить, какие именно соединения серы окисляются биологическим путем, так как многие из них неустойчивы при низком значении pH и могут также окисляться кислородом воздуха.

Разнообразно отношение тионовых бактерий к органическим соединениям. Ряд представителей этих микроорганизмов, а именно: *T.thioparus*, *A.thiooxidans*, *T.thiocyanoxidans*, *T.denitrificans*, *T.neapolitanus*, способны ассимилировать некоторые органические соединения, в частности ацетат, пируват, отдельные аминокислоты, включая их углерод в белки и другие компоненты клеток, но в ограниченной степени.

Есть и такие представители тиобацилл, которые легко переключаются с автотрофного на гетеротрофный образ жизни и рост их на органических средах не зависит от наличия восстановленных соединений серы. К ним принадлежат *T.novellus* и другие близкие организмы, которые способны хорошо расти на средах с разными сахарами, спиртами, органическими кислотами и аминокислотами.

Микробиологический анализ откачных растворов показал, что в единичных количествах выявлялись *A.thiooxidans*.

Таким образом, среди тионовых бактерий нами были выделены микроорганизмы с разными потенциями к автотрофному и гетеротрофному образу жизни.

На основании имеющихся сейчас данных можно сказать, что все исследованные автотрофы в той или иной степени проявляют способность использовать экзогенные органические соединения, причем в первую очередь как дополнительные источники углерода.

Таким образом, при расчистке накопительных культур, выделенных из откачных растворов скважины 706-44 нам удалось выделить следующие виды микроорганизмов, *T.denitrificans*, микроорганизмы, отнесенные к роду *Pseudomonas*, а также микроскопические грибы рода *Aspergillus*

Ко второй группе принадлежат *A.thiooxidans*, *A.ferrooxidans*,. Для этих микроорганизмов оптимальное значение рН 2,0-4,0, а рост возможен при рН от 0,5 — 2,0 до 5,0-7,0. Наиболее ацидофильными организмами являются два первых вида. В то же время показано, что *A.thiooxidans* сохраняет жизнеспособность при значении рН, близком к 0, что соответствует 1,0н. раствору серной кислоты. Это, пожалуй, самый ацидофильный микроорганизм, который известен исследователям. В настоящее время выделены различные формы ацидофильных железooksисляющих микроорганизмов, участвующих в процессах разрушения сульфидных минералов. Однако монополистом в области биогидрометаллургии на протяжении многих лет является культура бактерий *A.ferrooxidans*. Эти бактерии, окисляющие практически все сульфидные минералы, играют в процессах выщелачивания двойную роль:

- 1) непосредственно окисляют сульфидные минералы (энзиматическое воздействие);
- 2) окисляют закисное железо и получаемое трехвалентное железо является, в свою очередь, окислителем сульфидных минералов и способствуют окислению U^{4+} до U^{6+} .

Таблица 2.1

Микроорганизмы откачных растворов с исходным рН 4,95 выщелачивания месторождение Кетменчи, скважина 706-44

Наименование проб	Тионовые нейтрофилы		Тионовые миксотрофы	Олигонитрофилы	Денитрифицирующие бактерии	Бактерии, растущие на МПА	Автотрофные сероокисляющие
	Тионовые денитрификаторы	Тиосульфат-окисляющие					
Участок 4, скважина 706-44 весна	$2,5 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^4$	$7,5 \cdot 10^4$	$6,0 \cdot 10^4$	$8,3 \cdot 10^3$	Единичные клетки
Участок 4, скважина 706-44 лето	$6,0 \cdot 10^4$	$6,0 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$6,4 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^5$	$9,0 \cdot 10^3$	
Участок 4, скважина 706-44 осень	$6,0 \cdot 10^4$	$6,0 \cdot 10^3$	$6,0 \cdot 10^3$	$9,1 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$	$4,8 \cdot 10^2$	

Таблица 2.2

Микроорганизмы откачных растворов с исходным рН 2,78 , месторождение Кетменчи, участок, СКВ.708-44

Наименование проб	рН	Тионовые нейтрофилы		Тионовые миксотрофы	Олигонитрофилы	Денитрифицирующие бактерии	Бактерии, растущие на МПА	Железо-окисляющие	Серо-окисляющие
		Тионовые денитрификаторы	Тиосульфат-окисляющие						
1.Откачной раствор	2,78	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$	$3,2 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^3$
2.Откачной раствор	2,85	$2,5 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$
3.Откачной раствор	2,55	-	-	-	-	-	$1,7 \cdot 10^2$	$6,0 \cdot 10^3$	$6,0 \cdot 10^3$

Таблица 2.3

Микроорганизмы откачных растворов месторождение Кетменчи, участок СКВ.710-43

Наименование проб	рН	Тионовые нейтрофилы		Тионовые миксотрофы	Олиго-нитрофилы	Денитрифицирующие бактерии	Бактерии, растущие на МПА	Железо-окисляющие	Серо-окисляющие
		Тионовые денитрификаторы	Тиосульфат-окисляющие						
1.Откачной раствор	2,58	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$	$2,3 \cdot 10^2$	-	$2,4 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^3$
2.Откачной раствор	2,45	-	-	$1,5 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^2$	-	-	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$
3.Откачной раствор	2,67	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	Сл.

Таблица 2.4

Микроорганизмы откачных растворов с исходным рН 2,78 , месторождение Кетменчи, СКВ.710-42

Наименование проб	рН	Тионовые нейтрофилы		Общее количество гетеротрофов	Среда Маннинга для выделения <i>S.thermosulfidooxidans</i>	Среда 9К для выделения <i>A.ferrooxidans</i>	Среда Брайерли для выделения <i>A.ferrooxidans</i>	Среда для выделения <i>A.thiooxidans</i>
		Тионовые денитрификаторы	Тиосульфат-окисляющие					
1.Откачной раствор	2,18	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$	$3,2 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$
2.Откачной раствор	2,15	$2,5 \cdot 10^2$	-	$1,5 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$
3.Откачной раствор	2,25	-	-	-	-	$2,5 \cdot 10^2$	$6,0 \cdot 10^3$	-

Таблица 2.5

Микроорганизмы откачных растворов с исходным рН 2,78 , месторождение Кетменчи, участок Гунджак , хвостовые растворы

Наименование проб	рН	Тионовые нейтрофилы		Обще еколичество гетеротрофов	Среда Маннинга для выделения <i>S.thermosulfidooxidans</i>	Среда9К для выделения <i>A.ferrooxidans</i>	Среда Брайерли для выделения <i>A.ferrooxidans</i>	Среда для выделения <i>A.thiooxidans</i>
		Тионовые денитрификаторы	Тиосульфат-окисляющие					
1.Откачной раствор	2.37	-	$2,5 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$
2.Откачной раствор	2,43	$2,5 \cdot 10^2$	-	$1,5 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^2$	-	$2,5 \cdot 10^2$	-
Откачной раствор	2,35	-	-	$1,4 \cdot 10^3$	-	$2,5 \cdot 10^2$	-	-

Таблица 2.6

Микроорганизмы откачных растворов кислотного выщелачивания Хвостохранилище

Наименование проб	рН	Тионовые нейтрофилы		Общее количество гетеротрофов	Среда Маннинга для выделения <i>S.thermosulfidooxidans</i>	Среда9К для выделения <i>A.ferrooxidans</i>	Среда Брайерли для выделения <i>A.ferrooxidans</i>	Среда для выделения <i>A.thiooxidans</i>
		Тионовые денитрификаторы	Тиосульфат-окисляющие					
1.Откачной раствор	1.37	-	-	Микроскоп. грибы	-	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$
2.Откачной раствор	1,43	-	-		-	-	$2,5 \cdot 10^2$	-
3.Откачной раствор	1,35	-	-	Микроскоп. грибы	-	$2,5 \cdot 10^2$	-	-

Как видно из представленных таблиц 2.2-2.6 с уменьшением рН откачных растворов количественно увеличивается содержание *Acidithiobacillus ferrooxidans*, которые выделяются на среде 9К и Брайерли, что особенно характерно для скважин 710-42 и 710-43. На среде Маннинга выделены микроорганизмы ацидофильные, железоокисляющие и способные расти на среде с минимальными добавками органического субстрата. Следует отметить, что в хвостовых растворах выявлялись также микроскопические грибы, отнесенные нами к родам *Aspergillus*, *Fusarium* и *Penicillium*

Анализ развития микроорганизмов в откачных растворах подземного выщелачивания показал микробное разнообразие. Установлено, что в откачных растворах с рН-3,5 и выше интенсифицируется развитие - нейтрофильных тионовых бактерий. увеличение рН откачных растворов стимулирует развитие миксотрофных тионовых бактерий и гетеротрофных микроорганизмов и микромицетов, среди которых преобладали представители родов *Aspergillus*, *Penicillium*.

В откачных растворах кислотного выщелачивания большого разнообразия микробного мира не наблюдалось. Выделялись в небольших количествах олигонитрофильные микроорганизмы и в одном из растворов были выявлены микроорганизмы, потребляющие мясной экстракт, что очевидно связано с рН данного раствора, соответствующего 2.55. В растворах кислотного выщелачивания выделяются в основном тионовые ацидофильные железо - и сероокисляющие микроорганизмы, относящиеся к роду *Acidithiobacillus* - *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans*. Выделены в отдельные ассоциации железоокисляющие микроорганизмы с преимущественным содержанием *Acidithiobacillus ferrooxidans*.

