

## АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D070700 – «Горное дело»

Джакупов Данияр Амирханович

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Оценка современного состояния решаемой научной или научно-технологической проблемы.** По данным МАГАТЭ около 19 % от всех разведанных мировых запасов урана сосредоточено в недрах Республики Казахстан. Общие запасы и ресурсы оцениваются в 1610 тыс. тонн урана, в том числе запасы промышленных категорий (В+С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub>) составляют 920 тыс. тонн.

Уникальной особенностью урановых месторождений Республики Казахстан является то, что 75 % из них сосредоточено в породах, связанных с региональными зонами пластового окисления. Этот тип месторождений не имеет широкого распространения в мире и разрабатывается наиболее прогрессивным, относительно дешевым и экологически предпочтительным способом подземного скважинного выщелачивания. Технология подземного скважинного выщелачивания, также известного как добыча растворением, руда остается на месте залегания и через нее прокачиваются жидкости для выщелачивания минералов из руды. Следовательно, почвенный покров почти не нарушается, не образуется хвостов и пустой породы.

Себестоимость добычи способом подземного выщелачивания через скважины в 2,5-3 раза ниже подземными горными выработками, поэтому он остается наиболее перспективным.

Проблемами при применении данной технологии является снижение производительности технологических скважин. Как правило, причинами уменьшения дебита скважин является кольматация фильтров и прифильтровых зон водоносного пласта, неправильный выбор сети скважин, которые вызывают увеличение гидравлических сопротивлений и снижение притока раствора в скважины.

К настоящему времени существуют различные способы повышения производительности технологических скважин путем ликвидации кольматации фильтров, изменением схемы вскрытия и параметров расположения скважин. Если одни авторы предлагают рядную схему расположения скважин, то другие - ячеистую схему. До настоящего времени нет единого мнения о преимуществе той или иной схемы расположения скважин, технологии декольматации скважин.

**Основание и исходные данные для разработки темы.** Основанием для разработки темы диссертации является отсутствие универсальной методики

выбора сети и параметров технологических скважин, а также применение на рудниках различных реагентов без учета горно-геологических условий разрабатываемого месторождения, обеспечивающих стабильное, равномерное протекание процесса ПСВ и рациональный расход реагентов.

В качестве исходных данных для разработки темы исследований выбраны: горно-геологические условия месторождения Семизбай, которое обрабатывается методом подземного скважинного выщелачивания.

**Обоснование необходимости проведения научно-исследовательской работы.** Потребность в уране из года в год возрастает, вместе с тем, соотношение спроса и предложения урана на мировом рынке за 2002-2015 годы и прогноз до 2025 года показывает, что нехватка урана в мире составит около 20 тыс. тонн. Несмотря на это, на рынке урана наблюдается снижение его цены, так, если в 2010-2011 годах килограмм урана стоил 110 долларов, то в настоящее время цена упала до 60 долларов. Поэтому стоит острая задача повышения эффективности и снижения себестоимости добычи урана на действующих предприятиях. Решением данной задачи является научное обоснование выбора сети и параметров технологических скважин, типа реагентов для увеличения межремонтного цикла работы и повышения извлечения металла. В настоящее время сеть и параметры технологических скважин, реагенты для декольматации скважин и повышения извлечения урана принимаются по аналогии, без учета конкретных горно-геологических условий разрабатываемого месторождения, окончательное решение принимается после проведения опытно-промышленных испытаний.

**Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработке, патентных исследованиях и выводы из них** определяются проведением научного анализа современного состояния научно-технической проблемы и патентных исследований по повышению эффективности подземного скважинного выщелачивания, в частности выбора сети и параметров технологических скважин, реагентов для ремонтно-восстановительных работ и повышения извлечения металла. Из анализа можно сделать вывод о том, что обоснование этих параметров и сети требует серьезных исследований. В диссертации корректно использованы теоретические и экспериментальные исследования, собран представительный объем статистических данных, математическая обработка которых показала сходимость теоретических и экспериментальных данных.

**Сведения о метрологическом обеспечении диссертации.**

Диссертация выполнена на основе опытно-промышленных работ на руднике Семизбай. Анализ результатов исследований проведен на базе лаборатории рудника, где используются приборы и установки, прошедшие государственную метрологическую поверку в период эксплуатации.

В табличных и графических данных использованы единицы измерений, соответствующие метрологическим правилам и нормам Международной системы единиц СИ.

### **Актуальность темы.**

Привлекательным аспектом добычи урана является относительная стабильность потребностей мирового рынка в уране. При среднем сроке эксплуатации энергетического реактора 30-40 лет, только потребности существующего парка реакторов гарантируют определенный уровень спроса мирового рынка на уран на ближайшие несколько десятилетий. В связи с этим инвестиционные риски в уранодобывающей отрасли значительно ниже, чем в большинстве горнодобывающих отраслей. При самом неблагоприятном развитии ядерной энергетики, к 2020 году потребности реакторов не опустятся ниже 60000 тонн урана. Вероятность развития по базовому сценарию 65%. Для оптимистичного сценария вероятность 20% и для пессимистичного 15%.

Схема расположения скважин принимается по аналогии, окончательное решение принимается после проведения опытно-промышленных испытаний, что требует значительных капитальных и эксплуатационных затрат. В зависимости от горно-геологических условий месторождения, известные способы декольматации требуют проведения дополнительных исследований и зачастую не дают желаемых результатов. Особенно остро стоит данная проблема при разработке сближенных рудных залежей.

Вопросам повышения эффективности разработки урановых месторождений способом ПСВ посвящены исследования ряда ученых. Однако ряд моментов в них не учитывает особенностей конкретных месторождений, особенно имеющих сближенные залежи. Поэтому решение этих вопросов является актуальной задачей.

**Новизна темы** заключается в повышении эффективности ПСВ урана выбором сети и параметров технологических скважин в зависимости от величины рН, определением межремонтного цикла работы скважин и содержания урана в продуктивном растворе от объема бифторида аммония и использования пероксида водорода.

**Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами.**

Диссертационная работа выполнена в рамках хозяйственного договора №281 от 23.12.2016 года «Разработка технологий снижения частоты кольматации при ПСВ урана».

**Цель исследований** заключается в повышении эффективности выщелачивания урана на основе рациональных схем и параметров расположения технологических скважин с применением различных реагентов.

**Объектом исследований** является месторождение Семизбай, которое расположено северо-восточнее г.Степногорска, на территории района Биржан сал Акмолинской области и Уалихановского района Северо-Казахстанской области.

**Предметом исследований** являются сети и параметры технологических скважин, ремонтно-восстановительные работы, применение различных реагентов при ПСВ урана

### **Задачи исследований, их место в выполнении научно-исследовательской работы в целом:**

- изучение и анализ современного состояния добычи урана и восстановления производительности скважин на объекте исследования (глава 1);

- исследование влияние различных схем и параметров расположения технологических скважин на эффективность ПСВ урана (главы 2,3);

- исследование влияния различных реагентов на интенсификацию процесса выщелачивания урана (глава 4);

- разработка рекомендации для производства (главы 2,3,4)

Задачи, представленные выше и решаемые в настоящей диссертации, логически связаны между собой и направлены на достижение поставленной цели исследований.

### **Методологическая база исследований**

К основным методам исследований, применяемым при выполнении диссертации, относятся:

- анализа современного состояния научно-технической проблемы и исследований по повышению эффективности подземного скважинного выщелачивания;

- проведение опытно-промышленных работ;

- сбор и анализ статистических данных;

- обработка результатов исследования и разработка рекомендаций производству.

### **Положения, выносимые на защиту**

На защиту диссертации выносятся следующие положения:

- расстояние между скважинами при различных схемах их расположения необходимо определить с учетом величины рН, что приведет к стабильному, равномерному протеканию процесса выщелачивания и к оптимальному времени отработки блока;

- при отработке сближенных залежей производительность и межремонтный цикл работы технологических скважин зависят от их схемы и сети расположения;

- производительность технологических скважин и содержание урана в ПР зависят от концентрации бифторида аммония и пероксида водорода в растворе.

