

## АННОТАЦИЯ

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

**Өмірғали Арманбек Қасымұлы**

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫВКИ СОРБЕНТА ПРИ СКВАЖИННОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УРАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА КАВИТАЦИИ**

#### **Оценка современного состояния решаемой научно-технической проблемы**

В последнее десятилетие были проведены большие работы по разработке и внедрению в промышленных масштабах геотехнологической добычи урана, получившей название метода подземного выщелачивания (ПВ). На некоторых предприятиях метод ПВ стал основным при добыче урана. Нет сомнения, что число таких предприятий в будущем увеличится. Сырьевую базу предприятий, добывающих уран методом ПВ, в настоящее время составляют главным образом бедные месторождения гидрогенного генезиса, залегающие в водопроницаемых песчано-глинистых отложениях депрессионных зон земной коры. Несмотря на все преимущества, одной из проблем при применении данной технологии является снижение их производительности из-за низких фильтрационных характеристик руд. Это вызвано, применением растворов серной кислоты в качестве растворителя урановой минерализации, которая взаимодействует с карбонатными и глинистыми минералами продуктивного горизонта, в результате в осадок выпадают кварц, гипс, а также глинистые минералы. Указанное отрицательно влияет на производительность добычных и приемистости нагнетательных скважин, и является причиной образования непроницаемых участков и снижения содержания урана в продуктивном растворе. Повышение фильтрационных характеристик в низкопроницаемых рудах требует применения новых подходов и научно-технических решений, позволяющие предотвращать осадкообразования в продуктивном горизонте.

Существуют различные технологические решения данной проблемы, которые зачастую не дают желаемых результатов, отличаются дороговизной, сложностью их применения.

Одним из путей решения этой проблемы является применение химических реагентов-ингибиторов. Многолетний опыт борьбы с отложениями неорганических солей показал, что наиболее эффективными являются методы, основанные на предупреждении отложения солей.

Вместе с тем, технологическая схема переработки продуктивных растворов в цехе переработки продуктивных растворов включает в себя сорбцию урана на сильноосновный анионит в сорбционных напорных колоннах, десорбцию урана, денитрацию и промывку сорбента.

Сорбционный метод основан на ионообменных процессах и селективности определенного сорта ионообменных смол по отношению к урановым соединениям, находящимся в растворе или пульпе. Для сорбции применяют смолу или активированный уголь. Ионообменная смола применяется здесь в виде мелких сферических гранул и вводится в процесс различным образом: в качестве неподвижного слоя, периодически перемещаемого или непрерывно циркулирующего вместе с раствором веществ. Десятки и сотни тысяч гранул смолы, омываемые раствором, избирательно сорбируют на своей поверхности преимущественно урановые соединения и в очень небольшой мере соединения некоторых других элементов, находящихся в растворе.

Для эффективной десорбции урана используют реагенты, оказывающие наибольшее депрессирующее влияние при его сорбции.

Нитратный способ также относится к классу вытеснительных способов десорбции.

Как известно, что в процессе переработки продуктивного раствора сорбенты используются неоднократно, поэтому после окончания десорбции урана требуется перевод анионита в рабочую ионную форму. Условием повторного их применения является максимальная промывка (денитрация) и восстановление его сорбционной емкости.

Проведенные хронометражные наблюдения на объекте исследования показали, что в настоящее время после денитрации остаточное содержание нитрат-иона в сорбенте находится в пределах 6–11 %, это при том, что концентрация серной кислоты находилась в пределах 25–36%. Т. е. даже при повышенной концентрации серной кислоты в промывочном растворе степень денитрации явно недостаточна. Это приводит к ухудшению сорбционных свойств смолы по урану, потере нитрат-ионов и, как следствие, повышенному расходу аммиачной селитры и серной кислоты.

### **Обоснование необходимости проведения диссертационной исследовательской работы**

Необходимость проведения данной исследовательской работы продиктована необходимостью применения новых подходов и научно-технических решений, позволяющие предотвращать осадкообразования в продуктивном горизонте и разработки технологии для повышения степени денитрации сорбента, снижения расхода реагента и тем самым снижения расходов компании.

**Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки, о патентных исследованиях и выводы из них** определяются полнотой проведенного обзора научно-исследовательских работ по предотвращению осадкообразования в продуктивном горизонте, проблеме денитрации сорбентов. Выявлено, что существуют различные технологические решения проблемы осадкообразования, нет должного отражения вопросов снижения расходов на реагенты при денитрации. Научно-технический уровень разработки характеризуется получением зависимости содержания урана в продуктивном растворе при введении в раствор различных реагентов – ингибиторов от времени выщелачивания, остаточного содержания нитрата в

смоле от времени кавитации промывочного раствора при различной концентрации серной кислоты. Полученные результаты позволят установить оптимальное время выщелачивания и выбрать тип ингибитора, определить время кавитации промывочного раствора и обеспечить максимальную степень денитрации.

### **Сведения о метрологическом обеспечении диссертации**

Полученные в работе результаты основываются на известных теоретических сведениях и обоснованы с применением современных научных методов анализа и исследований.

Рентгенодифрактометрический анализ проведен на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3. При проведении лабораторных исследований использовались механическая мешалка БП 8000 ЭКРОС, величина pH определялась прибором ИТ-1101, специальные лабораторные сорбционные установки, сбор и анализ статистических данных на Microsoft Excel.

### **Актуальность темы**

Ведущие мировые аналитические и маркетинговые компании, специализирующиеся в области уранового рынка, прогнозируют устойчиво растущий спрос на уран в долгосрочной перспективе. Так, согласно сценарию развития мировой атомной энергетики, реакторные потребности в уране к 2030 г. возрастут с текущих 73 тыс. т/г. до 86-88 тыс. т/г. С 2024 г. спрос на уран начнет превышать предложение и дефицит составит более 18 тыс. т к 2030 г., а при агрессивном сценарии развития атомной энергетики достигнет 48 тыс. т/г.