2.4. Получение адаптированной ассоциации геохимически активных микроорганизмов

Бактерии производят в биосфере огромную биохимическую работу, как разрушая соединения, так и создавая. Их роль значительна в истории углерода, серы, азота, железа, марганца и многих других элементов – так писал основоположник биогеохимии – науке о роли микроорганизмов в геохимических процессах В.И.Вернадский.

В настоящее время установлено участие микроорганизмов в концентрировании, рассеивании более 60 элементов в их миграции, в генезисе месторождений серы, железа, цветных и редких металлов.

Биологическая роль металлов в жизни микроорганизмов очень важна. В клетках они, обладая переменной валентностью, включаются в активные центры белков с

аминокислотными остатками. Входя в состав целого ряда ферментов, металлы увеличивают "симбиоз" функции металла и белка. В ряде случаев металлы тормозят протекание метаболических процессов и, тем самым, снижают кинетику окислительных процессов.

Поэтому, изучение вопросов влияния металлов на жизнедеятельность клетки всегда привлекало внимание широкого круга микробиологов и биотехнологов. Металлы в макроколичествах играют важную роль в жизнедеятельности микроорганизмов. Однако, недостаточные или повышенные их количества тормозят или ингибируют рост и развитие.

В ряду тяжелых металлов наиболее токсичными являются ртуть, серебро, далее обычно следуют медь, кадмий, свинец, хром, кобальт, никель, цинк. Этот порядок токсичности может меняться в зависимости от вида организмов, от места их обитания и многих других факторов. Сравнительно менее токсичными являются такие металлы как марганец, железо, олово, лантан, торий.

Микроорганизмы обладают различной чувствительностью к металлам. Наиболее чувствительными к действию различных металлов являются цианобактерии. В отличие от них микроскопические грибы и тионовые бактерии проявляют устойчивость как к действию единичных металлов, так и их различных ассоциаций.

Обнаружено, что микроорганизмы, выделенные из металлосодержащих и засоленных экосистем, могут иметь природную устойчивость сразу к нескольким металлам, хотя индуктором ее может быть один металл. Наличие в популяции организмов, в разной степени приспособленных к геохимическим факторам среды дает материал для естественного отбора, который в экстремальных условиях сильно проявляется. По-видимому, геохимическая среда создает условия для эволюции организмов в направлении образования экологических рас, более приспособленных к экстремальным факторам среды.

Установлено, что толерантность микробной популяции, имеющей природную устойчивость, а также исходную чувствительность к данному металлу, может развиваться в результате многократных пересевов в присутствии возрастающих концентраций металла.

Так при помощи последовательной адаптации были получены штаммы ацидофильных бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans asporogenes*, устойчивые к таким токсическим металлам, как молибден, медь и цинк в концентрации 250 мг/л, 25 мг/л и 60 мг/л (соответственно), а также к ионам урана в концентрации 20 мг/л и 100 мг/л. Рассмотрение спектральных кривых ИК-спектров клеток *Acidithiobacillus ferrooxidans* показывает, что у клеток бактерий, выросших на среде с ионами урана, отмечается усиление интенсивности в полосе антисимметричных валентных колебаний СН в СН₃-группе и симметричных валентных колебаний СН в СН₃- и СН в СН₂ – группе (2850 см⁻¹).

В спектрах этих клеток наблюдается разное значение частот, соответствующих валентным колебаниям C=O (1623-1600 см⁻¹, Амид I) и смешанным деформационным колебаниям NH с валентными C=O (1500 см⁻¹, Амид II), пептидов. Наблюдается снижение интенсивности для клеток бактерий на среде с ураном в области 1130 – 1070 см⁻¹, что, возможно, свидетельствует о снижении уровня полифосфатов.

Отмеченные различия в ИК-спектрах показывают влияние ионов урана на клетки бактерий и выявляют изменения, происходящие в них под воздействием металлов, в первую очередь на клеточную стенку данных микроорганизмов.

Повышение устойчивости может происходить путем так называемого приспособления клеток при первом же пассаже на среду с металлом. При этом наблюдается задержка роста клеток, которая длится от нескольких часов до нескольких дней и сопровождается большими или меньшими нарушениями в ультраструктуре клеток и ингибированием метаболизма у всех клеток популяции, вплоть до потери ими жизнеспособности. Затем происходит репарация повреждений и восстановление роста.

Важная роль в процессах выщелачивания металлов отводится ацидофильным железooksисляющим бактериям *A. ferrooxidans*, которые используются в процессе выщелачивания золотосульфидных, медно-молибденовых, урансодержащих и других руд.

В связи с этим, нами изучалось влияние ионов урана на рост и развитие бактерий *A. ferrooxidans*, используемых в процессах выщелачивания урановых руд. Известно, что уран в небольших количествах способствует росту микроорганизмов, а увеличение концентрации его в среде подавляет рост природных форм гетеротрофных микроорганизмов, таких, как *Bacillus megaterium*, выделенных из почв с низким содержанием урана. Адаптация к определенному уровню содержания урана в природной среде, содержащей 1,5x10⁻³ % урана, позволяет получить природные устойчивые формы микроорганизмов.

Исходя из вышеизложенного, была поставлена серия опытов по влиянию ионов урана на рост и развитие промышленной ассоциации микроорганизмов. В качестве уранового раствора использовали промышленный раствор с содержанием металла 105 мг/л и раствор после «пушпула» с содержанием урана 600 мг/л.

Изучение развития ассоциации К-1 с преимущественным содержанием *A. ferrooxidans* на среде 9К с добавлением ионов урана в количестве 60 мг/л показало, что эта концентрация не подавляет рост и развитие бактерий, и, даже в некоторой степени, стимулирует их рост (табл. 2.7).

Дальнейшее увеличение количества урана в среде до 100 мг/л оказывает негативное влияние на рост ассоциации К-1 с преимущественным содержанием *A. ferrooxidans*. На третьи сутки культивирования количество клеток в опытном варианте снижается до 6,0x10⁴

кл/мл и лишь на 6 сутки число клеток достигает значений, соответствующих количеству микроорганизмов, выросших в контрольном варианте. Аналогичные изменения наблюдаются и по результатам окислительной активности бактерий. Так, окисление железа на среде с ураном, идет менее интенсивно, что коррелирует с изменением количества клеток бактерий в растворе.

Таблица 2.7

Влияние ионов урана (60 мг/л) на рост и развитие ассоциации К-1

Длительность культивирования, час	рН		Концентрация окисленного железа, г/л		Количество микроорганизмов, кл/мл	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Исх.	2,2	2,2	2,7	2,7	$2,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$
24	2,2	<u>2,1</u>	4,0	4,0	$6,0 \times 10^5$	$2,5 \times 10^5$
48	2,25	<u>2,2</u>	6,7	<u>6,5</u>	$6,0 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6$
72	2,6	<u>2,35</u>	7,8	<u>7,3</u>	$6,0 \times 10^7$	$2,5 \times 10^7$

Таблица 2.8

Влияние ионов урана (70 мг/л) на рост и развитие ассоциации К-1

Длительность культивирования, час	рН		Концентрация окисленного железа, г/л		Количество микроорганизмов, кл/мл	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Исх.	2,2	2,3	2,7	2,2	$2,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$
24	2,2	<u>2,25</u>	4,0	3,9	$6,0 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$
48	2,25	<u>2,28</u>	6,7	<u>5,5</u>	$6,0 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6$
72	2,6	<u>2,45</u>	7,8	<u>5,9</u>	$6,0 \times 10^7$	$2,5 \times 10^6$
96	2,25	<u>2,4</u>	7,8	<u>7,8</u>	$6,0 \times 10^7$	$2,5 \times 10^7$

Таблица 2.9

Влияние ионов урана (80 мг/л) на рост и развитие ассоциации К-1

Длительность культивирования, час	рН		Концентрация окисленного железа, г/л		Количество микроорганизмов, кл/мл	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Исх.	2,2	2,2	2,7	2,7	$2,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$
24	2,2	<u>2,3</u>	4,0	3,7	$6,0 \times 10^5$	$2,5 \times 10^5$
48	2,25	<u>2,3</u>	6,7	<u>4,5</u>	$6,0 \times 10^6$	$2,5 \times 10^6$
72	2,6	<u>2,35</u>	7,8	<u>5,3</u>	$6,0 \times 10^7$	$2,5 \times 10^7$
96	2,25	<u>2,33</u>	7,8	<u>7,5</u>	$6,0 \times 10^7$	$2,5 \times 10^7$

Таблица 2.10

Влияние ионов урана (90 мг/л) на рост и развитие ассоциации К-1

Длительность культивирования, час	рН		Концентрация окисленного железа, г/л		Количество микроорганизмов, кл/мл	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Исх.	2,2	2,2	2,7	2,7	$2,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$
24	2,2	<u>2,15</u>	4,0	3,0	$6,0 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$
48	2,25	<u>2,15</u>	6,7	<u>3,5</u>	$6,0 \times 10^6$	$2,5 \times 10^6$
72	2,6	<u>2,25</u>	7,8	<u>5,0</u>	$6,0 \times 10^7$	$2,5 \times 10^7$
96	2,25	<u>2,35</u>	7,8	<u>6,8</u>	$6,0 \times 10^7$	$6,0 \times 10^7$

Таблица 2.11

Влияние ионов урана (100 мг/л) на рост и развитие ассоциации К-1

Длительность культивирования, час	рН		Концентрация окисленного железа, г/л		Количество микроорганизмов, кл/мл	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Исх.	2,2	2,2	2,7	2,7	$2,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$
24	2,2	<u>2,1</u>	4,0	3,0	$6,0 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$
48	2,25	<u>2,2</u>	6,7	<u>3,2</u>	$6,0 \times 10^6$	$2,5 \times 10^6$
72	2,6	<u>2,35</u>	7,8	<u>4,3</u>	$6,0 \times 10^7$	$2,5 \times 10^7$
96	2,25	<u>2,3</u>	7,8	<u>5,8</u>	$6,0 \times 10^7$	$6,0 \times 10^7$

Для последовательной адаптации была взята культура микроорганизмов, выросшая на среде с 60 мг/л урана. Метод последовательной адаптации основан на последовательном увеличении концентрации металлов в растворе и последовательной адаптации к этим

концентрациям. Таким образом, культура микроорганизмов адаптированная к 60 мг/л в среде пересеивается на среду с 70 мг/л. Культивирование на этой среде осуществляется в несколько последовательных стадий до тех пор пока окислительная активность не будет проходить за период 48-72 часов. (рис2.1.)