**Публикации и апробация работы.** Результаты работы докладывались на международных научно-технических и научно-практических конференциях «Инновационное развитие горнодобывающей отрасли» (Кривой Рог, 2016) и «Научное и кадровое сопровождение инновационного развития горно-металлургического комплекса» (Алматы, 2017) а также на международной конференции «Сатпаевские чтения» (Алматы, 2018) и «Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации» (Пенза, 2018), на научных семинарах кафедры «Горное дело» в КазНИТУ им.К.И.Сатпаева.

Публикации, включают две статьи в «Горном Журнале Казахстана», в научно-техническом журнале «Труды университета» (Караганда, 2018), а также в рейтинговом журнале «Горный Журнал» (база Scopus), (Москва, 2017).

**Структура и объем работы:** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 57 наименований и содержит 99 страниц машинописного текста, 43 рисунка, 7 таблиц, 25 формул.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Урановое месторождение Семизбай относится к группе гидрогенных месторождений. Генезис месторождения пластово-инфильтрационный. Месторождение приурочено к песчано-глинистым отложениям. Не выветренные залежи состоят из уранинита, пирита и других сульфидов, заполняющих поры в боковой породе и находящихся обычно в ассоциации с углеродом, который присутствует в форме древесного или асфальтитового материала. Отдельные рудные скопления залегают почти параллельно напластованию и имеют пластообразную, почти удлиненную форму.

Семизбайское месторождение по всем прямым и косвенным признакам относится к гидротермальному типу III группы сложности. Оно отчетливо контролируется широтным блоковым разломом глубокого заложения с амплитудой вертикального перемещения гранитного ложа до 100 с лишним метров. Наблюдается очень слабая сортированность материала, мелколинзовый и тонкослоистый характер оруденелых песков и глин, сильно осложняющих и даже исключаящих уверенную увязку литологических разновидностей на разрезах (при шаге скважин 30 м). Кроме того, часто встречающиеся резкие переходы рудных песков в глины связаны с перемещениями глыб и обрывков при тектонических активизациях, в том числе пострудной стадии. По геотехнологическим особенностям для отработки способом ПСВ месторождение Семизбай относится к категории самых сложных. Рудные тела месторождения Семизбай залегают в пределах глубин 60-130 м.

Для лентообразных, вытянутых в широтном направлении рудных залежей, сформированных балансовыми рудными телами, характеризующимися сложной морфологией и резко извилистой формой выклинивания рудных линз, промышленная отработка геологических блоков ведется с разной схемой и сетью расположением скважин. Наиболее часто используемые: расстояние между откачными скважинами – 25м, закачными – 25м; расстояние между рядами – 30 м., а также между откачными скважинами – 20м, закачными – 20м; расстояние между рядами – 25м; расстояние между откачными скважинами – 25м, закачными – 25м; расстояние между рядами – 25 м. и гексагональная схема. При многоуровневом (до 3-4-х) расположении рудных тел применяется рядная схема расположение скважин аналогично выше указанной. Расстояния между уровнями до 5м.

При отработке данного месторождения возникли следующие проблемы: неоптимальная геохимическая среда для выщелачивания урана, под которой

следует понимать не поддержание необходимых значений рН для минимизации сопутствующих негативных процессов (например, снижение кислотности по линии тока растворов и образование кольматации); неоптимальность движения технологических растворов, зависящая от избыточного гидравлического давления растворов в местах сгущения закачных скважин на разные уровни.

На руднике используется несколько вариантов сетей расположения технологических скважин. Для выбора эффективных схем и параметров расположения технологических скважин с учетом горно-геологических условий были проведены экспериментальные работы. Основными показателями были приняты производительность скважины и частота её кольматации.

Как показывают наблюдения, при гексагональной схеме расположения скважин наблюдается снижение дебита семи скважин из девяти от 4% до 61%, в двух скважинах кольматации не было. В остальных скважинах частота кольматации в среднем составляет 2 раза, иногда 3 раза с продолжительностью межремонтного цикла их работы до 30 дней. На ниже представленном рисунке 1 графики 4-х скважин, показавшие наибольший результат после РВР.

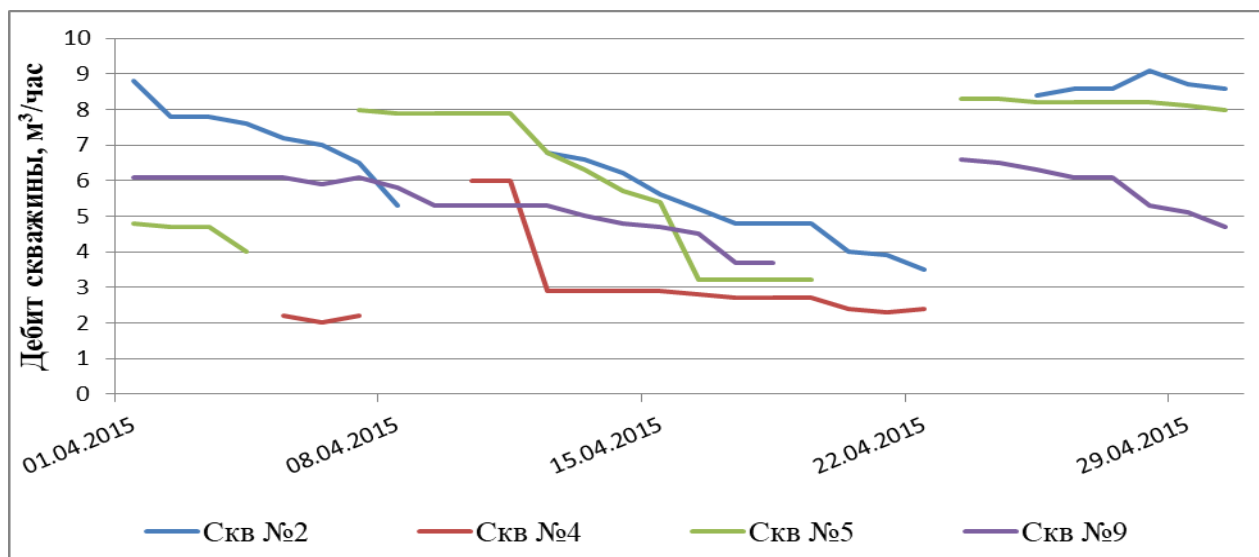


Рисунок 1- Снижение дебита при гексагональной схеме расположения скважин

При применении рядной схемы расположения за тот же период (рисунок 2), наблюдается снижение дебита 2-х скважин максимум до 6%, а в шести скважинах остановки работы не было. Частота кольматации в среднем составляет 1 раз, с продолжительностью межремонтного цикла их работы 30 дней.

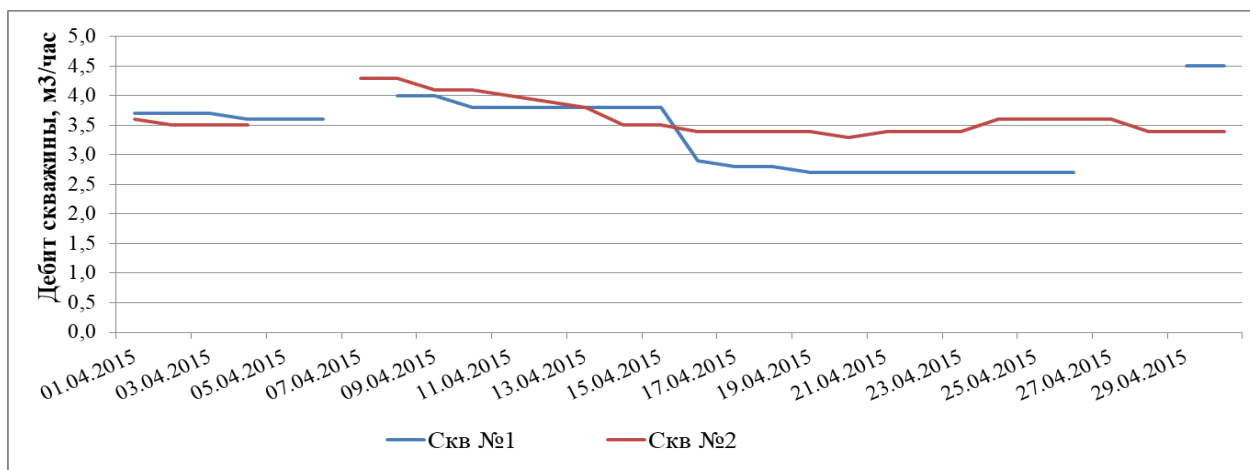
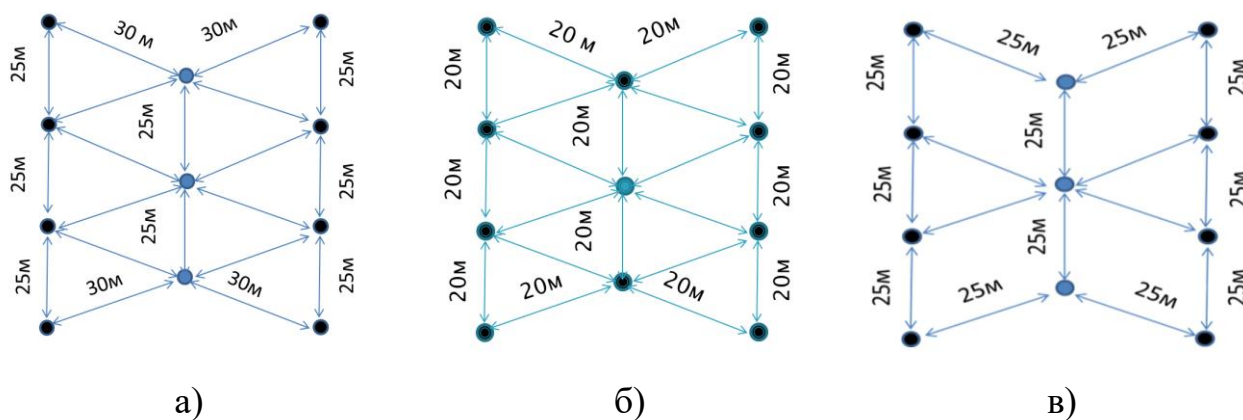