Республика Казахстан занимает 2 место по объему запасов и 1 место по добыче урана в мире. Предполагается, что к 2025-2030 гг. объем добычи урана в Казахстане составит 32% от мирового объема добычи. Около 74% всех запасов урана в стране пригодны к разработке методом подземного скважинного выщелачивания. Несмотря на все преимущества, одной из проблем при применении данной технологии является снижение их производительности из-за низких фильтрационных характеристик руд. Это вызвано, применением растворов серной кислоты в качестве растворителя урановой минерализации, которая взаимодействует с карбонатными и глинистыми минералами продуктивного горизонта, в результате в осадок выпадают кварц, гипс, а также глинистые минералы. Указанное снижает производительность добычных и приемистости нагнетательных скважин, образованию непроницаемых участков и снижению содержания урана в продуктивном растворе.

Вместе с тем, после десорбции концентрация нитратов в смоле составляет 5.27 г/л до 11.2 г/л. Промывку ионообменной смолы производят раствором с концентрацией серной кислоты от 18 г/л до 35 г/л. При этом степень промывки (денитрации) в среднем составляет 43%. т.е. она явно недостаточна, что приводит к ухудшению сорбционных свойств смолы по урану, потере нитрат-ионов, как следствие, повышенному расходу аммиачной селитры. Существуют различные способы повышения степени денитрации сорбента, такие как повышение температуры промывочного раствора, изменение конструкции денитрационной колонны, использование

для промывки дистиллированной воды. Эти известные технологические способы требуют значительных материальных и трудовых затрат.

Для повышения эффективности процесса денитрации предлагается изменение реологических свойств денитрирующего раствора путем механической активации (кавитации) перед подачей его в промывочную колонну сорбента. Кавитация денитрирующего раствора – это повышение химической активности раствора после его обработки в кавитационной установке.

### **Связь работы с другими научно-исследовательскими работами**

Диссертационная работа выполнена в рамках хозяйственного договора №50 – ТОО – 19 от 20.02.2019 г. «Разработка технологии интенсификации процессов денитрации и выщелачивания в условиях участка «Центральный» месторождения «Мынкудук».

### **Цель исследований**

Цель диссертационного исследования состоит в повышении эффективности выщелачивания за счет применения реагентов-ингибиторов и степени денитрации сорбента кавитацией промывочного раствора.

**Объект исследования** – месторождение «А», расположенный в Туркестанской области.

**Предмет исследования** – технология ПСВ урана.

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

В соответствии с поставленной целью в диссертации сформулированы и решены основные задачи: рентгенофазовый анализ проб осадкообразований; исследование реагента-ингибитора на процесс выщелачивания; лабораторные исследования влияния кавитированного раствора на степень денитрации сорбента при различных технологических режимах; опытно-промышленные испытания предлагаемой технологии.

### **Методологическая база научных исследований**

Для достижения цели и решения поставленных диссертационных задач использованы как традиционные, так и современные методы научного исследования. К традиционным методам относятся: анализ научно-патентной литературы, систематизация, классификация, описание, сравнение, применение инженерных формул и научных фактов, эвристические модели, планирование вычислительных экспериментов и обработка экспериментальных данных.

### **Научная новизна:**

- получены зависимости содержания урана в продуктивном растворе при введении в раствор различных реагентов –ингибиторов от времени выщелачивания, что позволяет определить оптимальное время реакции и выбрать тип ингибитора;

- установлены зависимости дебита скважины и извлечения урана при базовой технологии и при введении в раствор реагента –ингибитора от времени выщелачивания, что подтверждает предотвращения осадкообразования в результате реакции серной кислоты с карбонатными минералами и повышения фильтрационных характеристик руды;

- получены зависимости остаточного содержания нитрат-ингибитора в смоле от времени кавитации промывочного раствора при различной концентрации серной кислоты, что позволит установить оптимальное время кавитации промывочного раствора и обеспечить максимальную степень денитрации;

#### **Практическая значимость работы**

Практическая значимость диссертации заключается в разработке технологии применения реагентов-ингибиторов и кавитации промывочного раствора для повышения эффективности выщелачивания и степени денитрации сорбента.

#### **Публикации и апробация работы**

Результаты работы докладывались на международных научно-технических и научно – практических конференциях:

- Mining of Mineral Deposits, 2021, Vol. 15, Issue 1, P. 127–133, ISSN 2415-3443;
- Уголь, №4, 2022, М., С. 72–76, ISSN 2412-8333;
- NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES, 2023, Vol. 3, Number 459, P. 108–118, ISSN 2224-5278;
- Горный журнал Казахстана, №6 (218), 2023, Алматы, С. 6-9, ISSN 2227-4766;
- Горный журнал Казахстана, №9, 2020, Алматы, С. 6-9, ISSN 2227-4766;
- Новости науки Казахстана №1 (148), 2021, Алматы, С. 100-107, ISSN 1560-5655;
- Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, Ivano-Frankivsk, April 1–3, 2020, Vol. 2, P. 98-99, ISBN 978-966-640-484-1;
- IV International Scientific Forum “NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGIES” dedicated to the 65th anniversary of the Institute of Nuclear Physics. Almaty, September 26-30, 2022, P. 154-156, ISBN 978-601-082-720-2;
- Сборник статей Международной научно-практической конференции «ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ НАУЧНОЙ КОНКУРЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИИ», УФА, 10 октября 2022, С. 5-10, ISBN 978-5-00177-470-9.