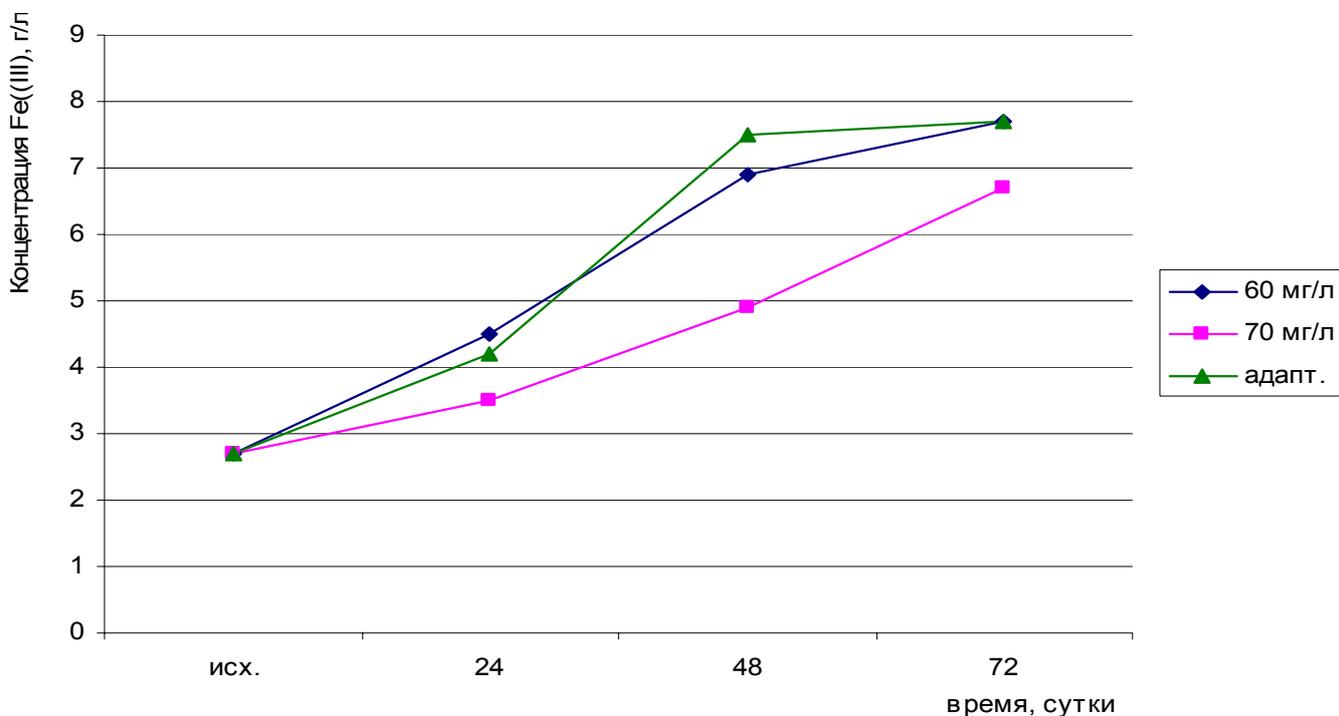


Рис.2.1 Адаптация ассоциации К-1 к высокому содержанию урана.

Полученная методом последовательной адаптации устойчивая к 100мг/л урана культура бактерий *A. ferroxidans* в силу технологических условий выполнения хозяйственных работ может быть применена для культивирования в условиях высоких концентраций металла в растворе от 100 до 300 мг/л. Анализ геохимической активности микроорганизмов *A. ferroxidans* в этих условиях показал, что скорость окисления железа снижается по мере увеличения концентрации урана (рис.2. 2).

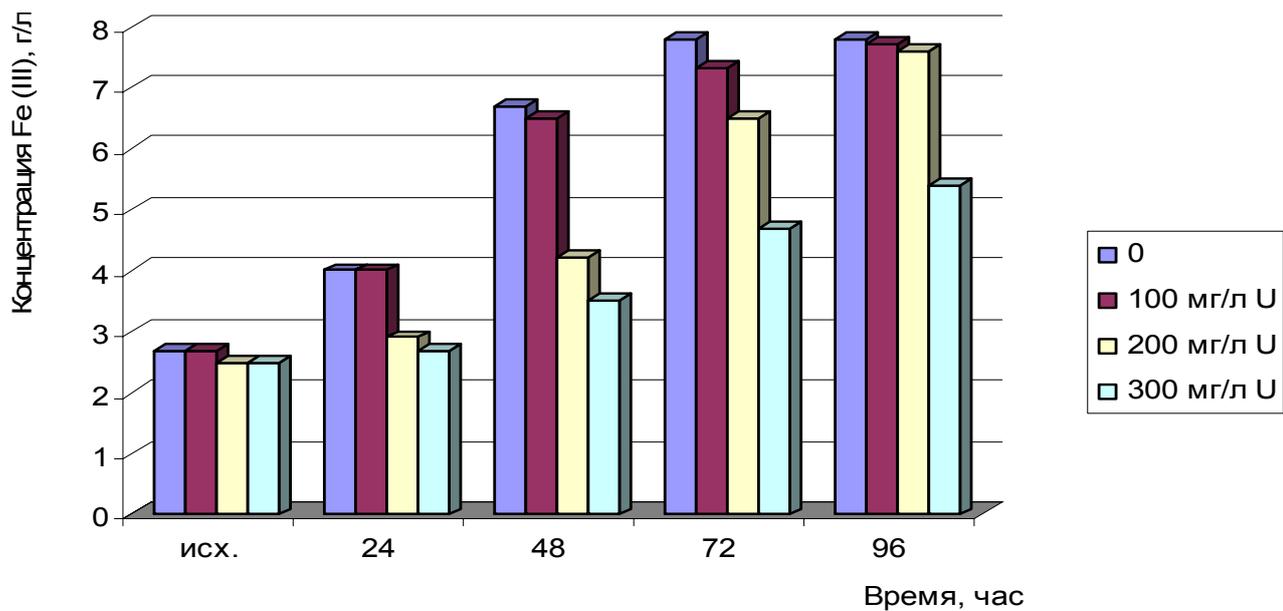


Рис. 2.2 Окислительная активность ассоциации К-1 на средах с различными концентрация

Глава 3. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ УРАНА В ПОДЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ

3.1. Характеристика месторождения

Месторождение Кетменчи открыто в 1956 г., но в связи со сложными горнотехническими условиями его освоение было сначала отложено, а затем в 1967 г. возобновлено в результате начавшегося промышленного применения подземного выщелачивания, что привело к переоценке его перспектив и переводу запасов в разряд промышленных.

Месторождение Кетменчи локализовано в двух структурно-формационных ярусах: нижнем, представленном сложно дислоцированными палеозойскими отложениями, и верхнем, представленном слаболитифицированными отложениями осадочного мезокайнозойского чехла. Практически повсеместно развиты четвертичные отложения различной мощности.

На месторождении разведано 30 залежей, которые приурочены к горизонтам мелко- и среднезернистых песков, песчано-глинистых и гравийных пород на глинистом и известковом цементе, обогащенных углистой органикой.

Форма рудных залежей самая разнообразная - от извилистых лент до изометричных трапеций. Протяженность залежей изменяется от 300-800 м до 1,5-2,0 км при ширине 50—150 м. Глубина залегания продуктивных пластов варьирует от 100 до 460 м. Внутри залежей распределение промышленных концентраций полезного компонента прерывистое, представлено в виде небольших блоков, сгруппированных на отдельных участках, разделенных безрудными промежутками пород на 5 км и более.

По химическому составу руды месторождения относятся к алюмосиликатным с малым содержанием карбонатов. Содержание CO_2 в среднем близко к 1-2%. Высококарбонатные прослои (до 8-10% CO_2) распространены спорадически и составляют в общем объеме не более 5-10%.

По составу вмещающих пород месторождение представляет собой галечно-гравийный, песчаный и алевритоглинистый материал. Отличие руд от вмещающих пород состоит, главным образом, в присутствии урановой минерализации до 1,5%

По содержанию урана руды месторождения Кетменчи в основном рядовые и бедные, каких -либо других промышленно ценных компонентов руды не содержат.