Рисунок 2 - Снижение дебита при рядной схеме расположения скважин

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что при горно-геологических условиях данного месторождения эффективным с точки зрения сохранения необходимого дебита скважин и минимизации частоты кольтматации является рядная схема расположения скважин.

Для определения эффективных параметров сети бурения при выбранной рядной схеме расположения скважин были исследованы применяемые на данном месторождении параметры технологических скважин (рисунок 3).



а) схема расположение скважин при сети 25\*25\*30м; б) схема расположение скважин при сети 20\*20\*20м; в) схема расположение скважин при сети 25\*25\*25м

Рисунок 3- Существующие схемы расположения скважин

На опытно-промышленных блоках проводилось опробование для определения изменения рН продуктивных растворов, а также индукционный картаж – с целью выяснения времени прохождения технологических растворов между скважинами и зоны закисления. Эти показатели свидетельствуют о скорости закисления эксплуатационных технологических блоков.

По результатам проведенных экспериментальных работ были получены зависимости значения рН от сети расположения технологических скважин.

При сети вскрытия 25x25x30м (рисунок 4) было выявлено, что время прохождения технологических растворов до значения рН 2,62 в разы увеличилось (более 100 суток). При этом данное значение не соответствует рН рабочего раствора, при котором протекает процесс выщелачивания. Увеличение времени прохождения растворов приводит к перерасходу используемых реагентов.

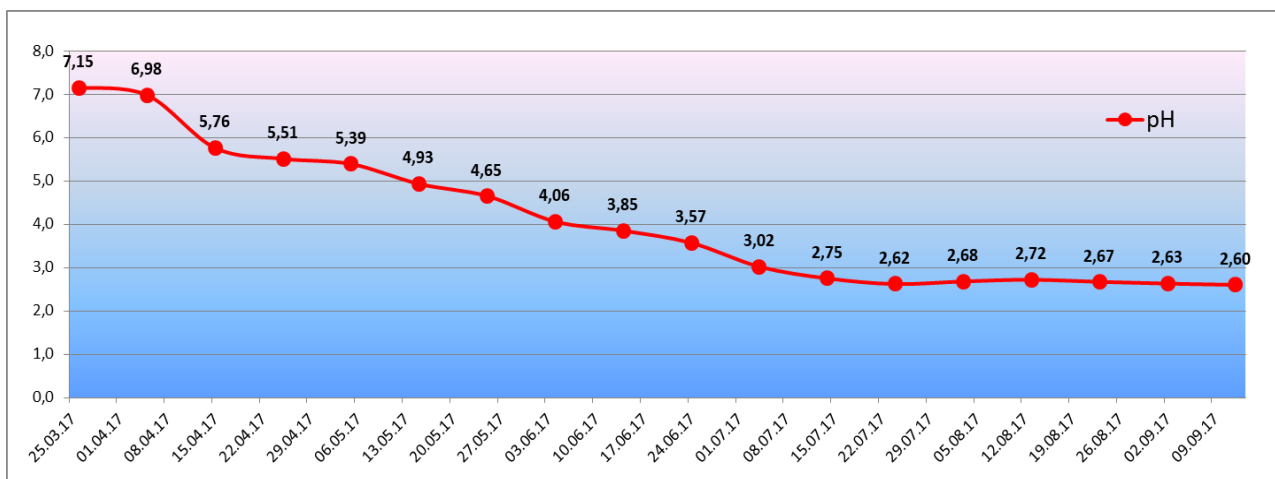


Рисунок 4 – Изменение значения рН по блоку №1 (сеть вскрытия 25×25×30м)

При сети вскрытия 20x20x20м (рисунок 5) получено наиболее резкое снижение значений рН за короткий период (25-30 дней), что свидетельствует об увеличении коэффициента фильтрации в связи с сокращением минимальной длины линии тока, что в последующем может привести к эффекту каналирования и недостатку времени для прохождения реакции в рудном горизонте.

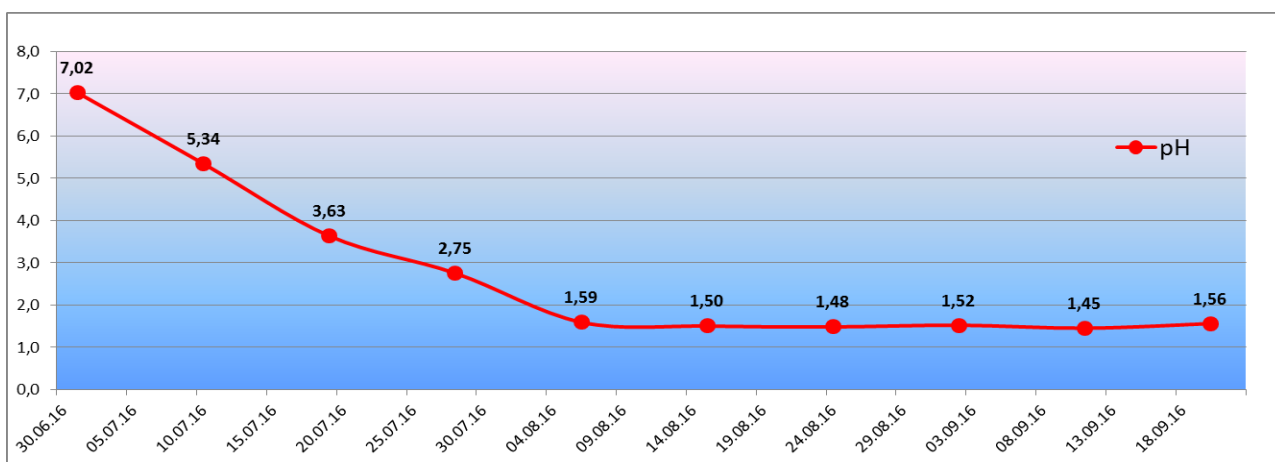


Рисунок 5 – Изменение значения рН по блоку № 2 (сеть вскрытия 20×20×20м)



При сети вскрытия 25х25х25м (рисунок 6), процесс снижения рН проходит стабильно и равномерно. Необходимые значения рН для эффективного протекания процесса были получены в течение периода 60-70 суток.