В глинисто-карбонатных рудах преобладает уран в 4-х валентной форме. Содержание его здесь или близкое к шестивалентному или в 1,5 раза выше. В песчаных рудах

независимо от места взятия проб явно преобладает уран в шестивалентной форме. Кислородный коэффициент в глинистых рудах также ниже (2,38-2,54), чем в песчаных (2,44-2,89). Объясняется это тем, что в глинистых рудах, обогащенных как правило растительной органикой, восстановление урана до 4-х валентного состояния протекает более глубоко, чем в песках и слабосцементированных породах.

Рудовмещающие породы несут как правило неслоистую массивную текстуру. По составу урановой минерализации руды относятся к черневым. Незначительное количество находится в сортированной форме в фосфоритах, растительном детрите и гидроокислах железа.

Крайне редко отмечается настуран. Уранорганические соединения ассоциируются с растительной органикой.

В составе алевритоглинистых и гравийно-песчаных руд преобладают окисные соединения урана, содержание от 51 до 88,4% , в сорбированной форме присутствуют от 9,4 до 38, 2%. Металлоорганические соединения встречаются от 12,1 до 18%. Водорастворимые соединения урана присутствуют в незначительном количестве (0,2-9,8%)

Минералогический состав руд:

Минералы урана: Урановая чернь

Настуран

Урансодержащие минералы: Растительный детрит. Фосфорит. Гидроокислы железа.

Сопутствующие минералы: Пирит, марказит, галенит, халькопирит, сфалерит, Углеродистое вещество типа битума асфальто-нефти.

Дисульфиды железа представлены пиритом и марказитом. Различаются они по форме выделения. Содержание дисульфидов колеблется от 0,5-1% до 5-6% достигая 15-20% в линзовидных слоях. При окислении они переходят в коричнево-красные, коричнево-бурые и желтые окислы.

По данным спектрального анализа встречающимися элементами спутниками являются никель, медь, свинец и цинк. Редко отмечается наличие молибдена, кобальта, мышьяка. Пирит образует кубические, октаэдрические, додекаэдрические кристаллы и их сростки. Марказит встречается в виде пластинчатых кристаллов. Галенит встречается реже чем сфалерит.

В составе карбонатов в основном кальцит и доломит. Углеродистое вещество – битум.

Руды месторождения Кетменчи являются благоприятными для применения метода бактериального выщелачивания. Содержание сульфидов железа колеблется от 0,5-1% до 5-6%, достигая 15-20% в линзообразных прослойках.

3.2. Нарботка бактериальных растворов в опытно-промышленных условиях

Для проведения опытно - промышленных испытаний была взята промышленная ассоциация железоокисляющих автотрофных микроорганизмов К-1, . состоящая из *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*. Эта ассоциация включает в себя также термофильные микроорганизмы, относящиеся к роду *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*

Известно, что основную роль в выщелачивании металлов играет культура бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Эти бактерии хорошо растут на средах с двухвалентным железом и сульфидными минералами, а также на твердых средах, приготовленных на основе силикагеля. При развитии этих бактерий в жидкой среде с железом среда приобретает сначала янтарный оттенок, переходящий в красно-коричневый. Колонии на твердых средах мелкие, округлые, гладкие, с отложениями окислов железа.

Acidithiobacillus ferrooxidans представляет из себя мелкие палочки 0,3-0,5 x 1,0-1,7 мкм, грамотрицательные, имеет один жгутик. Источником энергии для роста в хемолитотрофных условиях являются сера, тиосульфат, уран, двухвалентное железо, медь и др. металлы, а также сульфидные минералы. Источником азота являются соли аммония. Это строгие аэробы, оптимальная температура роста 28-35⁰ С, хотя они могут расти в интервале от 5 до 40⁰С.

Другой микроорганизм, который в настоящее время широко используется в процессах промышленного выщелачивания – это представители рода *Sulfobacillus*.

Sulfobacillus - спорообразующая бактерия. Палочки неподвижные, грамположительные. Эндоспоры слегка овальные. Молодая культура бактерий представлена неподвижными палочками размером 0,9-1x3-6 мкм. Клетки одиночные, иногда в парах. В качестве источника азота использует аммонийные соли. Строгий аэроб, факультативный хемолитотроф, окисляет серу, железо и сульфидные минералы. Может расти в присутствии 0,02% содержания дрожжевого экстракта. Факультативный термофил. Интервал температур от 20⁰ до 60⁰ С. Оптимальная температура роста бактерий – 38⁰ – 55⁰ С.

Бактерии выращивали на стандартной среде Сильвермана-Лундгрена 9К следующего состава:

1-й раствор (развести в 700 мл дистиллированной воды, г/л):

1. (NH)₂SO₄ – 3,0; KCl – 0,1; MgSO₄ – 0,5; Ca(NO₃)₂ – 0,01; K₂HPO₄ – 0,5.

2-й раствор (развести в 300 мл подкисленной до pH=2 дистиллированной воды):

1. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 44,2 г/л.

В зависимости от условий опыта количество железа может меняться. Для культивирования микроорганизмов в промышленных условиях можно убрать соли KCl и $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, т.к. они в достаточном количестве содержатся как в пластовой воде, так и в маточнике сорбции.

Проведенные исследования свидетельствуют о высокой потенциальной адаптивной способности бактерий *A. ferrooxidans* к развитию как в природных, так и в техногенных средах с повышенными концентрациями металлов

На основе анализа закономерности установлена корреляция для времени, необходимого для полного смешения всех элементов раствора на молекулярном уровне. Показано, что время смешения увеличивается с возрастанием масштаба оборудования. Чем меньше слой жидкости, тем быстрее происходит время смешения питательных элементов среды, что и было показано в экспериментах при составлении питательных сред в 20-литровых и 50-литровых баллонах.

Учитывая эффект ускорения времени смешения реагентов в питательной среде, наращивание культуры микроорганизмов *A. ferrooxidans* осуществлялось в условиях постепенного изменения глубины жидкости.

Данные эксперимента показывают, что уменьшение глубины слоя нарабатываемой бактериальной суспензии способствует ускорению роста микроорганизмов, а также окислительных процессов.

Полученные в лабораторных условиях результаты исследований были применены для наращивания культуры бактерий в условиях опытно-промышленных испытаний, где были задействованы ферментеры объемом 5 м^3 и ферментер объемом 90 м^3 .

Питательную среду готовили на основе технической воды и маточников сорбции. В качестве питательной среды предлагается использовать либо техническую воду, либо маточник сорбции, куда вносятся дополнительно минеральные соли: сульфат аммония и фосфорнокислый калий.

Известно, что *Acidithiobacillus ferrooxidans* использует в качестве источника азота практически только аммонийные соли. Добавление их в выщелачивающие растворы должно способствовать увеличению скорости окислительных процессов. Магний и другие элементы являются важными для развития и роста тионовых ацидофильных бактерий в качестве микроэлементов, но они, как правило, присутствуют в природных водах в достаточном количестве. Наличие в природных водах таких элементов как алюминий оказывает активизирующее влияние при незначительных количествах их в среде, при этом скорость окисления двухвалентного железа увеличивается в 1,6 раз.

Таблица 3.1

Наработка маточной ассоциации К-1 в 5 м³ емкости

Время, сутки	pH	Fe ³⁺ , г/л	Fe _{общ.} , г/л	Общий объем, м ³
1 день	2,35	4,7	5,7слив	4,4
15 день	1,5	2,8	4,8слив	
32 день	1,55	7,6	7,6 слив	
40 день	2,0	4,4	5,8слив	

Таблица 3.2

Мониторинг окисления железа и наработки биомассы бактерий в 90 м³ емкости

Время, сутки	pH	Fe ³⁺ , г/л	Fe _{общ.} , г/л	Объем, м ³
1	2	3	4	5
1 день	2,3	2,4	5,7	2+3пит.среды
8 день	2,3	4,2	5,6	10.5+3
15 день	1,4	2,2	5,5	21,5
22 день	1,4	2,9	4,8	22,5
28 день	1,5	2,8	4,8	23,5

1	2	3	4	5
30 день(1месяц)	1,42	3,1	6,9	25,5
37 день	1,4	3,2	6,7	27
43 день	1,53	3,0	8,9	29
49 день	1,71	2,0	5,2	34
60 день (2 месяц)	2,0	5,5	5,6	50
60 день	Отобрано 14 м ³ для заливки в скважины 07 и 09			

22.07 10 было отгружено с ГМЗ1 1642 кг железного купороса и с 1 08.10г. начато приготовление бактериальных растворов. Растворы готовили в емкости 0,8 м³, которые затем поступали в зависимости от операций в 5 м³ ферментер или в 90 м³ накопительную емкость.

Для приготовления маточной культуры использовали 5 м³ ферментер. Исходный рН питательной среды 1,65-1,8. В период развития культуры бактерий значение рН среды колебалось от 1,8 до 2,55. Перемешивание осуществлялось кислородом воздуха. В течение 3 суток культивирования было приготовлено 5 м³ маточной культуры *A. ferrooxidans*, которая была внесена в 90 м³ емкость, затем методом послойного культивирования было наработано в течение 7 суток было наработано 12,5 м³ культуральной жидкости *A. ferrooxidans* (табл. 3.1и3.2).