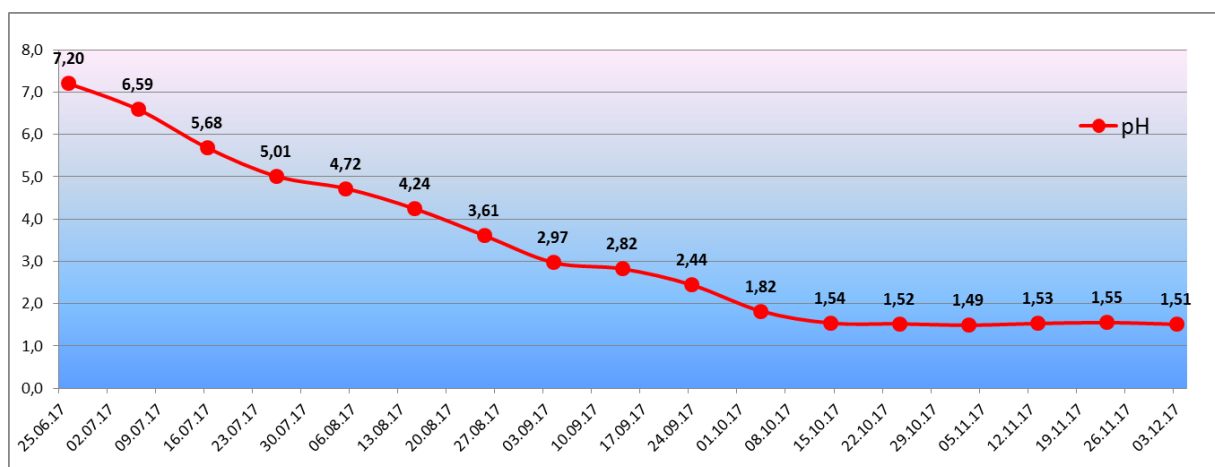


Рисунок 6 – Изменение значения рН по опытной ячейке №3 (сеть вскрытия 25×25×25м)

Для подтверждения полученных данных были проведены дополнительные исследования для получения зависимости концентрации серной кислоты и величины рН от расстояния между скважинами при различных схемах. Обработкой статистических данных были получены зависимости концентрации серной кислоты и величины рН от расстояния между скважинами при различных схемах (рисунок 7).

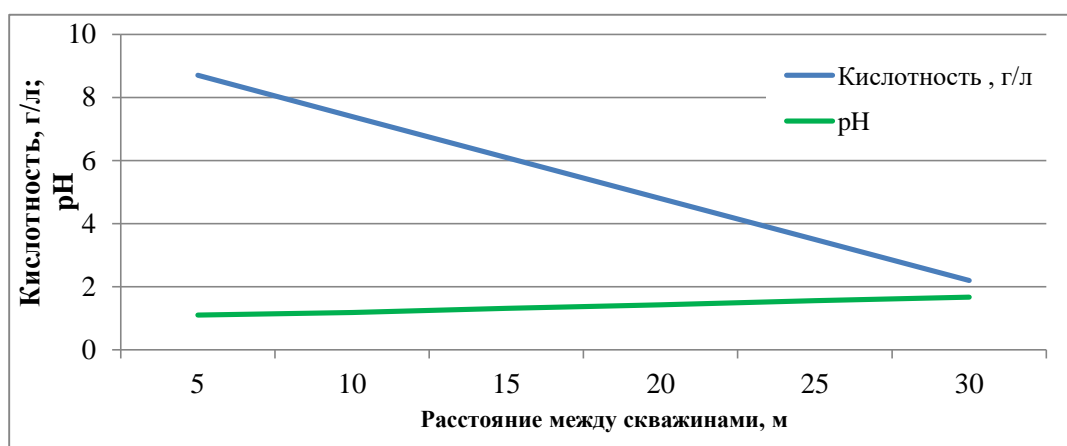


Рисунок 7- Зависимость концентрации серной кислоты и величины рН от расстояния между скважинами

Анализ работы различных схем расположения скважин позволил сделать вывод о том, что увеличение расстояния между скважинами приводит к

снижению содержания серной кислоты в продуктивном растворе по линии тока и увеличению рН.

При расстоянии между скважинами 20-25 метров (рядная схема) концентрация серной кислоты при приближении к откачной скважине уменьшается соответственно до 4 г/л и 2,8 г/л. Эти значения соответствуют величинам рН 1,5 и 1,7, то есть значительного осаждения коагулирующих элементов не будет. А при расстоянии между скважинами 30 м, концентрация серной кислоты уменьшается до 1 г/л, соответственно рН 1,9, а это уже область значительного осаждения. Эти данные позволяют нам сделать вывод, что оптимальным расстоянием между скважинами является 25 метров.

Для подтверждения полученных результатов, на технологических блоках с разными сетями бурения были сооружены наблюдательные скважины. В данных скважинах провели опробование и индукционный каротаж (ИК), начиная с начальных этапов закисления и до периода активного выщелачивания.

На диаграмме (рисунок 8) показан результат определения степени закисления пород на основе данных ИК. Данная скважина расположена в центре обрабатываемого блока, разбуренного по сети 25\*25\*30м. Технологические растворы этого блока, прошедшие через горнорудную массу, где расположена исследуемая скважина, проявились в электрических свойствах рудовмещающих пород.

Динамика закисления исследуемого блока ярко выражена в изменениях диаграмм периодически проводимого индукционного каротажа. Согласно данным этих кривых закисление при сети вскрытия 25\*25\*30м происходит довольно медленно. Таким образом, данные ИК подтверждают выводы, сделанные по значениям рН, полученным в результате опробования.

На диаграммах (рисунки 9) отображены изменения степени закисления горнорудной массы во времени при сети вскрытия 25\*25\*25м.

На представленных кривых видно, что закисление верхнего рудного уровня, расположенного между двумя выдержанными водоупорами, проходит быстрее, чем нижнего рудного горизонта. Однако нижний рудный уровень достиг определенных показателей электропроводности, соответствующих высокой степени закисления, значительно быстрее по времени при сети вскрытия 25\*25\*25м, чем при сети 25\*25\*30м.