Полученные результаты исследований в натуральных условиях позволяют утверждать, что при использовании технической воды для приготовления питательного раствора следует точно определять исходный рН растворов, так как подкисление среды до рН 1,1-1,2 снижает окислительную активность микроорганизмов, что снижает скорость наработки бактериальных растворов в промышленных условиях

Для развития микроорганизмов в питательной среде на основе технической воды и маточников сорбции помимо железного купороса достаточно внесения минеральных солей аммония и калия фосфорнокислого.

Установлено, что предлагаемым нами методом послойного культивирования микроорганизмов сокращается время наработки биомассы бактерий, что является особо важным при крупномасштабном культивировании бактерий.

Методом послойного культивирования нами было наработано 50 м³ бактериальных растворов, из которых 14 м³ 07.10.10г. были закачаны в скважину 654-09 и 654-07.

3.3 Выщелачивание урана бактериальными растворами в режимах "push-pull"

В соответствии с программой проведения опытных работ по доизвлечению урана из отработанных блоков ПВ с использованием бактериальных растворов в октябре 2010 г. на залежи 33-1-1 участка Южный месторождения Кетменчи были проведены опытные работы в варианте "**push-pull**", совмещенные с непрерывным режимом.

Участок Южный является наиболее удаленным от выходов палеозоя и представляет собой непрерывное продолжение оруденения на юго-запад. Рудоносная площадь участка Южный в районе залежей 32 и 33 отличается от других участков более глубоким залеганием около 100м.

Залежи 32 и33 контролируются замыканием (около 4км) Южного залива зоны пластового окисления в верхнесеноманской ритмопачке Глубины залегания промышленного оруденения по залежам увеличиваются с востока на запад.от 330 до 465 м , породы рудовмещающей пачки характеризуются глинистостью 10-30% и содержанием

CO₂ от 0,72 до 1,39%. Глубина залегания уровня напорных вод 110-150 метров. Минералогия характеризуется наличием пирита. Содержание сульфидов колеблется от 0,5-1% до 5-6% , достигая 15-20% в линзовидных слоях.

Коэффициент фильтрации отложений верхнего сеномана составляет около 8 м/сутки. Залежь 33-1-1 характеризуется следующими показателями:

1. запасы на начало отработки, т - 167,6
2. продуктивность, кг/м² - 1,9
3. площадь блока, тыс. м² - 89,2
4. количество откачных/закачных - 6/25

Для проведения работ была выбрана ячейки в блоке 654 с откачными скважинами:

- № 654-09, характеризующаяся следующими показателями: продуктивность пласта - 2,7 кг/м²; мощность пласта - 6,0 м; мощность рудного тела - 1,15 м; коэффициент фильтрации - 8 м/сут; запасы - 13,9 т; на 01.08.10 - 4,3 т; процент отработки 69%; исходная концентрация урана в растворе - 9 мг/л; дебит- 9 м³/час;

- № 654-07 была выбрана для варианта **"push-pull"** характеризуется следующими показателями: мощность рудного тела 2,8м; первоначальные запасы-6 т., на 01. 08.10 -0,5т., процент отработки 91,7%, исходная концентрация урана в растворе 25 мг/л ; дебит - 13 м³/час.

Схема расположения скважин на опытном участке представлена на рисунке 3.1

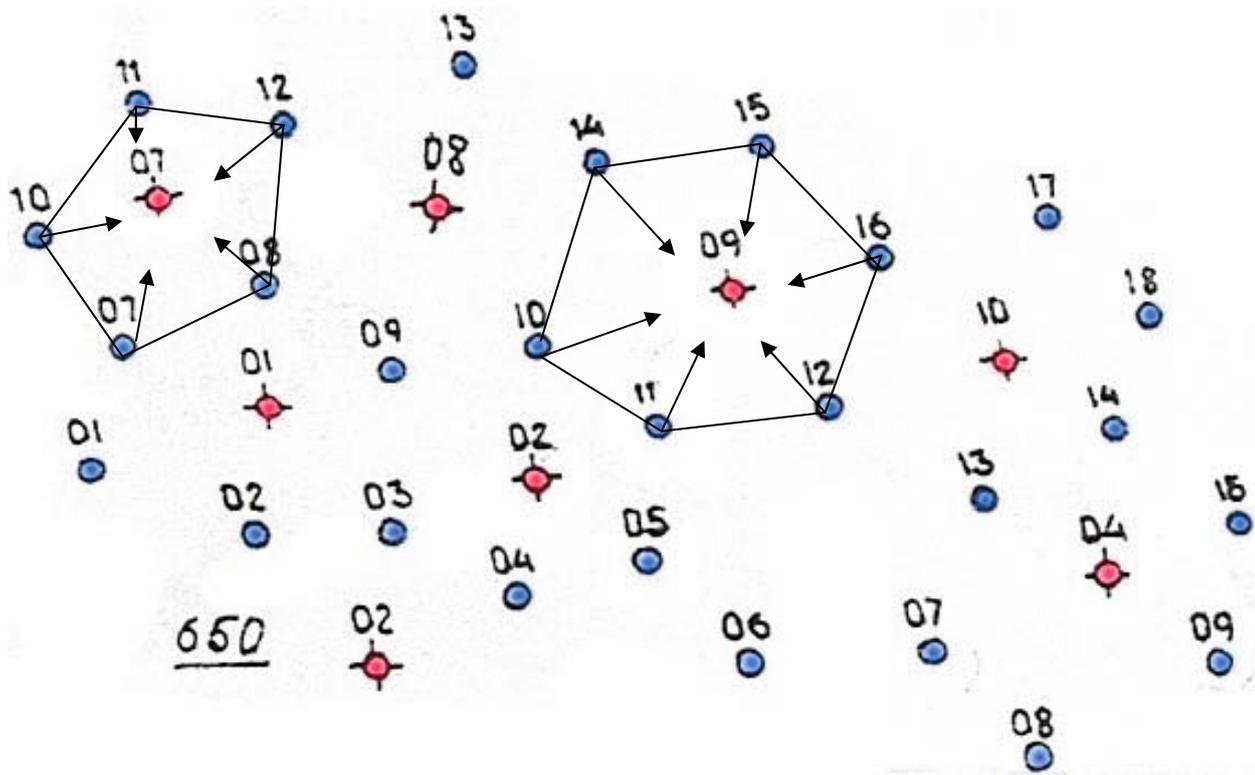


Рис. 3.1 Схема расположения скважин

3.4. Выщелачивание урана бактериальными растворами в непрерывном режиме

При работе скважин в динамическом режиме уже через 2 суток после подачи бактериальных растворов в закачные скважины продуктивность откачиваемых растворов возросла в 2 раза. Высокая скорость фильтрационных процессов не позволила нам определить содержание металла с 22 по 26.10.10, когда был самый первый и, очевидно, самый большой пик выноса металла. 26.10.10 отмечается максимальная выявленная концентрация металла в растворе (70мг/л), что свидетельствует не только повышении отдачи пласта в присутствии биологического окислителя, но и о несомненном проявлении активности бактериальных растворов. Одним из таких показателей является рост концентрации сульфат иона с 2,8 г/л (скв.654-09) до 4,6 г/л в продуктивных растворах, содержащих биоокислитель. Не вызывает сомнений, что повышенные концентрации сульфат-иона образуются в процессах бактериального окисления пирита в рудовмещающей зоне пластового отложения верхнесеноманских отложений.

Таблица 3.3

Характеристика растворов, откаченных из скважины 654-09.
Начало откачки – 20.10.10 г.

№ пробы	Время (дата) отбора	Дебит, м ³ /час	Объем откачанного раствора, м ³	Объем раствора с начала откачки, м ³	рН	ОВ П, мВ	Концентрация, мг/дм ³				Количество М.О.
							Me	Fe _{Общ}	Fe ³⁺	SO ₄ ²⁻	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Исходная характеристика раствора от 06.10.2010 г, до начала опытных работ.											
	06.10.10г	9,0	-	-	2,18	460	9	200	200	3800	
Откачка в режиме "push-pull" 20.10.2010 г.											
1	1 день	9,0			2,35	450	9	100	100	2800	
2	2 день	9,0	7,2	7,2	2,76	450	12	н/о	н/о	2500	6,0*10 ¹
3	3 день	9,0	7,5	14,7	2,93	468	14	н/о	н/о	2600	2,5*10 ²
4	4 день	9,0	7,5	22,2	2,74	470	11	50	50	2700	2,5*10 ²
5	5 день	9,0	9,0	31,2	2,74		11	50	50	2600	2,5*10 ²

6	6 день	9,0	5,3	36,5	2,84	460	9	н/о	н/о	2700	2,5*10 ³
Продолжение откачки в режиме "push-pull" 21.10.2010 г.											
7	8 день	9,0	6,0	48,5	2,73	470	10	н/о	2800	6,0*10 ¹	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	16 день		2,92		19						
2	25 день		1,67		60	н/о	н/о	н/о	4500		
3	1 месяц	9,0	2,12	483	26	н/о	н/о	н/о	4600		
4	1 месяц 3 день	9,0	2,11	500	24	400	400	н/о	4500	6,0*10 ¹	
5	1 месяц 15 день		2,27		12					6,0*10 ¹	
6	1 месяц 23 день		2,11		30				4500		
7	2 месяц	9,0	2,23	483	25	200	200	н/о	4000		
8	2 месяц 6 день		2,20	473	30	200	200	н/о			

Таблица 3.4

Динамический режим								
1	23 день	13,0	1,70	580	43	н/о	-	5600
2	1 месяц	13,0	2,12	549	24	500	500	4900
3	1 месяц 6 день	13,0	2,27	544	25	100	100	4700
4	1 месяц 24 день	13,0	2,20	553	30	200	200	4200
5	2 месяц	13,00	2,11	549	19	300	300	4000

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Динамический режим								
1	16 день		2,92		19			
2	25 день		1,67		60	н/о	4500	
3	1 месяц	9,0	2,12	483	26	н/о	4600	
4	1 месяц 3 день	9,0	2,11	500	24	400	4500	6,0*10 ¹
5	1 месяц 15 день		2,27		12			6,0*10 ¹
6	1 месяц 23 день		2,11		30		4500	
7	2 месяц	9,0	2,23	483	25	200	4000	
8	2 месяц 6 день		2,20	473	30	200		



Рис3.1 Вынос металла в раствор в динамическом режиме (скв.654-09)

Анализ кинетики выноса металла в раствор, что с 21 по 36 сутки показывает некоторое уменьшение концентрации металла и затем очередной пик на уровне 30 мг/л. Полученные результаты коррелируют с данными опыта 2007 года, где отмечался такой же пикообразный вынос металла, что подтверждает возможность окисления пирита в рудовмещающей зоне остаточными концентрациями бактериальных растворов.