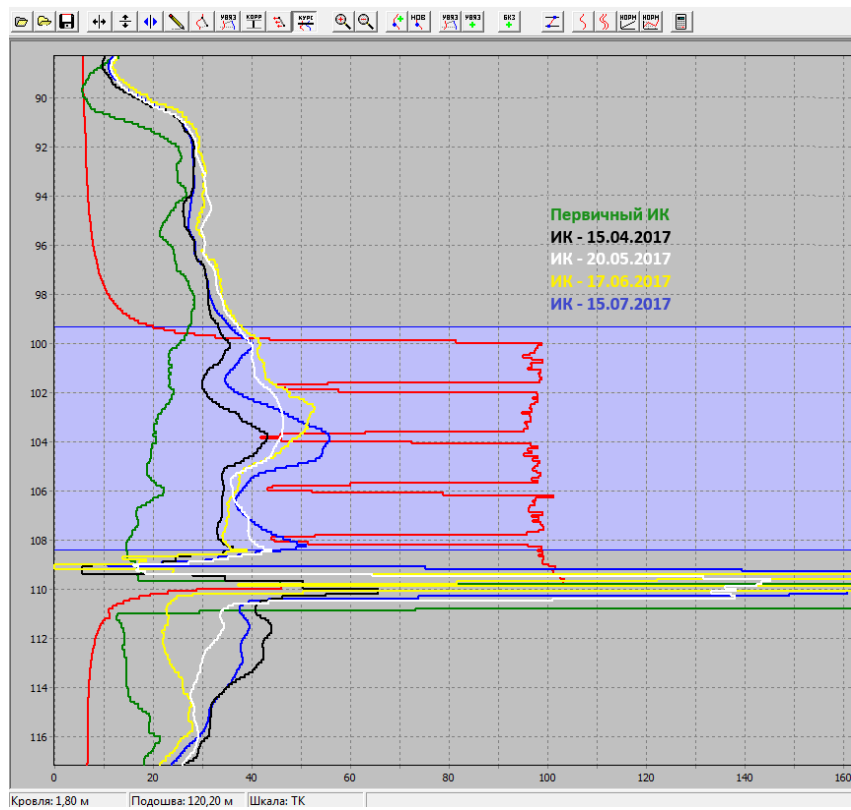


Рисунок 8 – Диаграммы изменения ИК во времени при сети бурения 25\*25\*30

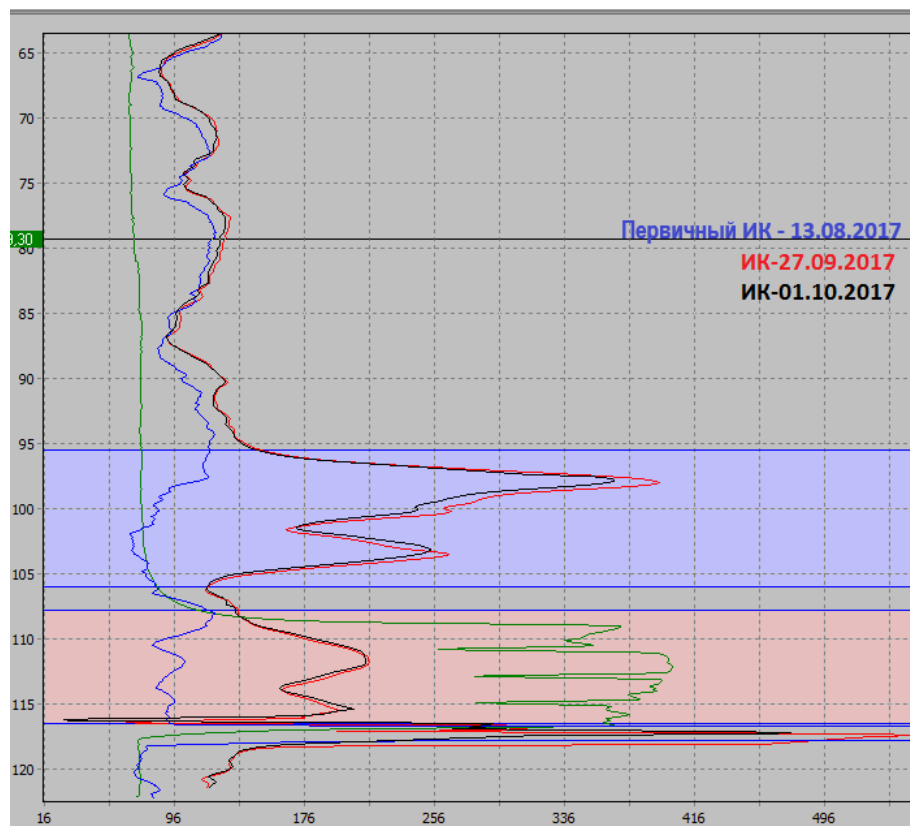
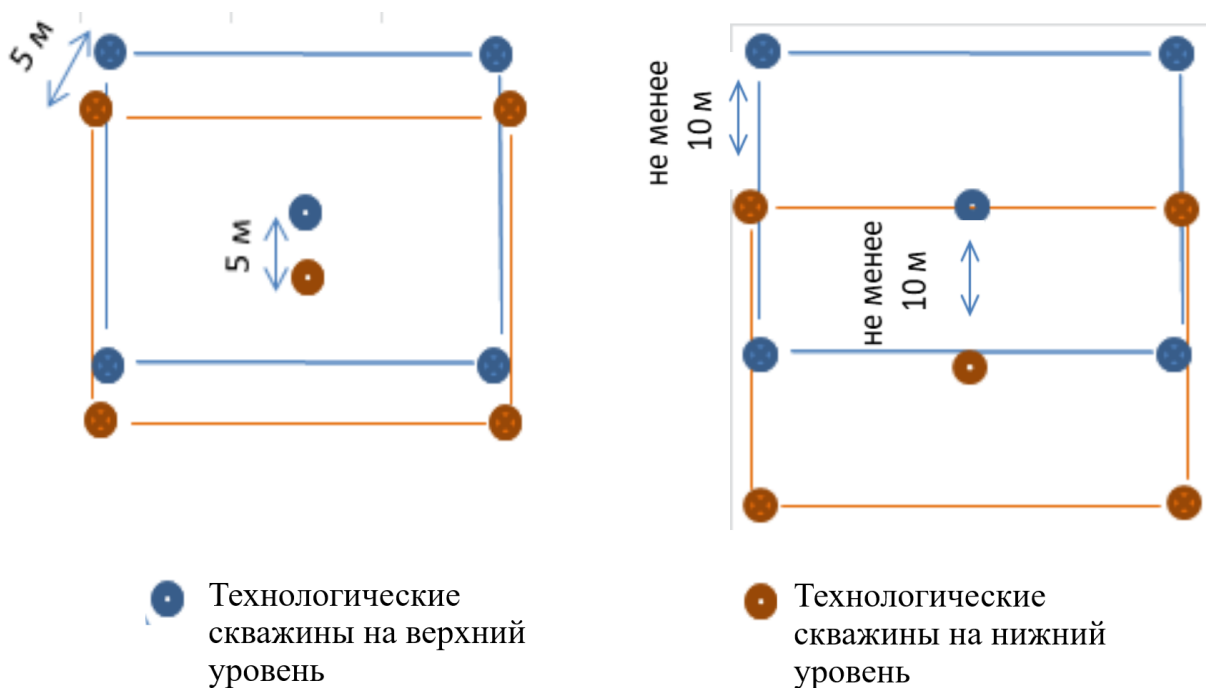


Рисунок 9 – Зона закисления скважины через 49 суток (25\*25\*25м)

Суммируя выше представленную информацию можно сделать вывод, что при использовании сети бурения 25x25x25 по рядной «конвертной» схеме, когда создаются ячейки квадратной формы с четырьмя закачными скважинами и одной откачной практически исключается сооружение лишних технологических скважин. Использование данной сети приводит к стабильному и равномерному прохождению процесса, и, в свою очередь, к оптимальному времени отработки блока и рациональному расходу реагентов.

В настоящее время в разработку методом ПСВ вовлекаются месторождения урана, которые нередко имеют несколько рудных тел с ярусным их расположением в продуктивном горизонте. Как правило, эти рудные тела не ограничены по вертикали устойчивыми водоупорами и находятся друг от друга на расстоянии от 8 до 50 м. При этом расстояния между технологическими скважинами верхнего и нижнего рудных горизонтов составляет не более 5 метров (рисунок 10а). Применение данной схемы расположения скважин приводит к усложнению соблюдения геотехнологического баланса растворов, увеличению гидравлической нагрузки на определенные участки и срока отработки технологического блока.

Для устранения вышеуказанных недостатков предлагается схема вскрытия многоярусных рудных тел в условиях сложных гидрогенных месторождений, представленная рисунке 10 б.



а)

б)

а) существующая схема вскрытия многоярусных руд;

б) предлагаемая схема вскрытия многоярусных руд.

Рисунок 10 - Схемы вскрытия многоярусных руд

Принципиальное отличие предлагаемой схемы состоит в том, что технологические скважины нижнего рудного горизонта необходимо

располагать на середине межскважинного расстояния технологических скважин верхнего рудного горизонта. Таким образом, расстояние в плане между скважинами на верхний и нижний горизонты будет составлять не менее 10 метров. Равномерное распределение скважин по разряженной сети в плане снижает точечную гидравлическую нагрузку на водоносный рудный горизонт. Это влечет за собой более эффективное распределение технологических растворов в пласте и их свободную циркуляцию, исключая эффект «канализования» из-за избыточного давления на определенные участки.

Данная схема позволит решить проблемы с соблюдением баланса технологических растворов, благодаря снижению точечной гидравлической нагрузки. Это же повлечет за собой снижение количества проводимых РВР на закачных скважинах в связи с соответствием их приёмности заданному регламенту. Также появится возможность реверсирования скважин между рядами в горизонте независимо от работы парной скважины в другом горизонте. Так как частично исключается передавливание растворов между горизонтами.

Эксплуатация технологических скважин в условиях месторождения Семизбай подтверждает, что имеет место образование химической кольматации, которая представлена соединениями кремния. При хорошем дебите в начале эксплуатации происходит его постепенное снижение. При этом мероприятия (свабирование, эрлифтная прокачка сжатым воздухом, химическая обработка), нацеленные на увеличение дебита не приносят ожидаемого результата.

С целью решения данной проблемы нами был предложен способ использования бифторида аммония в присутствии раствора серной кислоты для повышения растворения кольматирующих веществ.

Во избежание потерь бифторида аммония в процессе реакции, установили загрузочный короб на устье обсадной колонны скважины, через который бифторид аммония без предварительного растворения засыпался сразу в скважину. Далее, опустив сливной шланг в обсадную колонну скважины на глубину ниже статического уровня 5-10 м и закрепив его на устье скважины, проводилась углубленная химическая обработка выщелачивающим раствором с высокой кислотностью (ВРВК). Скорость подачи ВРВК в скважину регулировалась сливным вентилем в зависимости от её приёмности.