Таблица 3.5

Результаты по добыче металла при применении бактериальных растворов в процессе ПВ

№ п/п	Дата (время) опробования	Концентрация, мг/дм ³		Дебит, м ³ /ч	Откачено растворов, м ³	Добыто металла, кг		
		Био (опыт)	Контроль (расчет.)			Био (опыт)	Контроль (расчет.)	Добыто дополнит.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1 день	19,0	9,0	9,0	216,0	4,104	1,944	2,160
2	6 день	24,0	9,0	9,0	216,0	5,184	1,944	3,240
3	11 день	50,0	9,0	9,0	216,0	10,800	1,944	8,856
4	16 день	52,0	9,0	9,0	216,0	11,232	1,944	9,288
7	21 день	42,0	9,0	9,0	216,0	9,072	1,944	7,128
8	26 день	50,0	9,0	9,0	216,0	10,800	1,944	8,856

3.5 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	30 день	40,0	9,0	9,0	216,0	8,640	1,944	6,696
10	40 день	24,0	9,0	9,0	216,0	5,184	1,944	3,240
11	50 день	20,0	9,0	9,0	216,0	4,320	1,944	2,376
12	60 день	15,0	9,0	9,0	216,0	3,240	1,944	1,296
13	70 день	15,0	9,0	9,0	216,0	3,240	1,944	1,296
14	80 день	18,0	9,0	9,0	216,0	3,888	1,944	1,944
15	90 день	24,0	9,0	9,0	216,0	5,184	1,944	3,240
16	102 день	23,0	9,0	9,0	216,0	4,968	1,944	3,024
17	105 день	22,0	9,0	9,0	216,0	4,752	1,944	2,808
Итого:						272,808	104,976	167,832
За время опыта								
С учетом 15 дней "push-pull"						272,808	134,136	138,672
18	110 день	34,0	9,0	9,0	216,0	7,344	1,944	5,400
19	112 день	30,0	9,0	9,0	216,0	6,480	1,944	4,536

Результаты экспериментов, представленные в таблице 3.5 и на рисунках 3.1 и 3.2 показывают, что за период опытных работ в течение 54 суток добыто 272, 808 кг урана. При функционировании скважины в режиме кислотного выщелачивания, при исходной концентрации металла 9мг/л, общая добыча составила бы 104, 976 кг.

Таким образом, общая прибыль в добычи урана составила, ориентировочно, 167,832 кг металла. За вычетом простоя скважины в период "push-pull" добыто дополнительно 138,672 кг урана.

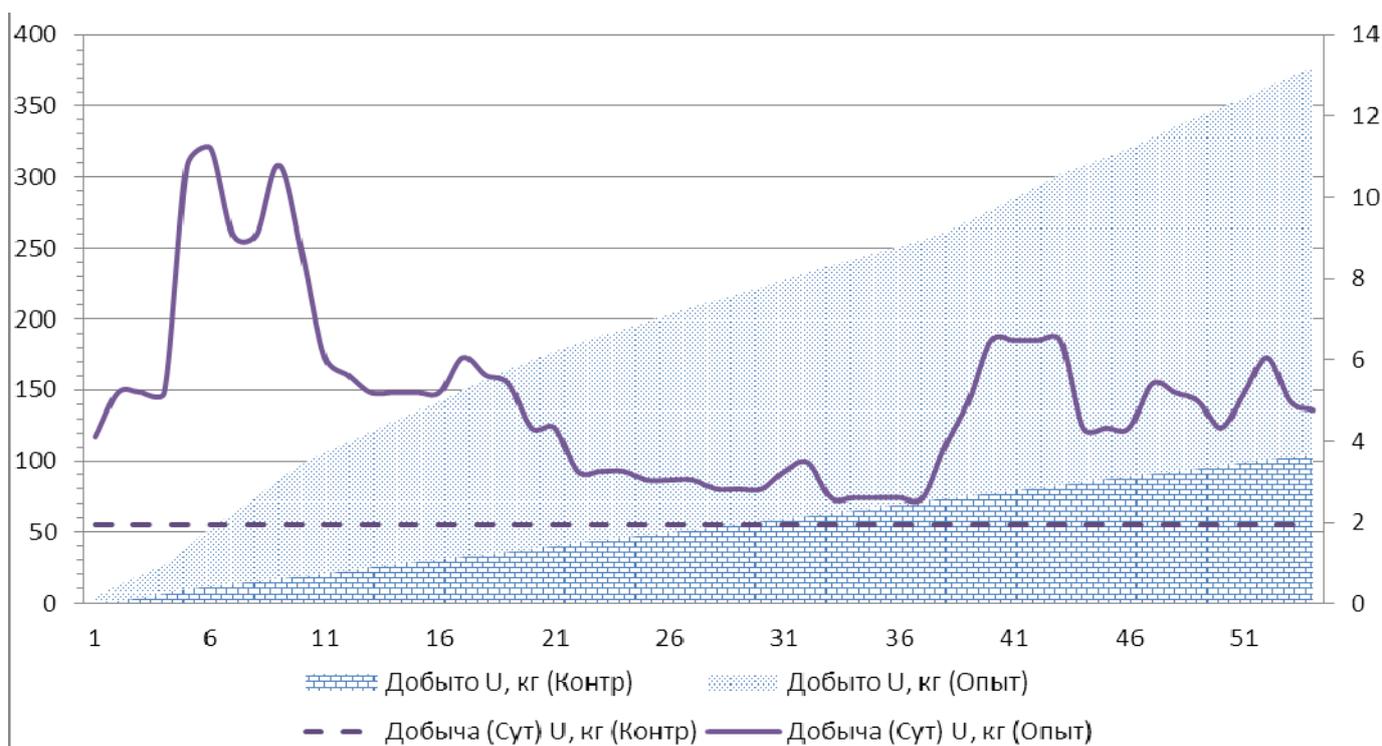


Рис.3.2 Добыча металла при применении бактериальных растворов (скважина 654-09)

Таблица 3.6

Сравнительный анализ выноса урана по блоку 654

Дата опробования	Кислотность закачных растворов	Концентрация металла мг/л			
		654-02	654-07	654-09	654-10
06.10.10			25 (1,22)	9 (0,61)	
4 день	2,0		28 (1,35)	26 (0,98)	13(1,23)
9 день	2,0	15(1,6)	29(1,1)	24(0,86)	11(0,86)
14 день	1,7	15 (1,72)	24 (0,70)	25 (0,74)	10
21 день	1,7	17	23	15	15
23 день	2,3	17	25	15(0,61)	10
26 день	2,6	10	30	30(0,61)	9
29 день	2,8	9 (1,23)	19 (0,74)	25 (0,61)	8 (0,61)
31 день	1,8	9 (1,23)	24 (0,74)	22 (0,50)	10 (0,50)