Время ожидания после подачи бифторида аммония колебалось в пределах 24-48 часов. Расход бифторида аммония на обработку одной технологической скважины составлял 15-50 кг. После ожидания отстаивания скважины в режиме реагентной обработки, проводилась эрлифтная прокачка прифилтровой зоны скважины и отстойника до осветления растворов для удаления растворенного кольматанта.

В результате проведения химической обработки по выше описанному способу дебиты в технологических скважинах увеличились с 1,4-2,0 м<sup>3</sup>/час до 4,4-5,3 м<sup>3</sup>/час соответственно. Таким образом, получено увеличение производительности скважины от 48% до 75%, местами до 150% (рисунок 11).

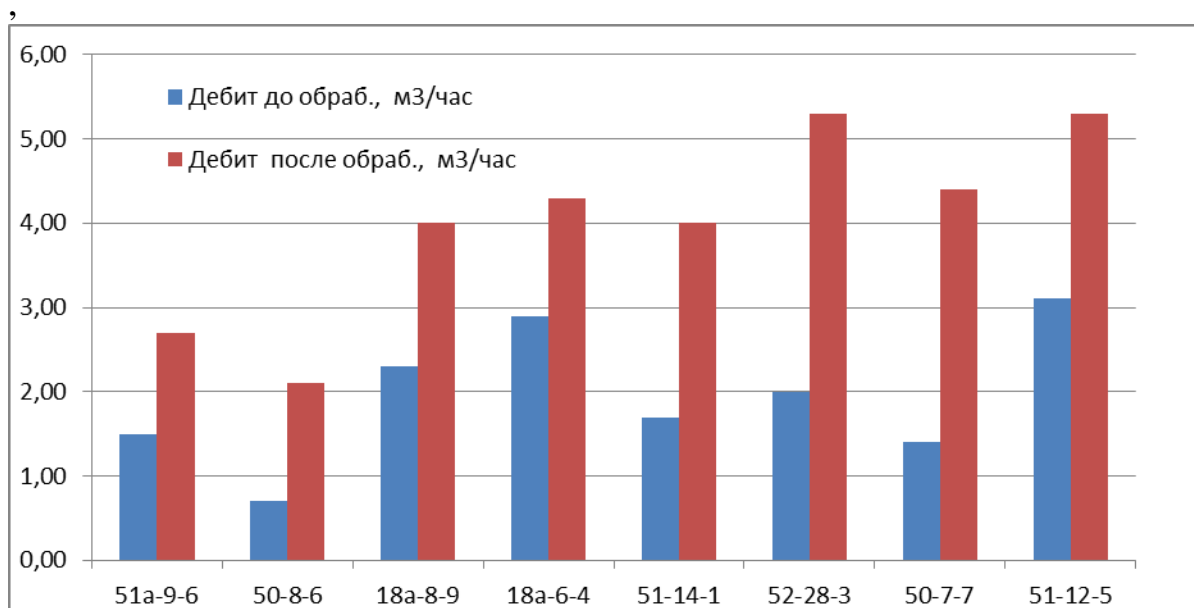


Рисунок 11 - Изменения дебитов технологических скважин в результате обработки БФА

После обработки скважин бифторидом аммония межремонтный цикл, в среднем, увеличился на 55 дней. Из полученных результатов был сделан вывод, что способ, при которой БФА без растворения засыпается в скважину, а сверху подается ВРВК является более эффективной. Реакция образования плавиковой кислоты проходит непосредственно в прифилтровой зоне, реагируя с труднорастворимыми соединениями кремния уменьшая кольтматацию фильтров технологических скважин (рисунок 12).

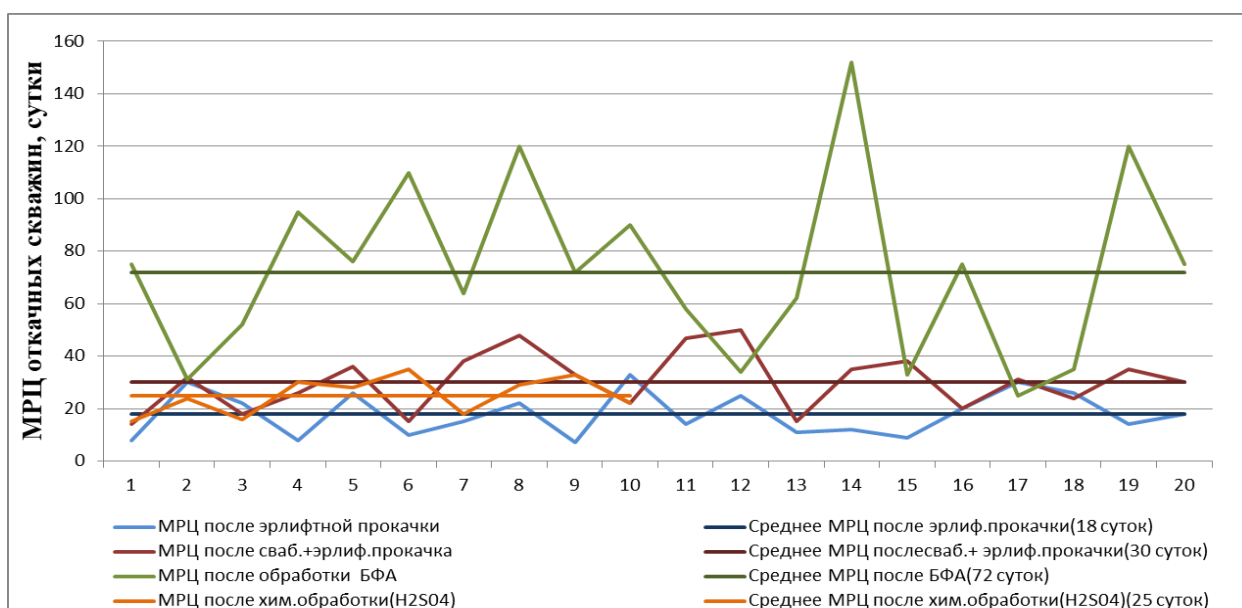


Рисунок 12 - Сравнительный анализ по межремонтному циклу после ремонтно-восстановительных работ

Химическая обработка технологических скважин кислотными растворами с применением бифторида аммония с целью ликвидации химической труднорастворимой кольматации дает результаты, удовлетворяющие поставленным задачам.

Для повышения концентрации урана в продуктивном растворе нами были проведены исследования влияния пероксида водорода в качестве окислителя на процесс выщелачивания, путем добавления его в выщелачивающие растворы.

Следует отметить, что месторождение Семизбай, в отличие от месторождений Шу-Сарысу и Сырдарьинской провинций, характеризуется глубоким вторичным восстановлением, приведшим к практически полному исчезновению железа  $3+$  в составе пластовых вод и ГРМ. Поэтому, для создания окислительной среды в растворах выщелачивания были проведены опытно-промышленные работы по применению в качестве окислителя железа  $2+$  в железоз $3+$  пероксид водорода (с содержанием  $H_2O_2$  до 60%) при различной кислотности выщелачивающих растворов.

Контролируемым параметром, свидетельствующим о количестве подаваемого на окисление пероксида водорода, является значение ОВП и концентрация 3-х валентного железа в выщелачивающих растворах.

По результатам проведенных экспериментальных работ были получены зависимости значения содержания урана от концентрации серной кислоты и пероксида водорода в исследуемых технологических блоках и скважинах.

На первом этапе на опытный технологический блок А пероксид водорода подавался в условиях низкой кислотности (3-5 г/л) выщелачивающих растворов в течение 40 суток (рисунок 13).

При этом средняя концентрация пероксида составила 0,4 л/м<sup>3</sup> выщелачивающего раствора. Как видно на рисунке 13 через 24 дня с начала подачи пероксида водорода наблюдалось незначительное повышение содержания урана на 6-8 мг/л.