Примечание – в скобках даны концентрации остаточной кислотности растворов

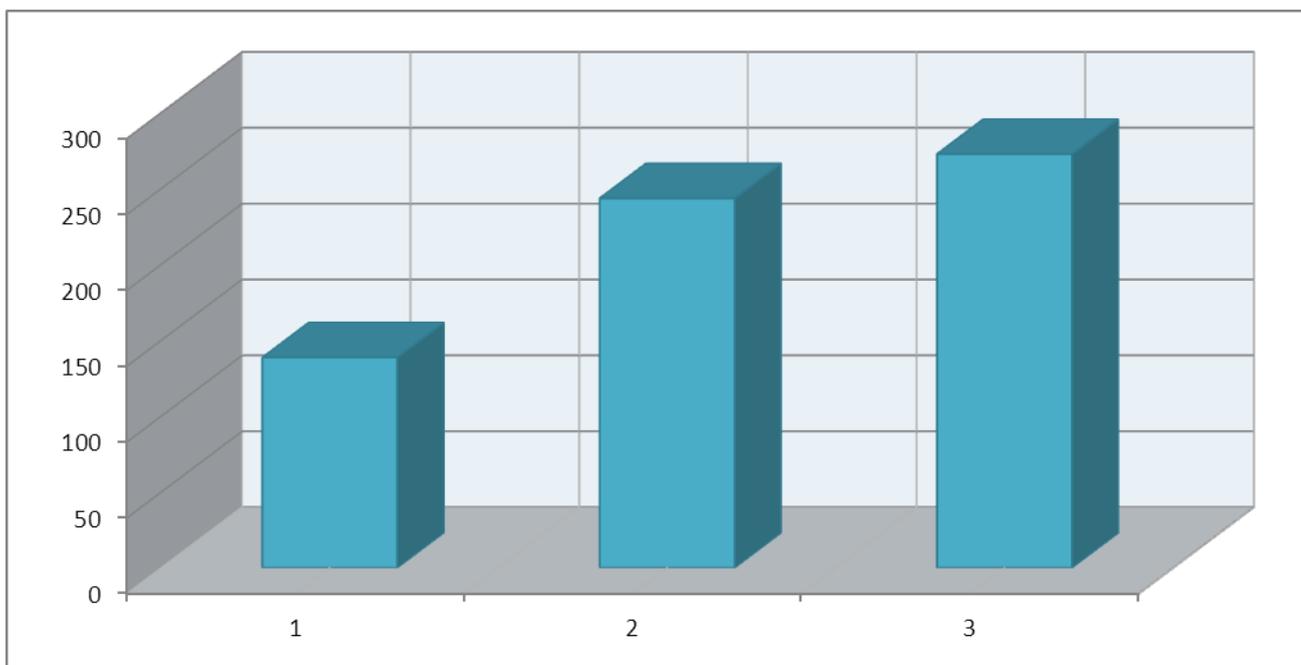


Рис. 3.3 Сравнительный анализ добычи металла

1. Добыча металла при исходной концентрации;
2. Внесение бактериальных растворов с вычетом простоя в режиме "push-pull" 15 дней;
3. Внесение бактериальных растворов.

Сравнительный анализ работы всего блока в период экспериментальных работ по применению бактериальных растворов в ПВ, представленный в таблице 17, показывает, что увеличение выноса металла наблюдается лишь по опытной скважине 654-09. Относительное колебание концентраций отмечается по скважине 654-07 (вариант "push-pull").

Таким образом, применение бактериальных растворов в качестве окислителя процессов выщелачивания урана позволило интенсифицировать процесс и увеличить отдачу пласту.

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В опытном варианте при совмещении режимов "push-pull" и динамического разработана схема доизвлечения урана из отработанных скважин с использованием бактериальных растворов, позволяющая увеличить вынос урана в 2,6 раза.

В период опытных работ в течение 54 суток по скважине 654-09 добыто 272, 808 кг урана. Общая прибыль в добыче урана по этой скважине составила 167,832 кг металла. За вычетом простоя скважины в период "push-pull" добыто дополнительно 138,672 кг урана.

Экономический эффект при использовании бактериальных растворов для доизвлечения запасов урана, оставшихся в скважине 654-09, составляет 11млн. сум.

Промышленное внедрение предложенного способа позволит дополнительно получить в год с одной скважины до 800 кг металла. Ожидаемый экономический эффект при этом составит 60-70 млн. сум в год.

Положительный опыт экспериментальных работ распространить на другие участки ПВ, пригодные для бактериального выщелачивания по параметрам кислотности (рН=1,5-2,0), степени отработанности, наличию в составе рудовмещающих пород сульфидных минералов.

С целью увеличения эффективности опытно-промышленных работ по доизвлечению урана из отработанных скважин с использованием бактериальных растворов рекомендуется осуществить реализацию процесса в замкнутом цикле с локальной сорбцией откачиваемых растворов.

5. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТЬ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРОЕКТА

Загрязнение почв. О характере выщелачивания при этом судят по содержанию металлов и твердой и жидкой фазах лишь после их разделения. Оценка состава жидкой фазы возможна только на выходе из колонки, а твердой фазы - после завершения процесса и извлечения материала, что снижает информативность экспериментов. На основе накопленного опыта проведения экспериментов по исследованию процесса инфильтрационного выщелачивания в лабораторных условиях предложен, устраняющий отмеченный недостаток

Проницаемые забалансовые руды вовлекаются в процесс выщелачивания и могут служить дополнительным источником урана, но при повышенных удельных расходах реагента.

Отрицательным моментом использования общей минерализации жидкой фазы с накоплением в ней тяжелых металлов. В результате этого отмечается негативное воздействие остаточного очага загрязнения на природные воды, особенно на участках развития пресных подземных вод, что требует разработки и реализации дополнительным природоохранных мероприятий.

Основными причинами загрязнения окружающей среды естественно активными изотопами уранового ряда является: проливы технологических растворов при эксплуатации скважин из-за нарушения целостности технологических средств и выполнении различных операций, разбрызгивание растворов при откачке эрлифтами, шлам и керн при бурении скважин, остаточные растворы в недрах эксплуатационных участков и растекание их в смежные над-и подрудные водоносные горизонты через скважины и «окна» в водоупорах. При этом основные объекты загрязнения-атмосферный воздух, почвы, поверхностные и, главным образом, подземные воды.

Основной роль выделяется при добычи урана из недр, связанные с охраны окружающей среды. Экологический безопасность важный значение имеет при добычи руды открытым и шахтными способами.

Сам по себе менее экологически вредным является процесс подземного выщелачивания с точки зрения загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами. Основной удельный активность урановой руды обуславливается активностью радия 226. При подземном выщелачивание урана серной кислотой основными источниками загрязнения окружающей среды является: урановые продуктивные растворы загрязняющие

окружающей среды при наличии дефектов трубопроводов. Сернокислые растворы могут загрязнять подземные воды в том числе и питьевые.

Применение безреагентной (минирагентной) технологии исключают вероятность загрязнения подземных вод реагентами, что создает возможность применения способа вблизи населенных пунктов.

Охрана атмосферного воздуха. Воздушная среда, примыкающая к эксплуатационным участкам ПВ и цехам переработки растворов, может загрязняться долгоживущими радиоактивными аэрозолями вследствие ветровой эрозии производственных площадей, загрязненных продуктами выщелачивания. Кроме того, в процессе чистки скважин образуется тонкодисперсный радиоактивный аэрозоль, разносимый ветром по промплощадке и за ее пределами. В связи с этим размещение всех служебных, производственных сооружений, жилых поселков и объектов соцкультбыта производится только с наветренной стороны по отношению к контуру эксплуатационных участков

Техника безопасности в работе.

Запрещается;

- работать на буровых установках со снятыми или неисправными ограждениями ротора, иминделия, низа ведущей трубы, барабана лебедки, передач привода.- Оставлять свечи не заведенными за палец вышки, мачты.- Принимать бурильные и обзадные трубы при скорости движения больше 1,5 м / с.

- перемещать в роторе шпиндели бурильные трубы во время движения ротора (шпинделя). Свинчивать и развенчивать трубы во время движения ротора (шпинделя).

- очистка бурильных труб определится должно проводится при помощи специального приспособления. Длина бурильных труб определяется высокой вышки.

- применять канат или одна прядь каната оборвана.

- работать на лебедке с неисправными тормозами. Стоять в непосредственной близости около спускаемого или поднимаемых труб или элеватора. Проверять или чистые резьбовые соединения голыми руками.

- запуск насоса при устанавливается ограничитель подъема.

- удлинить рукоятки грубных ключей можно только путем плотного надевания на них безтовных патрубков. Длина сопряжения должно быть не менее 0,2 м и длина клюна не должно превышать 2,0 м.

- применять элеваторы с затворами не имеющими фиксирующих задвижек.

- закреплять наголовник до прекращения движения элеватора при спуска –одъемных операциях.

- поправлять, снимать и надевать элеваторы и наголовник до установки снаряда на подкладную вилку при работе с трубооборотом - держать руками вращаются трубу, вставлять вилку в прорези замка до полной остановки водила, пользоваться вилками с удлинными рукоятками, применять дополнительные трубные ключи, стоять в направлении водила в начальный момент открепления резьбового соединения, производить включения трубооборота при наклонно летающей вилке.

Буровые насосы и их обвязка перед вводом в эксплуатацию и после каждого монтажа должны быть отпрессованы водой на полуторное максимальное давление. Восстановление циркуляции в скважине должно производиться путём постепенного увлечения подачи промывочной жидкости на забой.

Все операции, производимые на высоте свыше 1,5 м, проводятся со специальной площадки. Свинчивание и развинчивание породоразрушающего инструмента проводится при соблюдении следующих правил. Труба удерживается на весу тормозов управляемым бурильщиком, подвеска трубы только на вертлюге - пробке не более 0,2 м от пола.

Перед спуском или подъемом колонны обсадных труб буровой мастер обязан лично проверять исправность буровой мачты, талевого системы оборудования, надежность натяга домкратов опор мачты, надежность крепления и натяг растяжек. Запрещается при спуске обсадных колонн допускать свободное раскачивание секции. удерживать от раскачивания трубу руками. поднимать, опускать подтаскивать трубы путем охвата их канатом.

затаскивать и выносить трубы массой более 50,0 кг без трубной тележки.

Запрещается при извлечении труб одновременно работать лебедкой и домкратом.

Полиэтиленовые и полихлорвиниловые трубы спускается с утяжелителем, после спуска во избежание обратного подъема трубы фиксируются дополнительным хомутом под ротором.

Ремонтно-восстановительные работы скважин

Работы по тампонированию, цементированию проводятся в присутствии бурового мастера технолога по бурению либо начальника бурового при их полном опустошении, задвижки полностью перекрыты.

Смесители кислот оборудуются площадками и лестницами для обслуживания. Смесители должны быть закрыты экранами из антикоррозийного материала. При прокачке технологических скважин при помощи компрессорных установок работы проводят в соответствии с инструкциями для использования компрессоров. При подаче сжатого воздуха в скважины запрещается прекращения подачи воздуха путем перегибания шланга.

Подвоз реагентов для обработки проводится специальными машинами. Обработку скважин декальматирующим реагентом проводятся только обученные лица. Снабженные защитной одеждой, обувью, резиновыми перчатками, очками, противогазом.

Запрещается вести обработку скважины при ветре 12 м / сек и более. Оператор при обработке скважины стоит с под ветреной стороны.

На нем надета резиновый фартук, очки, противогаз, резиновый перчатки, специальные одежды и специальные обувь, брюки одеть по верх сапог.

При работе с кислотами на скважине должно быть: чистая вода не менее 100 л, 3 % раствор соды, разбавленный раствор борной кислоты 1,0 л, порошкообразная сода 0,5 кг раствор дикаина 0,5 % в концентрации о объема 0,2 л, вата и ватные тампоны.

Пенвоимпульсная обработка технологических скважин должно проводится с соблюдением правил безопасности при работе с сосудами работающими под давлением.

Список литературы

1. Экзогенные эпигенитические месторождения урана (условия образования) // под редакцией Перельмана А.И., М., Атомиздат, 1965,-312 стр.
2. Перельман А.И. Геохимия. М., Высшая школа, 1978.
3. Минералы Узбекистана// под ред. Хамрабаева И.Х. Ташкент, Фан, 1980, т.1-4
4. Шербинина В.В. Основы геохимии М.: Недра , 1972
5. Гидрогенные месторождения урана. Основы теории образования. // под ред. Перельмана А.И. М.:Атомиздат, 1980
6. Краткий справочник по геохимии / Войткевич Г.В., Мирошников А.Е., и др. М.: Недра, 1970.
7. Каримов Х. К., Бобонорюв НС, Толстое Е.А. и др. Учкудукский тип урановых месторождений Республики Узбекистан. - Ташкент: Фан. 1996.
8. Металлогения артезанских бассейнов Средней Азии//Гольдштейн Р.Н., Бровин К.Г., Каримов Х.К., и др. Ташкент, Фан, 1992
9. Справочник геотехнологии// под руководством Д.И.Скороварова, М.: Энергоатомиздат, 1997, 630 стр.
10. Калабин А.И. Добыча полезных ископаемых ПВ и другими гидрометаллургическими методами. Москва, Атомиздат, 1981.
11. Добыча урана методом подземного выщелачивания // под. Ред. Мамилова В.А. М., «Атомиздат», 1980, -248 стр
12. Аренс В.Ж. Скважинная добыча полезных ископаемых (геотехнология) М., «Недра», 1986, 278 стр.
13. Толстов Е.А., Толстов Д.Е. Физико-химические геотехнологии освоения месторождений урана и золота в кызылкумском регионе. М., Геоинформцентр, 2002, 208 стр.
14. Грабовников В.А. Геотехнологические исследования при разведке металлов.// Москва, «Недра», 1983 -123 стр.
15. Шумилин М.В., Муромцев Н.Н., Бровин К.Г., и др. Разведка месторождений урана Для отработки методом подземного выщелачивания.// М., Недра, 1985-210 стр.
16. Методы исследований при подземном выщелачивании руд / Белецкий В.И., Давыдова Л.Г., Долгих П.Ф.-М.:МГРИ, 1981.
17. А.с. 1613590 СССР, Е 21 В 43128. Лабораторная установка для изучения процессов подземного выщелачивания. - Абдульманов И.Г., Аванесьянц Г.И., Бровин К.Г. и др. Б.И., 1990.

18. . Ломтадзе В.Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород (учебное пособие), Изд-во «Недра», Ленинградское отд., 1972, -311 стр.

19. Глотов Г.Н., Еременко А.Н., Скрипник А.Б. Методическое руководство для проектирования скважинных систем при разработке пластово-инфильтрационных месторождений урана способом подземного выщелачивания. – Навои: , НГМК, 1998.

20. Глотов Г.Н. Применение скважинных систем на урановых пластово-инфильтрационных месторождениях, обрабатываемых способом подземного выщелачивания. Горный Вестник Узбекистана, №1, 2009 г., с. 70-73.

21. .Глотов Г.Н., Скрипко С.В. Разработка планов горных работ на предприятиях подземного выщелачивания урана // Горный Вестник Узбекистана, №1, 2009 г., с. 100-103.

22. . Глотов Г.Н.О некоторых аспектах геотехнологического районирования рудных залежей пластово-инфильтрационных месторождений урана //Горный Вестник Узбекистана, №2 (37), 2009 г., с. 13-16.

23. Скрипко С.В., Истомин Комплексный подход при подборе параметров технологии отработки месторождения Тохумбет методом ПВ. // Горный Вестник Узбекистана, №2 (37), 2009 г., с. 57-61.

24. . Глотов Г.Н. Повышение эффективности разработки урановых месторождений способом ПВ// Горный Вестник Узбекистана №3 (38) , 2009. с.76-79.

25. Глотов Г.Н. О нормативах готовых к добыче запасов для обеспечения годовой производительности предприятия ПВ урана // Горный Вестник Узбекистана №4 (39) , 2009. с.99-101.

26. Глотов Г.Н. Детермированная динамическая модель геотехнологии подземного выщелачивания урана// Горный Вестник Узбекистана 2010с №1 (40) ,.45-49

27. Глотов Г.Н. Эффективность скважинных систем с этажным расположением фильтров и методика их проектирования на объектах ПВ НГМК// Горный Вестник Узбекистана 2010г.№2 (41) с.49-53.

28. Глотов Г.Н. Оценка эффективности скважинного подземного выщелачивания урана // Горный Вестник Узбекистана 2010г. №2(41), с.116-119.

29. Садонин В.Г., Веселова Л.Н. Разработка гидрогенных месторождений методом подземного выщелачивания. М:ЦНИИАтоминформ, 1981.

33.Лабораторное исследования урановых руд месторождение Краунпойнт (США)// ЦНИИ информации и ТЭИ по атомной науке и технике. ПВ урана за рубежом. Выпуск № 100(841)1989 г.

30. Пути интенсификации подземного выщелачивания. // под ред. Чеснокова Н.И. М.: Энергоатомиздат, 1979.
31. Отчет «О результатах опытных работ по бактериальному фильтрационному выщелачиванию урана из руд на участке ПВ-11 месторождения Бешкак» Фонды ЦНИЛ. Инв. 810. 2001 г
34. Саттаров Г.С., Лильбок Л.А., Ларионов Е.Д. и др. Вклад ЦНИЛ в создание и развитие урано и золотодобывающей промышленности Узбекистана. г.Навои, Типография НГМК. - 252 с.
35. Есаулов В.Н. Колпакова Е.В., Лильбок Л.А, Саттаров Г.С., Ильинг П.А. Единство технологий подземного выщелачивания инфильтрационных месторождений урана-залог их успешного освоения // Горный вестник Узбекистана, 2008 г., т.32 № 1, с.72-75.
36. Колпакова Е.В., Есаулов В.Н. Саттаров Г.С., Лильбок Л.А Першин М.Е. Научные аспекты развития работ по подземному выщелачиванию урана // Горный Вестник Узбекистана 2009, №1 с.49-52.
37. Каравайко Г.И., Практическое руководство. Биогeотехнология металлов. 1989.
38. Гольбрайт А.И., Каначинова М.К., Скрипченко Л.Н. Химико–микробиологическая характеристика вод и руд некоторых шахт Джезказганского месторождения // Тр.ИмиВ АН КазССР. «Жизнедеятельность микроорганизмов в природных субстратах Казахстана». Алма–Ата. 1978. Т.23.С. .
39. Каравайко Г.И., Кузнецов С.И. «Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд, М. 1972.
40. Каравайко Г.И. Микробиологические процессы выщелачивания металлов из руд. (Обзор проблемы). Центр международных проектов, ГКНТ. М.1984.
41. Полькин С.И., Адамова Э.В., Панин В.В. Технология бактериального выщелачивания цветных и редких металлов. Недр. М. 1982.
42. Бочевеp Ф.М., Орловская А.Е. Гидрогеологические обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнения. М.: Недрa, 1972
43. Охраны окружающей среды при проектировании и эксплуатации рудников.// Мосинец В.Н., Адpеев О.К., и др. М.: Недрa, 1981.
44. Скрипко С.В., Петухов О.Ф., Шишкин Б.Б. и др. Опытные работы по подземному выщелачиванию урана с применением гипохлорита натрия в качестве окислителя // Горный Вестник Узбекистана . 2011.№1, с. 37-41.
45. Сообщение “Результаты опытных работ по бактериальному выщелачиванию урана на залежи 5 – 1 участка ПВ – 3 месторождения Кетменчи в режиме "пушпул " Исх.34-23/874 от12.09.06г.

46. Научный отчет «Результаты опытных работ по извлечению урана из отработанных блоков ПВ с использованием бактериальных растворов» . 2010 г. Инв. ЦНИЛ НГМК №1021.