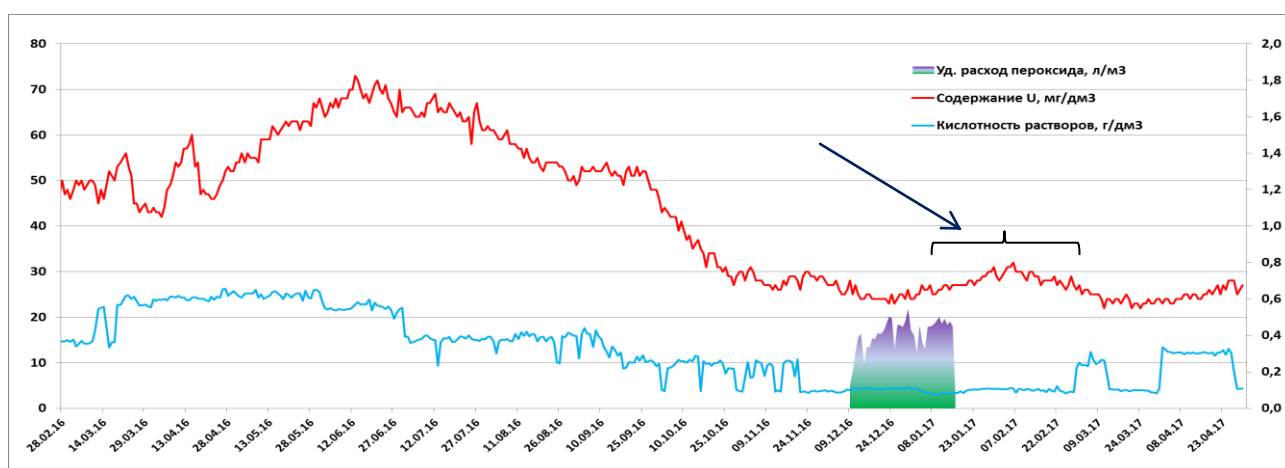


Рисунок 13 - Подача пероксида водорода в условиях низкой кислотности (4 г/л)

На втором этапе экспериментальных работ на технологическом блок Б подавался пероксид водорода при концентрации серной кислоты в

выщелачивающих растворах  $\approx 15-18$  г/л (рисунок 14). При этом через короткий промежуток времени с начала подачи пероксида водорода наблюдался рост концентрации урана в продуктивных растворах.

После остановки подачи пероксида водорода на технологический блок Б концентрация серной кислоты в выщелачивающем растворе оставалась на уровне 15-18 г/л. Однако, наблюдалось стабильное значительное снижение концентрации урана в продуктивных растворах.

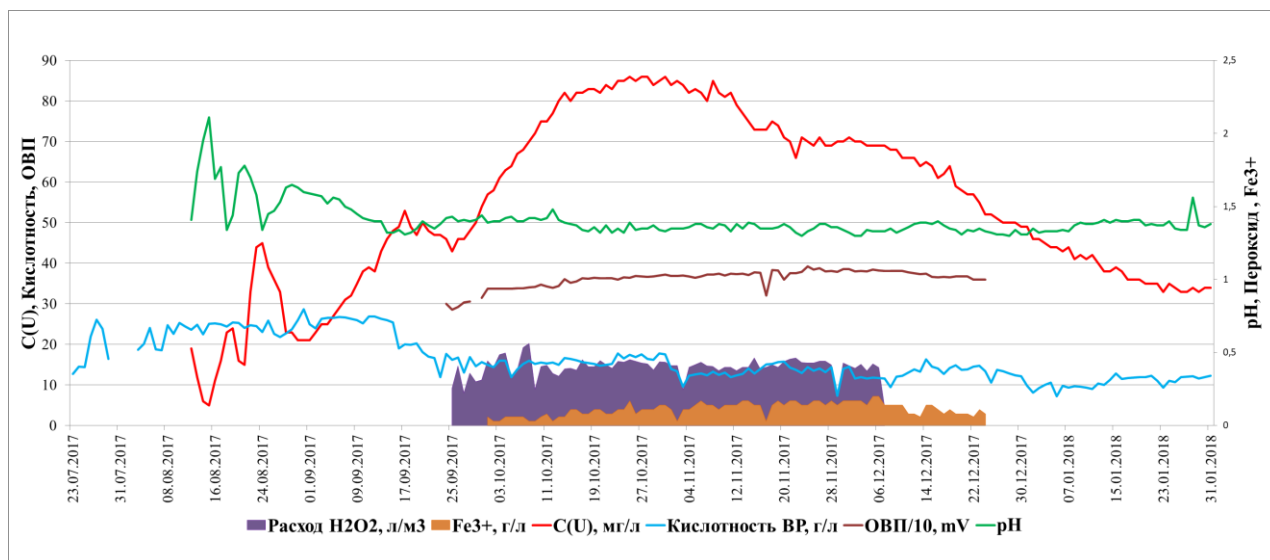


Рисунок 14 - Подача пероксида водорода в условиях средней кислотности (15-20 г/л)

На третьем этапе пероксид водорода подавался точно, по отдельным скважинам. Для экспериментальных работ были выбраны две скважины, одна из которых расположена в центре блока, а вторая является одиночной пушпульной скважиной. На рисунках 15 и 16 представлены графики работы

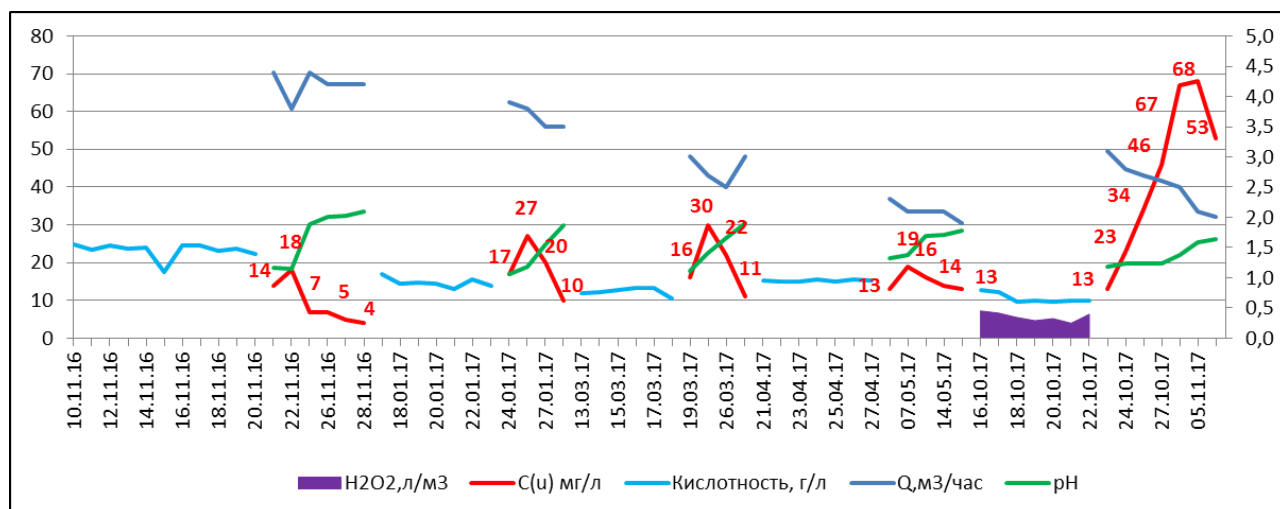


Рисунок 15 - Подача пероксида водорода по отдельным скважинам (точно), скважина универсальная в центре блока.



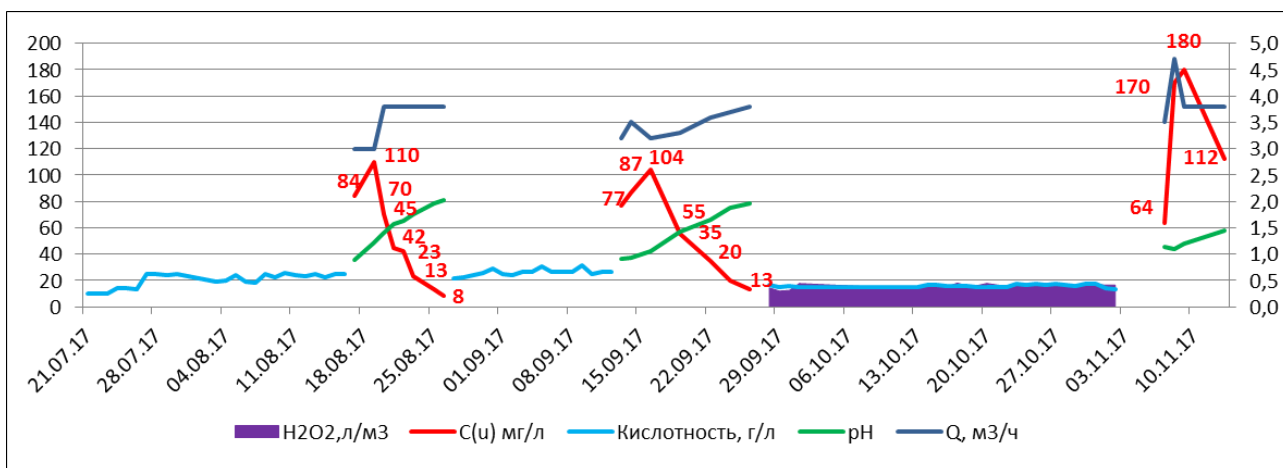


Рисунок 16 - Подача пероксида водорода по отдельным скважинам (точечно), скважина «пуш-пул»

данных скважин при подаче выщелачивающего раствора только с серной кислотой, а в последующем с добавлением пероксида водорода.

Результаты применения пероксида водорода на руднике «Семизбай» четко показывают, что применение пероксида водорода оказывает положительное влияние на увеличение концентрации урана в добываемых продуктивных растворах в среднем на 25%. В то же время оптимальными условиями подачи пероксида водорода являются обеспечение концентрации серной кислоты в выщелачивающих растворах в значении не менее чем 13-15 г/л. В противном случае положительное влияние пероксида водорода существенно сокращается. Наиболее предпочтительным является подача пероксида водорода на блоки с низкой степенью отработки, на начальной стадии активного выщелачивания.

В результате проведенных работ можно сделать следующее заключение.

#### Краткие выводы по результатам исследований.

1. Проблемами при применении технологии подземного скважинного выщелачивания является снижение производительности технологических скважин в результате кольматации фильтров и прифильтровых зон водоносного пласта, неправильного выбора сети расположения скважин.

2. Для условий месторождения Семизбай более эффективным с точки зрения обеспечения необходимой производительности скважин и снижения частоты кольматации является рядная схема расположения скважин.

3. Для выщелачивания сближенных рудных залежей предложена технологическая схема расположения скважин, которая отличается тем, что технологические скважины нижнего рудного горизонта необходимо располагать посередине технологических скважин верхнего рудного горизонта. Равномерное распределение скважин по разряженной сети в плане снижает точечную гидравлическую нагрузку на водоносный рудный горизонт. Это влечет за собой более эффективное распределение технологических растворов в пласте и их свободную циркуляцию, исключая эффект «канализования» из-за избыточного давления на определенные участки.

4. Получены зависимости дебита скважин до и после обработки с применением бифторида аммония. Химическая обработка технологических скважин с применением растворов бифторида аммония дает положительные результаты надлежащего качества. Химическая обработка привела к увеличению дебита в технологических скважинах с 1,4 -2,0 м<sup>3</sup>/ч до 4,4-5,3 м<sup>3</sup>/ч, т.е. дебит, увеличился от 48% до 75% соответственно, а местами до 150%.

5. Для уменьшения времени на выщелачивание и повышение извлечения предложено использовать пероксид водорода с учетом концентрации серной кислоты в выщелачивающих растворах. Для условий месторождения Семизбай применение пероксида водорода оказывает положительное влияние на увеличение концентрации урана в добываемых продуктивных растворах в среднем на 25%.

#### **Оценка полноты решений поставленных задач.**

Решены следующие задачи, поставленные в работе:

- установлены зависимости производительности и частоты кольматации технологических скважин от схемы их расположения, что позволяет увеличить межремонтный цикл работы скважин и снизить себестоимость выщелачивания урана;

- получены зависимости величины рН от сети и параметров технологических скважин, что приводит к стабильному, равномерному прохождению процесса ПСВ и рациональному расходу реагентов;

- выявлены зависимости производительности технологических скважин от объема бифторида аммония, используемого при ремонтно-восстановительных работах, что позволит повысить межремонтный цикл их работы, а также содержание урана в продуктивном растворе от применения пероксида водорода в выщелачивающем растворе.

Поставленные задачи в диссертации по повышению эффективности различных схем подземного скважинного выщелачивания при разработке гидрогенных месторождений решены полностью, цель работы достигнута. Предложена рядная схема расположения и сеть бурения скважин 25х25х25м, а также необходимая концентрация бифторида аммония и пероксида водорода.

#### **Рекомендации и исходные данные по конкретному использованию результатов исследований.**

На основании выполненных исследований:

- Для месторождения Семизбай рекомендуется использование рядной схемы расположения скважин и сети их бурения 25х25х25м, что приводит к стабильному, равномерному протеканию процесса и рациональному расходу реагентов.

- Необходимые значения рН для эффективного протекания процесса выщелачивания достигаются с истечением 60-70 суток.

- Для проведения ремонтно-восстановительных работ рекомендована концентрация бифторида аммония 25 кг на одну технологическую скважину.

- При применении пероксида водорода необходимая концентрация серной кислоты в выщелачивающем растворе должна быть не менее 13-15 г/л.

### **Оценка технико-экономической эффективности.**

Экономический эффект от внедрения результатов исследования рассчитан на блок площадью 15 тыс.м<sup>2</sup>, с учетом увеличения межремонтного цикла работы скважины на 15 % и концентрации металла в продуктивном растворе на 25% и составляет 41485552,6 тг.

**Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области.**

Оценка научного уровня выполненной работы проведена на основании анализа научно-исследовательских работ СНГ и дальнего зарубежья. Выполненный анализ литературных источников, результаты теоретических и экспериментальных исследований, представленных в настоящей диссертации, позволяют сделать вывод, что исследования по выбору схемы и сети расположения скважин для отработки сложных гидрогенных месторождений урана с учетом величины рН до настоящего времени не были проведены. На действующих предприятиях концентрация бифторида аммония и использование пероксида водорода принимается по аналогии, без учета геологических особенностей месторождения, поэтому выполненная диссертация обладает новизной и соответствует современному научно-техническому уровню и тенденциям развития технологии подземного скважинного выщелачивания урана.

**Основные результаты исследований по диссертации опубликованы в следующих работах**

1. Джакупов Д.А, Повышение эффективности добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания Международная научно-техническая конференция «Инновационное развитие горнодобывающей отрасли» 14 декабря 2016год., Кривой Рог, Украина

2. Юсупов Х.А., Алиев С.Б., Джакупов Д.А., Ельжанов Е.А.Применение бифторида аммония для химической обработки скважин при подземном выщелачивании урана/ ISSN 0017-2278 Горный журнал, 2017год Москва №4 (скупс)

3. Юсупов Х.А., Джакупов Д.А., Назарбаева Н.А., Выбор схемы и параметров скважин технологического блока Международная научно-практическая конференция «Научное и кадровое сопровождение инновационного развития горно-металлургического комплекса» 27-28 апреля 2017г., г. Алматы

4. Джакупов Д.А Влияние искривления технологических скважин на показатели выщелачивания урана/ Труды международных Сатпаевских чтений «Инновационные решения традиционных проблем: инженерия и технологии», Алматы, 2018, ISBN 978-601-323-111-2, ББК 72

5. Джакупов Д.А. Выбор схемы расположения технологических скважин при разработке многоярусных рудных залежей Международная научно-практическая конференция «Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации», Пенза, 2018, ISBN 978-5-907135-46-8 Ч. 1 ББК 60

6. Юсупов Х.А., Джакупов Д.А., Башилова Е.С., Повышение эффективности отработки сложных гидрогенных месторождений урана с применением пероксида водорода. Горный журнал Казахстана, 2018, №2, Алматы, ISSN 2227-4766

7. Юсупов Х.А., Джакупов Д.А., The effect of the concentration of sulfuric acid on the distance between the wells in the uranium leaching , Горный журнал Казахстана, 2018, №2, Алматы, ISSN 2227-4766

8. Юсупов Х.А., Джакупов Д.А., Башилова Е.С. Влияние схем вскрытия технологических блоков при отработке месторождений урана Труды университета 2018, №3, Караганды, ISSN 1609-1825